

# **УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ**

**ТАВРИЧЕСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА им. В. И. ВЕРНАДСКОГО**

**№ 12 (51). Том 2:**

*Биология. Математика. Психология.  
Физическое воспитание. Физика. Химия.*

ISBN 5-7763-9818-5

Журнал зарегистрирован 23 ноября 1999 года  
Серия КМ № 534

**Редакционная коллегия:**

Багров Н. В. – главный редактор  
Бержанский В. Н. – 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.  
Копачевский Н. Д.  
Кужель А. В. (редактор отдела)  
Чехов В. Н.

**Физика**

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

**Философия**

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

*Статьи опубликованы в авторской редакции*

**Филология**

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

**Экономика**

Апатова Н. В.  
Ефремов А. В.  
Кудряшов А. П.  
Нагорская М. Н.  
Плаксин В. И.  
Подсолонко В. А. (редактор отдела)  
Поклонский Ф. Е.

**Биология**

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

**Химия**

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

**Физическое воспитание и спорт**

Буков Ю. А.  
Ефименко А. М.  
Муравов И. В.  
Лейкин М. Г. (редактор отдела)  
Похоленчук Ю. Т.

© Таврический национальный университет, 1999 г.

Подписано в печать 02.12.99 Формат 60x84 1/8

Усл. печ. л. 13.7. Тираж 500. Заказ № 512.

Отпечатано в информационно-издательском отделе ТНУ.

95007, г. Симферополь, ул. Ялтинская, 4

## ВЛИЯНИЕ ЭКЗОГЕННОГО ЦИТОКИНИНА (6-БАП) НА БИОЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ РЕАКЦИЮ ЛИСТЬЕВ КУКУРУЗЫ НА ПОНИЖАЮЩИЙ ТЕРМОИМПУЛЬС

*Блохин В. Г., кандидат биологических наук, доцент*

Биоэлектрическая реакция (БЭР) листьев растений является интегральным показателем, отражающим уровень метаболизма и структурно-функциональное состояние мембран клеток. Она находится в зависимости от оводненности тканей, соотношения окислительно-восстановительных реакций, зависящих от температуры и других факторов среды [1]. Крутая ответная БЭР свидетельствует о хорошем состоянии растения. Низкий, пологий и растянутый во времени ответ свидетельствует о неудовлетворительном состоянии электрогенных и репарационных механизмов в листьях [2, 3, 4]. БЭР рекомендуется использовать для отбора сортов культурных растений, устойчивых к действию неблагоприятных условий среды [4, 5, 6].

Влияние экзогенных фитогормонов на характер БЭР изучен слабо. Нами ранее было показано, что у листьев растений, выросших в присутствии экзогенного БАП, наблюдается увеличение амплитуды и скорости нарастания БЭР в ответ на понижающий термоимпульс [7]. Однако динамика становления БЭР под влиянием фитогормона на повторяющееся с ускорением термоимпульсное воздействие не изучена. Поэтому целью данной работы было исследование динамики формирования БЭР под влиянием экзогенного БАП в самом начале его воздействия на листья и при продолжительном действии на растение.

### Методика

Исследования проводили в условиях лабораторно-вегетационного опыта на растениях кукурузы сорт ВИР 156 в водной культуре на среде Кнопа. Одним растениям вносили БАП 10 мкг/л в фазу 2-го листа и БЭР снимали через 1 и 3 суток. Другим растениям БАП вносили в момент посадки проросших семян в водную культуру. Листья у этих растений формировались в присутствии экзогенного БАП. Контролем служили растения, не получившие фитогормон.

БЭР листьев на понижающий 7-секундный термоимпульс регистрировали на специальной установке по [4]. Термоимпульсы подавали через 10, 5, 3, 1,5 и 1 минуты. Повторность регистрации трехкратная, цифровые данные обработаны статистически методом условных отклонений для малых выборок.

### Результаты и обсуждение

У двух растений кукурузы, одинаковых по морфологическим признакам, в первом опыте сначала БЭР регистрировало в фазу 2-го листа до внесения БАП в питательный раствор (рис.1). Из полученных данных виден сходный характер БЭР по крутизне, абсолютным величинам, скорости нарастания и возврата в исходное состояние. При подаче понижающего термоимпульса через 1,5 и 1 минуты виден затухающий характер БЭР у листьев обоих растений. Затем одно растение оставляли контрольным, второму вносили в раствор БАП 10 мкг/л и через 1 и 3 суток со второго листа обоих растений регистрировали БЭР (рис.2).

У листа контрольного растения (рис.2 А сплошные линии) БЭР достигала мак-

симула в 36 мВ после второго термоимпульса. Далее по мере частоты подачи термоимпульса БЭР постепенно затухает и снижается в 5 раз по сравнению с максимальным значением. Защитные механизмы перестают быть чувствительными к раздражению, мембраны повреждаются и БЭР исчезает.

У листа опытного растения в это же время, когда экзогенный БАЛ поступил в лист и начал оказывать влияние на формирование элементов структуры мембран и метаболизм клеток, БЭР стала намного выше, чем у контрольного листа (рис. 2 А пунктирная линия). Максимум составил 49 мВ, т.е. на 36% выше, чем в контроле. При ускорении частоты подачи термоимпульсов БЭР не снижается. Лишь при подаче импульса через минуту она начала понижаться, но и при этой нагрузке БЭР осталась в 3-4 раза выше листа контрольного растения.

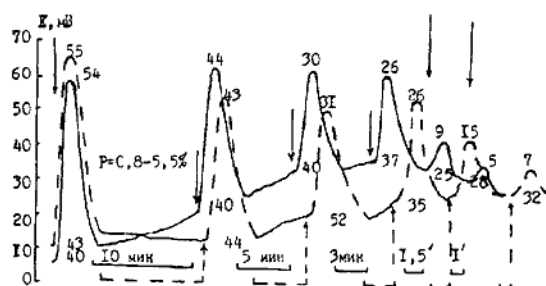


Рис. 1. БЭР второго снизу листа кукурузы сорт ВИР 156 на 7-секундный понижающий термоимпульс перед внесением фитогормона у двух растений. Сплошные линии - первое растение; прерывистые линии - второе растение. Первому из них затем вносился в питательный раствор БАП 10 мкг/л. Через 1 и 3 суток снова измеряли БЭР у этих же листьев (рис. 2 АБ). Цифры на вершине сигнала - величина ответной реакции в мВ относительно стационарного уровня; в основании - время возвращения на стационарный уровень, сек. Стрелки показывают момент подачи термоимпульса.

Спустя 3 суток после внесения БАП опытному растению, когда второй лист закончил свой рост, БЭР в листьях растений обоих вариантов стала более высокой (рис. 2 Б). Но у листа контрольного растения при ускорении подачи термоимпульсов БЭР по-прежнему быстро затухала (рис. 2 Б сплошные линии), тогда как под влиянием экзогенного БАП она стала еще более стабильной, отличается крутизной, абсолютными показателями, быстротой реакции и не затухает по мере нарастания частоты подачи термоимпульсов (рис. 2 Б пунктирные линии). Репарационные механизмы и стабильность мембран под влиянием фитогормона стали более надежными.

Во втором опыте (рис. 3), когда листья растений опытного варианта формировались с самого начала в присутствии экзогенного БАП в фазу 3-го листа, БЭР характеризуется еще более высокими показателями по сравнению с контролем и первым опытом (рис. 3 Б пунктирные линии).

При понижающем термоимпульсе за 7 сек температура листа понижается на  $10^{\circ}\text{C}$  относительно нормальных условий  $18-20^{\circ}$ . Скоротечное температурное воздействие, повторяющееся с ускорением в течение 20 минут, является для мембран своего рода нагрузкой на прочность ее структуры. У неустойчивых сортов и видов растений при такой нагрузке происходит повреждение мембран, увеличение прони-



цаемости, утечка зарядов и падение БЭР.

Главными механизмами в формировании термоустойчивости растений, по мнению А.Ф.Титова [8], являются физиолого-биохимические при кратковременном температурном воздействии, к числу которых относятся кооперативные структурные переходы липидов и белков мембран клеток. У устойчивых сортов растений структурная организация липидов и белков более прочная за счет количественного и качественного состава липидов. Установлена прямая зависимость БЭР от общего содержания липидов мембран, особенно за счет фосфолипидов, а также галактолипидов и устойчивостью растений к температурному стрессу [3].

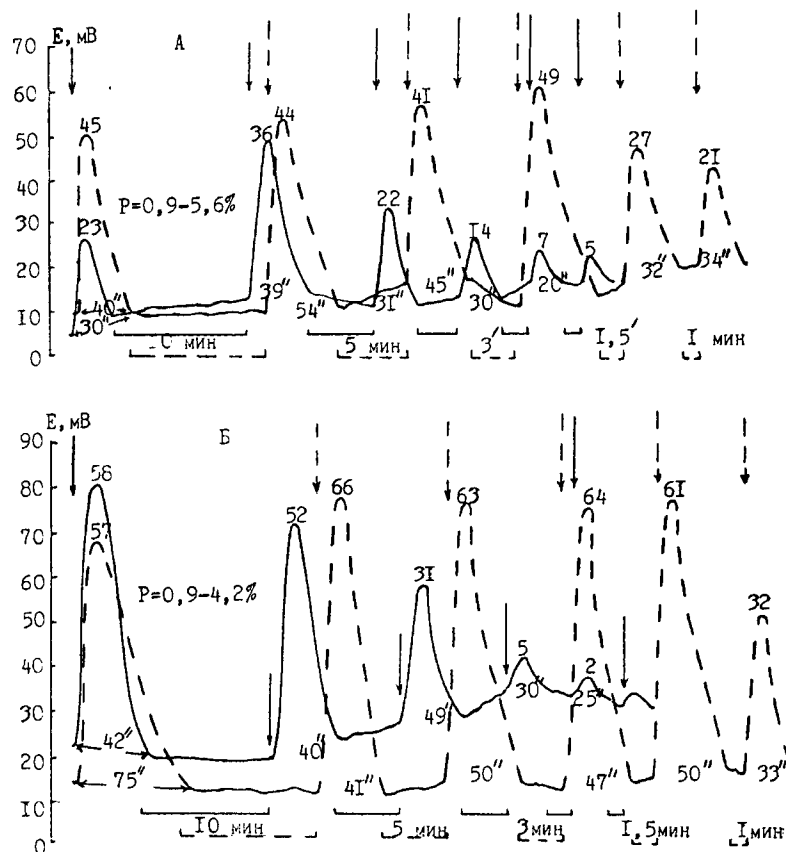


Рис. 2. Влияние экзогенного цитокинина на БЭР листьев кукурузы сорт ВИР 156 на 7-секундный термоимпульс через 1 (А) и 3 суток (Б) после внесения фитогормона в питательный раствор. Контроль – сплошные линии; БАП, 10 мкг/л - прерывистые линии. Остальные обозначения как на рис. 1.

Экзогенный цитокинин стимулирует биосинтез мембранных липидов у растений [9], вследствие чего повышается содержание общего количества липидов за счет фосфолипидов и нейтральных липидов, как в стрессовых, так и в нормальных условиях. Качественные и количественные изменения состава липидов, вызванные

экзогенным цитокинином, привели к изменению БЭР на понижающий, повторяющийся с ускорением, термоимпульс. Она становится более стабильной, отличается высокими абсолютными показателями по сравнению с необработанными фитогормонами растениями и не затухает.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что БЭР листьев является надежным показателем, отражающим состояние репарационных и электрогенных механизмов в растении при действии неблагоприятных условий. Экзогенный цитокинин способствует формированию в листьях более устойчивых электрогенных и репарационных механизмов против действия неблагоприятных температур на растения.

### **Литература**

1. Завадская И. Г., Антропов Т. А., Стадник С. А. Влияние обезвоживания и нагрева на биоэлектрическую реакцию листьев растений, различающихся по устойчивости к засухе // Цитология.- 1986.- 28, 18. С. 818-827.
2. Петренко Н. И. Биоэлектрическая активность листьев яровой пшеницы в условиях засухи // Регул. физиол. функций раст.- К.: Наукова думка, 1986.- С. 78-84.
3. Петрушенко В. В., Комаренко М. И., Пиндиченко Т. А. Биоэлектрическая реакция и содержание липидов в проростках озимой пшеницы в связи с термоустойчивостью // Докл. ВАСХНИЛ.- 1979.- 1.- С. 5-6.
4. Стадник С. А., Боберский Г. А. Биоэлектрическая реакция растений на импульсное температурное воздействие // Бюлл. ГНБС.- 1976.-1(29).- С. 43-48.
5. Петренко Н. И., Шматько И. Г. Сортові відміни біоелектричної активності рослин при водному і високотемпературному стресу // 2 З'їзд Укр. тов. фізіол. рослин, Київ, 1993: Тези доп. Т. 2.- К.- 1993.- С. 38-39.
6. Шматько И. Г., Садовый А. П., Федоров В. М., Конончук О.Б. Біоелектрична реакція оз. пшениці на водний стрес різної напруженності // Физиол. и биохимия культ, раст.- 1994.- 26, 15.- С. 494-499.
7. Блохин В. Г. Особенности действия экзогенного цитокинина на растения в условиях нормальных и низких закалывающих температур // Актуал. вопросы экологии и охраны природы.-Краснодар.- 1995. №. 127-130
8. Титов А. Ф. Молекулярно-генетический подход к проблеме терморезистентности растений // Эколого-физиол. механизмы устойчив. раст. к действию экстрем. температур.- Петрозаводск.- 1978.- С. 14-19.
9. Fantelli R., Lampugnani M. G., Londo G. P. a. o. Effect of benzyladenine on membrane synthesis in excised watermelon cotyledons // Plant. Sci. Lett.- 1982-1983.- 28, № 2.- 181-188.
10. Григорюк И. А., Курик М. В., Шматько И. Г. и др. Влияние полистимулина К на структуру полярных липидов мембран хлоропластов оз. пшеницы и картофеля при дефиците влаги // Физиол. и биохимия культ. растений.- 1990.- 22, '3.- С.211-215.
11. Мануильская С. В., Григорюк И. А., Михно А. И. и др. Модификация липидных компонентов мембран хлоропластов оз. пшеницы полистимулином К в условиях водного стресса // Докл. АН СССР.- 1988.- 298, '6.- С. 1513-1516.

## ЭКОЛОГИЯ ОПЫЛЕНИЯ ОРХИДЕИ ORCHIS PICTA LOISEL (ORCHIDACEA) В КРЫМУ

Иванов С. П., кандидат биологических наук, доцент, Холодов В. В., аспирант

Большинство видов рода *Orchis* безнектарны и привлекают опылителей различными способами обмана (Фегри, ван дер Пейл, 1982; Dafni, 1987). *Orchis caspia* Trautv. и *O. israelitica* Baum. et Dafni привлекают пчел за счет сходства цветов с цветками других растений, выделяющими нектар (Dafni, Ivri, 1981; Dafni, 1983). Вид *O. galilaea* (Bornm. et Schultze) Schltr. привлекают самцов *Halictus marginatus* Brulle запахом, содержащим половые феромоны самок (Bino et al., 1982). Виды *O. mascula* L., *O. morio* L. и *O. spitzelii* Sauter ex Koch привлекают самок шмелей (*Bombus* Latr.) и шмелей-кукушек (*Psithyrus* Lep.), ярким видом соцветия (Nilsson, 1983, 1984; Fritz, 1990).

Орхидея *O. picta* произрастает в Средней и Южной Европе, Средиземноморье, Малой Азии, Крыму, Причерноморье, и на Кавказе. В Крыму встречается локально на лесных полянах, лугах, изредка в степных сообществах (Невский, 1935; Вахрушева, Назаров, 1992). Вид занесен в Красные книги УССР (1980) и СССР (1984) со статусом вида сокращающегося в численности и уменьшающимся ареалом.

Исследования по экологии опыления *O. picta* проводились нами в одном из пунктов ее произрастания в Крыму, расположенного на выходе каньона р. Черной (Балаклавский р-он). Исследованная популяция *O. picta* насчитывает более 500 цветущих особей и является наиболее многочисленной из известных в Крыму.

Сезонную динамику цветения орхидеи и цветущих одновременно с ней растений оценивали по результатам периодического подсчета свежих цветков, для *O. picta* одновременно приводился учет опыленных цветков.

Динамика лета пчел-опылителей оценивалась по результатам учета численности пчел на контрольной полосе 1×1000 м, пересекающей участки произрастания орхидей и пищевых растений опылителей.

Просмотр шпорцев цветков орхидеи *O. picta* в течение всего периода цветения показали, что ее цветки не выделяют нектара. В то же время, у определенной части цветков мы отмечали отсутствие поллиариев и пыльцу принесенную с других цветков, что однозначно указывало на посещение цветков пчелами. Непосредственно на цветках орхидеи нами отловлено небольшое число пчел. Основное число опылителей орхидеи отловлены на цветках их кормовых растений (Таблица). Их принадлежность к опылителям определялось по наличию поллиариев орхидеи, прикрепленных к лицевой части головы. Данные приведенные в таблице свидетельствуют, что основную роль в опылении орхидеи *O. picta* играют самцы двух видов пчел рода *Eucera*, посещающие яснотку пурпурную (*Lamium purpureum*) в качестве основного кормового растения.

Цветки *O. picta* и *L. purpureum* сходны как по окраске венчика, так и по своей форме. Сроки цветения *O. picta* и *L. purpureum* совпадают, с некоторыми отличиями по сезонам. В 1995 г. цветение *O. picta* началось на 7 дней раньше (с 25 апреля) и закончилось на 3 дня позже (22 мая), по сравнению с 1997 г. и продолжалось в те же

ние всего периода цветения яснотки. В 1997 г. цветение орхидей совпало только со второй половиной периода цветения яснотки (цветение наблюдалось с 2 по 20 мая). Сроки лета опылителей *O. picta* также варьировали по сезонам. В 1995 г. самцы двух видов эуцер летали в течение всего периода цветения орхидеи, тогда как в 1997 г. лёт одного из видов почти не наблюдался. Максимум лёта других видов опылителей наблюдался в первой половине периода цветения орхидеи как в 1995 г., так и в 1997 г., но заметного увеличения опыляемости цветков орхидеи в этот период не отмечено. В 1995 г. максимум опыления орхидеи наблюдался во время максимального цветения яснотки, а в 1997 г. – во время его отцветания. По-видимому, опылители в этот период испытывали недостаток пищи, и это дополнительно стимулировало их к посещению цветков *O. picta*.

Таблица

Переносчики полинариев *Orchis picta*

Вид пчелиных	Число собранных экземпляров			
	на цветках			в полете
	<i>Orchis picta</i>	<i>Lamium purpureum</i>	<i>Valerianella coronata</i>	
<i>Apis mellifera</i> L.	111 (4)	-	11 (4)	-
<i>Bombus paradoxus</i> D.-T.	1 (2)	-	-	-
<i>Eucera nigra</i> Lep.	-	51 (14)	-	2 (6)
<i>E. kullenbergi</i> Tkalcu	-	71 (31)	-	91 (67)
<i>E. seminuda</i> Brull.	-	-	-	111 (1)
<i>Nomada sexfasciata</i> Pz.	-	111 (3)	-	-
<i>Osmia aurulenta</i> Pz.	-	11 (2)	-	-
<i>Halictus patellatus</i> Mor.	-	-	111 (3)	-

Примечание. В скобках указано число полинариев.

Полученные нами данные свидетельствуют, что орхидея *O. picta* в Крыму опыляется за счет обманного привлечения пчел: имитацией цветков *Lamium purpureum*. Широкое распространение яснотки пурпурной по Крыму, а также относительное обилие зарегистрированных нами в качестве основных опылителей пчел эуцер позволяет заключить, что система опыления этого вида орхидей в Крыму достаточна надежна. Основными угрозами существованию *O. picta* в Крыму являются сезонность и браконьерский сбор клубней.

#### Литература

1. Вахрушева Л. П., Назаров В. В. Возрастная структура ценопопуляций *Orchis picta* Loisel. в Горном Крыму // Сб.: Рациональное использование и охрана экосистем Крыма. – К.: УМК ВО, 1992. – С. 28-32.
2. Красная книга СССР. – М.: Госагропромиздат, 1984. – Т. 2. – 480 с.
3. Красная книга УССР. – К.: Наук. думка, 1980. – 497 с. Невский С. А. Сем. ятрышниковые – *Orchidaceae* Lindl. // Флора СССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1935. – Т. 4. – С. 589-730.
4. Фегри К., ван дер Пэйл Л. Основы экологии опыления. – М.: Мир, 1982. – 379 с.

5. Bino R. J., Dafni A., Meeuse A. D. J. The pollination ecology of *Orchis galilaea* (Bornm. et Schuize) Schitr. (Orchidaceae) // *New Phytol.* – 1982. – Vol. 90. – P. 315-319.
6. Dafni A. Pollination of *Orchis caspia* – a nectarless plant which deceives the pollinators of nectariferous species from other plant families // *J. Ecol.* – 1983. – Vol. 71. – P. 467-474.
7. Dafni A. Pollination in *Orchis* and related genera: evolution from reward to deception // *Orchid Biology: Reviews and Perspectives.* – Ithaca: Cornell Univ. Press, 1987. – P. 79-104.
8. Dafni A. Note on side advertisement in flowers // *Funct. Ecol.* – 1994. – Vol. 8. – P. 136-138.
9. Dafni A., Ivri Y. Floral mimicry between *Orchis israelitica* Baumann and *Dafni* (Orchidaceae) and *Bellevalia flexuosa* Boiss. (Liliaceae) // *Oecologia.* – 1981. – Vol. 49. – P. 229-232.
10. Fritz A.-L. Deceit pollination of *Orchis spitzelii* (Orchidaceae) on the Island of Gotland in the Baltic: a suboptimal system // *Nord. J. Bot.* – 1990. – Vol. 9. – P. 577-587.
11. Nilsson L. A. Anthecology of *Orchis masculp* (Orchidaceae) // *Nord. J. Bot.* – 1983. – Vol. 3. – P. 157-179.
12. Nilsson. L. A. Anthecology of *Orchis morio* (Orchidaceae) at its outpost in the north // *Nov. Act. Reg. Sci. V:C.* – 1984. – Vol. 3. – P. 167-179.

## **АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ ЛИСТЬЕВ ДУБА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА КУКОЛОК *TORTRIX VIRIDANA* L.**

*Ивашов А. В., кандидат биологических наук, доцент*

В многочисленных исследованиях, проведенных путем выкармливания насекомых как естественным так и искусственным кормами, показано важное значение аминокислотного состава для их успешного роста и развития на всех фазах. Так еще в опытах [1] изменения в составе сахаров и азота в искусственных средах вызывали соответствующие изменения жиров и азотистых веществ в теле насекомых.

Адаптация популяций к изменениям количества и качества корма, вероятно, сопровождается изменениями не только отдельных признаков, но и коррелятивных связей между ними. Наиболее часто встречающийся лимитирующий развитие организмов в природе фактор – содержание белка и РНК в корме [2].

Очевидно, потребности насекомых в отдельных аминокислотах меняются на различных стадиях развития личинок. Изучение этого явления имеет не только теоретическое, но и практическое значение.

Так учет различных потребностей в аминокислотах у гусениц шелковичного червя (*Philosomia cynthia ricini*) на различных возрастных стадиях позволил китайским исследователям добиться максимальной массы коконов путем смены типов корма [3].

Роль отдельных аминокислот в метаболизме насекомых показана в обобщающих сводках [4, 5]. Влияние общего содержания аминокислот в листьях дуба черешчатого на вес куколок *viridana* было исследовано нами в биогеоценозах поймы р. Самары-Днепровской [6]. Так было установлено, что молодые растущие листья содержат больше аминокислот, чем сформировавшиеся и вес куколок листовертки прямо связан с их количеством, особенно в период питания гусениц третьего возраста. В случае сильного повреждения дубов листоверткой в целом наблюдалось понижение общего содержания аминокислот в листьях и изменялся характер и сила связей между этими показателями [7].

Существует предположение, что одной из возможных причин меньшей повреждаемости листоверткой дуба скального по сравнению с дубом пушистым, является различный биохимизм их листьев. В связи с этим данные о содержании аминокислот и связях их количества с весом куколок листовертки представляют определенный интерес.

В условиях Южного берега Крыма, где на пробной площади, расположенной близ с. Лавровое, в шибляковом сообществе, совместно произрастают дубы скальный и пушистый, исследовали влияние как общего содержания так и содержания отдельных аминокислот на вес куколок листовертки.

Листья и куколки собирали в начале июня 1984 г. с 16 модельных деревьев с нижних частей кроны, с южной стороны. Листья фиксировали паром на кипящей водяной бане и высушивали до постоянного веса при 105<sup>0</sup> С, затем перемалывали до порошкообразного вида и отсылали в ЦАМ АН Молдавии, где в них определяли содержание аминокислот на аминокислотных анализаторах японского производства.

Процентное содержание получали в пересчете на абсолютно сухой вес. Собранных куколок листовертки взвешивали на торсионных весах с точностью до одного миллиграмма. Полученные результаты обрабатывались общеизвестными методами математической статистики на пятипроцентном уровне значимости [8].

Показатели корреляционных и регрессионных связей между содержанием аминокислот в листьях дубов, произрастающих на пробной площади "Лавровое" и весом куколок листовертки приведены в табл. 1.

Как видно из данных табл. 1, наиболее сильная достоверная положительная связь обнаружилась для аминокислот, являющихся главным резервом, участвующих в переаминировании (аспарагин, глутамин).

Как известно, свободный глутамин присутствует в высоких концентрациях в гемолимфе большинства насекомых, а аспарагин является предшественником в синтезе аланина – главного компонента в белке шелковой нити [4]. Последнее также относится к треонину, глицину и серину, показавшим также наиболее высокие коэффициенты корреляции.

Пищевое значение аспарагина и глутамина изучено наиболее полно для гусениц тутового шелкопряда (*Bombix mori*). При одновременном отсутствии в искусственной питательной среде этих аминокислот в гемолимфе понижается содержание свободных аминокислот: глутамина, аланина, лейцина, метионина, орнитина, валина. Добавление же в пищу хотя бы одной из них приводило к восстановлению нормального соотношения аминокислот [9]. Если судить по приведенным в табл. 1 данным, для *T. viridana* значение этих аминокислот столь же велико.

Отсутствие достоверных связей между весом и концентрацией тирозина и фенилаланина логично объяснить их достаточным накоплением на личиночной фазе, когда его метаболиты принимают участие в построении новой кутикулы [4].

Метионин, как видно из имеющихся данных, присутствует в очень незначительной концентрации в корме и несмотря на то, что насекомые нуждаются во внешнем источнике этой незаменимой аминокислоты, содержащей серу, не обнаруживает связи с массой куколок. Как известно, он является предшественником в синтезе цистеина, а цистеин, также как и триптофан присутствует в гемолимфе насекомых в крайне незначительных концентрациях [4].

Хотя метионин, также как и холин должен обязательно содержаться в пище, т.к. является источником лабильных метильных групп [4], остается совершенно непонятной тенденция к обратной связи его содержания в листе дуба с весом куколок листовертки.

Лейцин, изолейцин, и в меньшей мере валин – незаменимые аминокислоты, имеющие в своих молекулах разветвленные цепи атомов углерода – показали достаточно высокие значения коэффициентов корреляции, что указывает на их важное значение в конце питания личинок.

Отмечено, например, что изолейцин через дезаминирование участвует в образовании гликогена насекомых [5].

Связь между содержанием аминокислот в листьях дуба и весом куколок зеленой дубовой листовертки

Аминокислота	Среднее со- держ. %	Коэфф. коррел.	Уравнение регрессии	Ошибка коэф. Регр.
Аспарагин	1.075	0.582	$Y = 17.922 + 15.571 X$	5.809
Треонин	0.466	0.548	$Y = 18.165 + 35.385 X$	14.429
Серин	0.482	0.515	$Y = 16.338 + 37.999 X$	16.897
Глутамин	1.132	0.536	$Y = 20.458 + 12.546 X$	5.285
Пролин	0.481	0.466	$Y = 23.977 + 22.236 X$	11.284
Глицин	0.498	0.494	$Y = 20.882 + 27.689 X$	13.009
Аланин	0.529	0.414	$Y = 23.650 + 20.829 X$	12.250
Валин	0.486	0.389	$Y = 23.803 + 22.348 X$	14.165
Нетионин	0.028	-0.151	$Y = 34.913 - 28.111 X$	50.917
Изолейцин	0.393	0.559	$Y = 15.704 + 48.302 X$	19.156
Лейцин	0.850	0.528	$Y = 18.617 + 18.882 X$	8.123
Тирозин	0.289	0.024	$Y = 34.229 + 1.509 X$	16.973
Фенилаланин	0.572	0.132	$Y = 30.656 + 7.008 X$	14.089
Гистамин	0.338	0.117	$Y = 32.282 + 7.059 X$	16.062
Лизин	0.592	0.482	$Y = 21.559 + 22.140 X$	10.749
Аргинин	0.460 <sup>^</sup>	0.185	$Y = 28.532 + 13.338 X$	18.928
Сумма ам. к-т	9.463	0.454	$Y = 19.770 + 1.574 X$	0.827

Большое значение аминокислот в метаболизме насекомых определяют высокие темпы роста тела, особенно на гусеничной фазе развития [5]. К концу ее, когда начинает накапливаться большое количество жира, большее значение приобретают редуцирующие сахара [10]. В этой связи становится вполне объяснимой достаточно умеренная прямолинейная связь между их содержанием в листьях в конце гусеничной фазы и весом куколок. С другой стороны это влияние качества корма изменяется в зависимости от достаточности кормовых ресурсов [7].

Безусловно, имеются тесные связи между метаболизмом отдельных аминокислот [4]. Так было установлено, что отношение содержания тирозина к гистидину и аргинину в хвое ели очень существенно для развития личинок *Gilpinia hecyniae* [11, 12]. Эти данные убедительно показывают взаимосвязь аминокислотного влияния на процессы жизнедеятельности насекомого.

Низкие значения коэффициентов корреляции, полученные для отдельных аминокислот из листьев дуба могут свидетельствовать как о незначительной их роли в конце гусеничной фазы развития, так и о компенсаторных механизмах, обсуждаемых выше.

Представляется весьма интересным для объяснения указанных различий по весу куколок листовертки между дубами скальным и пушистым сравнение биохимизма листьев этих видов дуба.



Что касается роли аминокислотного состава листьев дубов скального и пушистого в формировании массы куколок, то некоторую ясность в этом могут внести данные табл. 2.

Из них видно, что имеются значительные различия в общем содержании аминокислот у этих дубов. Однако ни для одной из аминокислот, также как и для суммы их, они не являются достоверными. Все же следует отметить, что почти во всех случаях несколько меньше их содержится в листьях дуба скального.

Таким образом, полученные данные не могут объяснить различную степень повреждаемости дубов скального и пушистого в условиях их совместного произрастания.

Таблица 2

Содержание аминокислот (в %) в листьях дубов скального и пушистого

Аминокислота	n	Скальный	n	Пушистый	P
Аспарагин		1.164 + 0.055	7	1.101 + 0.072	
Треонин	5	0.510 + 0.027	7	0.467 + 0.059	-
Серин	5	0.519 + 0.026	7	0.496 + 0.028	-
Глутамин	5	1.254 + 0.067	7	1.167 + 0.074	-
Пролин	5	0.538 + 0.044	7	0.481 + 0.055	-
Глицин	5	0.568 + 0.024	7	0.507 + 0.058	-
Аланин	5	0.597 + 0.050	7	0.551 + 0.042	-
Валин	5	0.546 + 0.026	7	0.494 + 0.041	-
Метионин	5	0.051 + 0.008	7	0.020 + 0.009	-
Изолейцин	5	0.456 + 0.025	7	0.598 + 0.029	-
Лейцин	5	0.950 + 0.050	7	0.865 + 0.065	-
Тирозин	5	0.261 + 0.014	7	0.276 + 0.059	-
Фенилаланин	5	0.566 + 0.029	7	0.555 + 0.058	-
Гистамин	5	0.597 + 0.015	7	0.544 + 0.020	-
Лизин	5	0.658 + 0.041	7	0.618 + 0.041	-
Амм	5	0.884 + 0.081	7	0.755 + 0.072	-
Аргинин	5	0.520 + 0.022	7	0.485 + 0.049	-
Всего ам-т	5	10.579 + 0.521	7	9.560 + 0.595	-

#### Литература

1. Эдельман Н.М. Возрастные изменения физиологического состояния личинок некоторых древесных насекомых в связи с условиями их питания // Энтومол. обозрение. – Вып. 1, т. 42. Л.: 1963. – С. 25-48.
2. Robertson F.W. The ecological genetics of growth in *Drosophila*. 6. The genetic correlation between the duration of the larval period and body size in relation to larval diet // Genet. Res. – V. 4, N. – P. 74-92.

3. Qian H., Liu J., Qu D. Analysis and comparison of the protein, amino acid and sericin contents in cocoon-layer of the eri-silkworm (*Philosamia cynthia ricini*) reared with different feeds //19 Int. Congr. Entomol., Beijing, June 28 –July 4, 1992: Proc. Abstr. Beijing, 1992. – P. 636.
4. Гилмур Д. Метаболизм насекомых. М.: Мир, 1968. – 230 с.
5. Харсун А.И. Биохимия насекомых. Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1976. – 335 с.
6. Ивашов А.В. Влияние аминокислотного состава листьев дуба черешчатого, произрастающего в различных биогеоценозах, на вес куколок зеленой дубовой листовертки // Вопросы степного лесоведения и охраны природы. Днепропетровск, 1975. – Вып. 5. – С. 188-193.
7. Ивашов А.В. Физиолого-биохимические основы взаимодействия дуба черешчатого и дубовой зеленой листовертки в лесных биогеоценозах Присамарья // Автореф. дис ... канд. биол. наук. Днепропетровск: ДГУ, 1977. – 24 с.
8. Плохинский Н.А. Математические методы в биологии. – 1978. – 252 с.
9. Ifo T., Inokuchi T. Nutritive effects of asparagine and glutamine on the silkworm, *Bombix mori* //19 Int. Congr. Entomol., Beijing, June 28 – July 4, 1992: Proc. Abstr. Beijing, 1992. – P. 623.
10. Апостолов Л.Г., Ивашов А.В. Влияние содержания редуцирующих сахаров в листьях дуба черешчатого на вес куколок зеленой дубовой листовертки в лесных биогеоценозах Самарского леса // Вопросы степного лесоведения и охраны природы. Днепропетровск, 1975. – Вып. 5. – С. 160-166.
11. Lunderstadt J. Steuerungsprinzipien für die okophysiologische Bindung zwischen Waldbaumen und phytophagen Insekten // Zeitschrift für angewandte Entomologie. 1983. – Bd. 96, N 2. – S. 157-165.
12. Lunderstadt V.J., Kuster E. Zur Steuerung der populationsdichte von phytophagen insekten durch ihre Nahrungsflanze. 2. Regelung der physiologischen leistung der insekten //Z. ang. Ent. –1985. – Bd. 99. – S. 333-340.

## ВЛИЯНИЕ ИНДОЛИЛУКСУСНОЙ И ИНДОЛИЛМАСЛЯНОЙ КИСЛОТ НА УКОРЕНЕНИЕ ЧЕРЕНКОВ ГВОЗДИКИ

*Калинина Н. А., аспирант*

Одним из перспективных путей интенсификации растениеводства и повышения продуктивности сельскохозяйственных культур является широкое использование природных и синтетических регуляторов роста растений [1, с. 4-5]. В цветоводстве защищенного грунта получение качественного посадочного материала имеет важное значение, поскольку во многом определяет дальнейшее формирование продуктивных растений, дающих качественную цветочную продукцию [2, с. 15]. Основные срезочные культуры защищенного грунта (гвоздика, роза, хризантема, гербера) размножаются в производственных условиях черенками. При использовании этого метода применяются различные физиологически активные вещества. Наиболее широко используют  $\beta$ -индолилуксусную (ИУК),  $\beta$ -индолилмасляную (ИМК),  $\alpha$ -нафтилуксусную (НУК) кислоты и их соли [2, с. 80; 3, с. 67]. Реакция растения на стимулятор роста определяется его природой, условиями агротехники, состоянием маточного растения, а так же методом обработки и сортовыми особенностями [2, с. 77]. Поэтому для каждого сорта оптимальные концентрации фитогормонов устанавливаются экспериментальным путем. В связи с появлением в сортименте цветоводческих хозяйств новых перспективных сортов ремонтантной гвоздики, исследования по данному вопросу являются актуальными не только с научной, но и с практической точки зрения.

### Материал и методы исследования

Эксперимент проводился на базе кафедры физиологии растений и биотехнологии СГУ и фирмы «Меристемный комплекс» в период с февраля по июль 1997 года. Объектом исследования служили черенки гвоздики ремонтантной сорта «Амарола», относящегося к расе Средиземноморских гибридов. Изучали влияние на укоренение двух регуляторов роста - индолилуксусной кислоты в концентрации от 30 до 100 мг/л и индолилмасляной кислоты в концентрации от 5 до 40 мг/л. Черенки обрабатывали методом замачивания в водном растворе стимулятора. Контролем служила вода. Время экспозиции - 4 часа. Количество черенков в каждом варианте - 100 штук. Опыты проводились в трехкратной повторности. После замачивания черенки высаживали в перлит для укоренения. Через 21 проводили выборку полученного посадочного материала. Учитывали процент укоренения черенков (количество укоренившихся черенков на каждые 100 растений), длину корневой системы черенков, количество корней первого порядка, сырую и сухую массу корней. Полученные данные обработаны статистически (Лакин, 1980).

### Результаты и их обсуждение

В результате проведенных нами исследований было установлено положительное влияние изучаемых регуляторов роста на укоренение черенков гвоздики сорта «Амарола» (Рис. 1, 2).

Оба фитогормона оказывают стимулирующее действие даже при самых низких концентрациях. На представленных графиках четко выражены концентрации, при которых укоренение черенков имеет наибольшее значение - для ИУК это концен-

трация 70 мг/л, а для ИМК - 15 мг/л (количество укорененных черенков по сравнению с контролем возрастает на 65,7% и 64,4% соответственно). Более высокие дозы препарата вызывают снижение стимулирующего эффекта. Оба препарата оказали положительное влияние и на качество корневой системы (табл. 1).

Индолилуксусная кислота при различных концентрациях вызвала удлинение корневой системы на 9,4 - 28,3% по сравнению с контролем. Под влиянием этого фитогормона у черенков увеличивается количество корней первого порядка почти в два раза, что свидетельствует о высокой активности препарата.

Несколько слабее по своему воздействию на качество корневой системы оказалась индолилмасляная кислота. При всех изученных концентрациях значительного увеличения длины корневой системы не наблюдалось. Но при высоких дозах препарата (начиная с 20 мг/л) возрастает мощность корневой системы за счет увеличения количества корней первого порядка на 75,5 - 87,0% по сравнению с контролем.

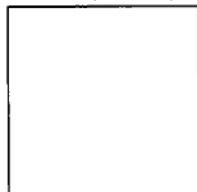


Рис. 1. Увеличение процента укоренения черенков гвоздики сорта «Амарола» по сравнению с контролем под действием индолилуксусной кислоты

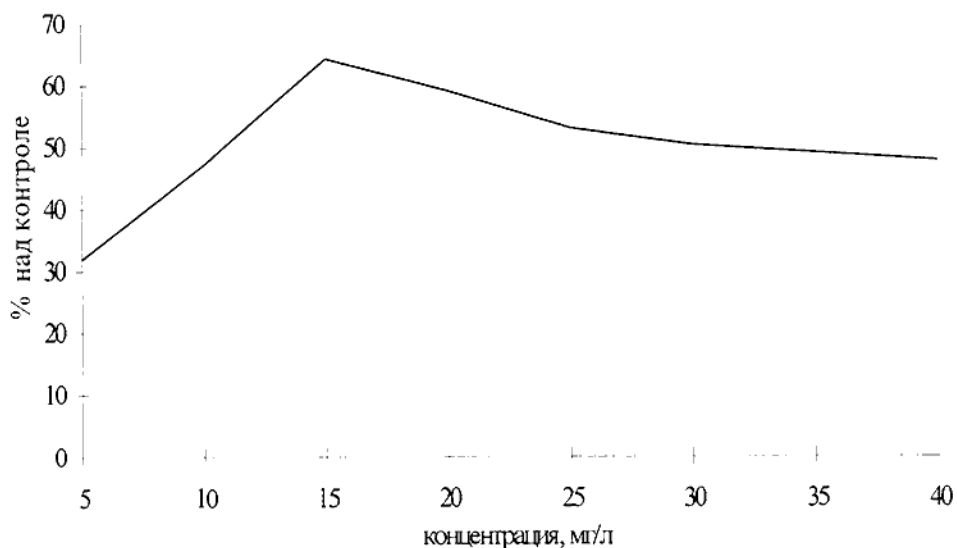


Рис. 2. Увеличение процента укоренения черенков гвоздики сорта «Амарола» по сравнению с контролем под действием индолилмасляной кислоты

Таблица 1.

Влияние индолилуксусной и индолилмасляной кислот  
на качество черенков гвоздики сорта «Атарола»

Вариант	Средняя длина корневой системы, см	Среднее количество корней первого порядка, штук
Контроль (вода)	4,45±0,23	8,36±0,41
ИУК, мг/л		
30	4,87±0,24	10,00±0,58
40	5,42±0,21	10,83±0,50
50	5,71±0,38	12,78±1,09
60	5,64±0,19	15,04±0,99
70	5,61±0,34	16,9±0,55
80	5,58±0,29	17,06±0,88
90	5,06±0,25	16,61±1,10
100	4,94±0,24	16,23±0,72
ИМК, мг/л		
5	4,50±0,30	10,75±0,83
10	4,53±0,25	12,6±0,89
15	4,64±0,32	12,82±1,09
20	4,77±0,32	13,05±1,12
25	4,74±0,31	15,63±1,30
30	4,90±0,20	14,80±1,00
40	3,90±0,33	14,67±1,09

Установлено, что применение индолилуксусной кислоты увеличивает как сырую, так и сухую массу корней черенков гвоздики (табл. 2).

Таблица 2.

Влияние различных концентраций индолилуксусной кислоты  
на сырую и сухую массу корней черенков гвоздики сорта «Атарола»

Концентрация, мг/л	контроль (вода)	30	40	50	60	70	80	90	100
Показатель									
Средняя сырая масса корней одного черенка, %	100	158,1	191,4	228,0	301,1	345,2	353,7	337,6	261,3
Средняя сухая масса корней одного черенка, %	100	118,1	145,8	201,2	210,8	201,8	171,1	142,2	116,9

Фитогормон активизирует образование биомассы корней при всех изученных концентрациях. Наиболее выражено стимулирующее действие ИУК на увеличение массы корней черенков при концентрациях препарата от 60 до 90 мг/л.

Применение индолилмасляной кислоты так же приводит к увеличению сырой и сухой массы корней черенков гвоздики (табл. 3).

Таблица 3.

Влияние различных концентраций индолилмасляной кислоты на сырую и сухую массу черенков гвоздики сорта "Амарола"

Концентрация, мг/л	контроль (вода)	5	10	15	20	25	30	40
Показатель								
Средняя сырая масса корней одного черенка, %	100	139,8	204,3	311,8	280,0	268,8	150,5	118,3
Средняя сухая масса корней одного черенка, %	100	88,0	106,0	160,2	164,5	201,2	120,5	80,7

Наибольшее положительное действие препарата выявлено при концентрациях до 25 мг/л. Следовательно, процессы роста корней идут при низких концентрациях ИМК интенсивнее, чем при высоких. При сравнении действия ИУК и ИМК на сырую и сухую массу черенков гвоздики, более сильным стимулирующим эффектом в наших условиях обладает индолилуксусная кислота.

Таким образом, при замачивании черенков гвоздики сорта «Амарола» в течении четырех часов в водных растворах индолилуксусной или индолилмасляной кислот, можно значительно повысить процент укоренения по сравнению с тем, который наблюдается при естественном ризогенезе черенков. Оптимальные концентрации для данного сорта - 70 мг/л индолилуксусной кислоты и 15 мг/л индолилмасляной кислоты.

#### Литература

1. Калінін Ф. Л., Застосування регуляторів росту в сільському господарстві. - К: Урожай, 1989.-167 с.
2. Юскевич Н.Н., Висящева Л. В., Краснова Т.Н., Промышленное цветоводство России. - М: Росагропромиздат, 1990.-302 с.
3. Булатов В. А., Гвоздика ремонтантная. - Ленинград: ВО Агропромиздат, Ленинградское отделение, 1987.-95 с.
4. Лакин В. Г., Биометрия. - М: Высшая школа, 1980.-294

**О СВЯЗЯХ ТЕМЕННОЙ КОРЫ (ТАО) С ПЕРВИЧНЫМИ (ПСЗ)  
ЗРИТЕЛЬНОЙ, СЛУХОВОЙ И СОМАТИЧЕСКОЙ СЕНСОРНЫМИ  
ЗОНАМИ НЕОКОРТЕКСА**

*Коренюк И. И., доктор биологических наук, профессор,  
Сидякин В. Г., доктор биологических наук, профессор,  
Коренюк О. И., кандидат биологических наук*

В настоящее время предполагается, что ассоциативная кора совместно с рядом других неспецифических образований головного мозга участвует в селекции программ сенсорно-двигательных актов, необходимых для организации целенаправленного поведения. Построение такого рода программ осуществляется на основе информации, которая поступает в данную область коры по разнообразным входам. Наряду с субкортикальными сенсорными входами в ТАО, особое внимание отводится и сенсорно-специфическим афферентациям от ПСЗ – зрительной (ЗК), слуховой (СК) и соматосенсорной (ССК) [1;8;24]. В отношении качественных и количественных характеристик функционального состояния нейронов ТАО в условиях поступления сигналов из ПСЗ, то они хотя и многочисленны, однако, получены без учета того, какие именно нейроны (входа в кору, интернейроны внутрикорковых цепей или нейроны выхода) ТАО были исследованы. Остается далеко не выясненным вопрос о межсенсорной интеграции в различных звеньях нейронных цепей ТАО сигналов из разных ПСЗ. До настоящего времени не установлено, какое количество переключений претерпевают сигналы из ПСЗ прежде чем они попадают на нейроны выхода ТАО и не установлены их соотношения. Не исследованы и характеристики и соотношение процессов возбуждения и торможения в нейронах входа, интернейронах внутрикорковых цепей и нейронах выхода ТАО. Отсутствие таких данных затрудняет понимание внутрикорковых интегративных процессов этой области неокортекса и делает вопрос о функциональной организации связей сенсорно-специфических зон коры с нейронами разных популяций ТАО актуальным.

Цель настоящей работы состояла в выяснении организации и функциональных свойств ассоциативных связей первичных зрительной, слуховой и соматической зон коры с идентифицированными нейронами ТАО и изучение особенностей взаимодействия на них сигналов из этих зон неокортекса между собой и с посылками от противоположного полушария.

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.**

Исследования проведены в условиях острого эксперимента на взрослых кошках. Животных наркотизировали тиопенталом-натрия (30-40 мг/кг, внутривенно). Операционные поля инфильтрировали 0,5% раствором новокаина. Череп трепанировали над передней частью средней ССИ левого полушария. Твердую мозговую оболочку удаляли и трепанационное отверстие заливали теплым 4% агар-агаром. На протяжении эксперимента животное термостатировали. За состоянием животного следили по электрокардиограмме, а также по изменению ВП на стимуляцию подкоркового БВ.

Раздражение ПСЗ осуществляли в фокусах максимальной плотности нейронов,

аккумулирующих пероксидазу хрена после инъекции ее в ТАО ипсилатерального полушария [1]. Расстояние от зон стимуляции до ТАО составляло: от ЗК – 24-26 мм; от СК – 20-22 мм; от ССК – 15-18 мм. Биполярные игольчатые нихромовые электроды (межэлектродное расстояние 1–2 мм) с диаметром кончика 100 мкм вкалывались в соответствующие зоны коры на глубину 1,5 мм. Частота стимуляции составляла 0,5 Гц, за исключением случаев идентификации антидромных и моносинаптических ответов нейронов. Раздражали ЗК, СК И ССК ипсилатерально исследуемому полушарию. Количество реализаций раздражений составляло от 10 до 50. Стимуляцию мозга (параметры – сила тока до 400 мкА и длительность импульса 0,2 мс) осуществляли толчками тока отрицательной полярности от электростимулятора ЭСУ–2, через токовую приставку ЭСТ – 14.

Импульсную активность нейронов ТАО начинали исследовать через шесть часов после окончания подготовительных операций. Использовали стеклянные микроэлектроды заполненные 4 М раствором хлорида натрия с сопротивлением 5-15 МОм.

Экспериментальные данные в виде количественных характеристик свойств разных групп нейронов и найденные различия между ними обрабатывали статистически по критерию Стьюдента. Значения доверительного интервала и уровень достоверности считали при 1% и 5% уровнях значимости. Остальные особенности методики описаны ранее [10;11].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Общая характеристика эффектов стимуляции разных ПСЗ на активность нейронов ТАО. Среди 262 нейронов ТАО, функциональное состояние которых было исследовано при электрическом раздражении подкоркового белого вещества (БВ), 133 фоновоактивные нервные клетки являлись интернейронами внутрикорковых нейронных цепей, поскольку на этот вид стимуляции не отвечали антидромно.

Характеристики реакций нейронов ТАО на раздражение ПСЗ представлены в таблице. Следует отметить, что изменения частоты генерации импульсов при раздражении ПСЗ у подавляющего большинства нейронов были слабо выраженными, и у некоторых нейронов в постстимульный период изменялся только рисунок генерации импульсов. Примечательно, что с увеличением числа предъявляемых на ту или иную сенсорную зону коры одиночных раздражений выраженность реакций возрастала. Из этого можно сделать вывод, что эффекты раздражения ПСЗ определенным образом могут аккумулироваться в нейронных цепях ТАО.

Реакции нейронов ТАО на стимуляцию ЗК. Исследована импульсная активность 133 фоновоактивных нейронов ТАО. На данное раздражение реакции выявлены у 112 (84,2%) нейронов (см. таблицу) и у 21 (15,8%) нервной клетки ответов не выявлено.

В отдельную группу отнесена 21 (15,8%) нервная клетка с реакцией начального возбуждения. Из этого числа ответы восьми нейронов представляли собой длительное (70-290 мс) тоническое учащение генерации импульсов, а у остальных 13 клеток наблюдались фазные реакции с последующей постактивационной паузой, которая сменялась периодом усиления или восстановления исходного уровня частоты гене-



рации импульсов. Из 13 клеток с фазным типом реакций у восьми начальной компонент был представлен одним, реже двумя внеочередными импульсами. СП этих реакций составляли от 4,8 до 15,3 мс со средним значением  $9,5 \pm 1,2$  мс. При тестировании этих 13 нейронов у пяти выявлена способность отвечать на предъявление стимулов, следующих с частотой 100-120/с. Можно полагать, что эти клетки моносинаптически активировались входами из ЗК. Важно отметить, что среди этих пяти нейронов две клетки являлись нейронами входа, поскольку моносинаптически отвечали и на раздражение подкоркового БВ. Из этого следует, что одни и те же нейроны ТАО могут стоять на входе информации, поступающей по кортикопетальным и корково-корковым путям. Таким образом, только пять нейронов (3,8% от 133) ТАО получали прямые влияния из ЗК, а к остальным 107 (80,4%) обследованным нейронам информация из ЗК поступает по ди- и полисинаптическим путям, или не поступает вовсе.

СП возбуждающих ответов у разных нейронов варьировали в пределах от 4,8 до 45 мс (в среднем  $14,7 \pm 2,8$  мс; рисунок). Следует отметить, что длиннолатентным ответам не предшествовали какие-либо изменения спонтанной активности и, надо полагать, они не являлись следовыми компонентами реакции. У большинства реагирующих нейронов возбуждающие ответы возникали с СП 10–20 мс.

Среди реагирующих нейронов не выявлено ни одного, который бы на стимуляцию ЗК отвечал антидромно, что указывает на отсутствие или незначительное число проекций ТАО в ЗК. Во вторую группу отнесено 78 (58,6%) нейронов, которые реагировали на стимуляцию ЗК угнетением ФИА. Анализ ПСГ показал, что СП тормозных реакций варьировал у разных нейронов от 14 до 100 мс. Продолжительность периодов угнетения у разных клеток составляла от 20 до 300 мс (в среднем 89 мс). У некоторых клеток на фоне снижения частоты генерации импульсов на постстимульных гистограммах наблюдалось кратковременное (фазное) увеличение ее до уровня фона, или даже превышало его. Среди 78 нейронов с начально тормозной реакцией у 60,3% клеток ответы были фазными, а у 39,7% – тоническими.

Количественные соотношения нейронов с реакцией начального возбуждения и торможения на данный вид стимуляции составляло 0,3:1.

Максимальная плотность реагирующих на раздражение ЗК нейронов выявлена на глубине 0,7-1,6 мм, то есть, преимущественно в III – V слоях ТАО.

При стимуляции ЗК у 13 (9,8%) нейронов ТАО уровень генерации ПД не повышался и не снижался, однако, пространственно-временное их распределение (паттерн) в постстимульный период существенно отличалось от такового в престимульный период.

Реакции нейронов ТАО на раздражение СК. ИА 121 (100%) нейрона исследована при одиночном раздражении СК. Всего на данный вид стимуляции реагировало 95 (78,5%) нейронов, у остальных 26 (21,5%) при анализе ПСГ ответов не выявлено.

На раздражение СК реакции в виде первичного возбуждения выявлены у 30 (24,8%) интернейронов (см. табл.). Из данных таблицы видно, что у 14 клеток ответ проявлялся в тоническом повышении частоты генерации импульсов, у 11-фазном, а у пяти нейронов он был представлен одиночным ПД, который у двух клеток возник в результате моносинаптической активации, а у трех – олигосинаптически.

СП возбудительных ответов у разных нейронов имел значения от 3,8 до 40 мс (в среднем  $16,6 \pm 3,2$  мс). Начально возбудительная реакция на раздражение СК у большинства нейронов ТАО развивалась через 11-19 мс (рис.). Минимальные значения СП моносинаптических ПД, выявленные у двух нейронов, составляли 3,8 и 6,4 мс, а олигосинаптические импульсные ответы имели СП 17,6, 18,3 и 19,8 мс.

Среди реагирующих клеток два нейрона на раздражение СК отвечали антидромными ПД и, следовательно, можно считать, что аксоны этих нейронов направлялись в первичную слуховую кору. СП антидромных реакций этих нейронов имели значения были  $2,7 \pm 0,2$  мс и  $3,1 \pm 0,3$  мс соответственно. Антидромный ПД следовал частоте стимуляции у одного нейрона 630/с, а у другого – 485/с. Учитывая значения СП и расстояние между ТАО и СК (20–22 мм), были определены скорости проведения по этим кортико-кортикальным аксонам. Они составляли 7,8 и 6,8 м/с соответственно. Нейроны с проекцией аксона в слуховую кору залегали в V слое ТАО.

У 54 (44,6%) нейронов ТАО на стимуляцию СК выявлены начально тормозные реакции. При этом у 37 нейронов такие реакции носили фазный характер, а у 17 – тонический. СП первичных тормозных реакций у разных нейронов колебался от 10 до 120 мс, а их продолжительность – от 10 до 320 мс (в среднем 73 мс).

При стимуляции СК соотношение начально возбудительных и начально тормозных реакций в группе интернейронов внутрикорковых нейронных цепей ТАО составило 0,6:1.

Среди 121 обследованного нейрона у девяти (7,4%) нервных клеток не наблюдалось изменения средней частоты генерации фоновых импульсов, однако, в постстимульный период на ПСГ видоизменялась пространственно-временная структура генерируемых импульсов.

Ортодромно реагирующие на стимуляцию СК нейроны в поперечнике ТАО чаще всего встречались на глубине 0,6-1,5 мм.

Реакции интернейронов на раздражение ССК. Стимуляция ССК была предъявлена 125(100%) фоновоактивным нейронам ТАО. Из этого числа у 107(85,6%) нервных клеток выявлены ответные реакции (табл. 1).

Таблица 1

Количество и характер вызванной активности нейронов теменной ассоциативной области головного мозга кошки при изолированной электрической стимуляции первичных зон неокортекса

Область раздражения	Всего исследовано	РЕАКЦИИ												
		Возбудительные				Тормозные				ИП	Всего ортодромных	В/Т	А	Не реагировало
		ПД	Ф	Т	Всего	Ф	Т	Всего						
ЗК	133	8	5	8	21(15,8)	47	31	78(58,6)	13(9,8)	112 (84,2)	0,3/1	—	21(15,8)	
СК	121	5	11	14	30(24,8)	37	17	54(44,6)	9(7,4)	93(76,9)	0,6/1	2 (1,7)	26(21,5)	
ССК	125	8	26	29	63(50,4)	12	8	20(16,0)	17(13,6)	100(80,0)	3,2/1	7(5,6)	18(14,4)	

Примечание: раздражаемые проекционные зоны - ЗК- зрительная кора; СК- слуховая кора; ССК- соматосенсорная кора; ПД- ответ в виде одного потенциала действия; Ф-фазическая, Т-тоническая реакции; ИП- изменение паттерна; А- ответ в виде антидромного потенциала действия; В:Т- соотношение начально возбудительных и начально тормозных реакций; в скобках указано относительное число нейронов, %.

Начально возбуждающие реакции проявляли 63 (50,4%) нейрона, среди которых 34 были фазными, а 29 тоническими (табл.). СП этих реакций у разных нейронов колебался от 4,3 до 38,7 мс (в среднем  $15,1 \pm 3,1$  мс). Таким образом, уже на пятой миллисекунде после стимуляции ССК в ТАО начинают развиваться возбуждающие реакции, а через 40 мс процесс первичного возбуждения заканчивается (рис.).

На стимуляцию ССК семь нейронов активировалось антидромно с последующим угнетением частоты генерации импульсов. СП антидромных ПД разных нейронов находились в пределах 0,7–14,2 мс (в среднем  $2,1 \pm 0,8$  мс). Исходя из этих величин, а также из расстояния между раздражающими и отводящими электродами (15–18 мм), установлены скорости проведения возбуждения по аксонам нейронов ТАО, направляющихся в ССК. Они у разных нейронов составляли от 1,05–21,4 м/с (в среднем  $10,1 \pm 1,3$  м/с). У одного нейрона после генерации антидромного ПД следовал ортодромный, который воспроизводился при частоте стимуляции 120 имп/с и имел СП 9,6 мс. Можно полагать, что этот нейрон моносинаптически активировался из ССК. Не исключено, что этот нейрон мог возбуждаться и через коллатерали аксонов нейронов ТАО проецирующихся в ССК. Кроме того, при тестировании восьми нейронов, реагирующих одним ПД, у четырех клеток ответы возникали также моносинаптически. Таким образом, всего пять клеток (4% из 125) имеют прямые входы из ССК, причем два из них моносинаптически активировались импульсами из подкоркового БВ.

Нейроны ТАО с проекцией аксона в ССК обнаруживались в пределах III–VI слоев.

Данные о незначительном числе нейронов ТАО, антидромно отвечавших на раздражение ССК, согласуются с результатами исследования связей между этими зонами коры с применением метода дегенерации волокон [4].

Начально тормозный тип реакций на раздражение ССК выявлен у 20 (16,0%) нейронов. При этом у 18 клеток наблюдалось частичное фазное угнетение, а у двух - полное торможение фоновой импульсации. СП торможения варьировал от 10 до 50 мс. Фаза начального торможения имела продолжительность у разных нейронов от 15 до 70 мс (в среднем 42 мс). При данном виде стимуляции соотношение начально возбуждающих и начально тормозных ответов составило 3,2:1 (табл. 1).

У 17 (13,6%) нервных клеток проявляющиеся реакции выражались в виде изменения пространственно-временной структуры генерации импульсов.

Максимальная плотность отвечающих нейронов выявлена на уровне III–V слоев.

Таким образом, при одиночной электрической стимуляции ССК большинство (67 из 107) нейронов проявляют фазные реакции. Другой особенностью влияния из ССК является то, что среди реагирующих клеток более 50% проявляют реакции начально-возбуждающего типа.

Реакции фоновоактивных нейронов выхода ТАО на раздражение ПСЗ. Из 129 исследованных нейронов выхода 29 генерировали фоновые ПД, а 100 клеток были "молчашими". При предъявлении "молчашим" нейронам раздражения разных зон коры ни у одного из них не наблюдалось импульсных реакций, а из 29 фоновоактивных выявлены ответы на раздражение ЗК у 20, СК - 17 и ССК - 20 нейронов. В

целом, реагировало хотя бы на раздражение одной ПСЗ 27 (93,1%) нейронов.

На раздражение ПСЗ возбуждающие влияния у нейронов выхода выявлены в 23 случаях. При этом на раздражение ЗК возбуждалось семь, СК - пять и ССК - 11 нейронов. Среди отвечавших начальным возбуждением нейронов три нервные клетки активировались моносинаптически: две на стимуляцию ЗК и одна - СК. Минимальный СП импульсного ответа на стимуляцию СК составлял 9,4 мс, а на раздражение ЗК - 8,7 и 10,5 мс соответственно.

Начально тормозные реакции выявлены в 34 случаях, из которых на раздражение ЗК их было - 13, СК - 12 и на стимуляцию ССК - 9. Таким образом, у нейронов выхода соотношение начально возбуждающих и начально тормозных реакций на раздражение ЗК составляло 0,5:1, СК - 0,4:1, и ССК - 1,2:1. Следовательно, на нейронах выхода, как и на интернейронах внутрикорковых нейронных цепей ТАО, преобладают тормозные влияния из ЗК и СК, а из ССК наблюдается некоторое доминирование возбуждающих влияний. Приведенные результаты также показывают, что наименее эффективными для изменения импульсной активности у нейронов выхода являются одиночные раздражения СК.

### **Обсуждение результатов исследования**

Экспериментальные данные показывают, что ответы нейронов ТАО кошки на стимуляцию ПСЗ, представляют собой сложную и продолжительную перестройку импульсной активности. Эти реакции имеют значительное сходство в выраженности, динамике и времени появления, что может указывать на одинаковую организацию входов из разных ПСЗ.

Сопоставление наших данных о количестве и характере реакций, возникающих на раздражение ПСЗ, с таковыми на стимуляцию ядер таламуса [2] показало, что в обоих случаях значительная часть обследованных нейронов ТАО, реагировала торможением без предшествующего возбуждения (при стимуляции ЗК, СК и ССК - 58,6; 44,6; 13,6% соответственно, а при раздражении наружного и внутреннего колленчатых тел и ядер вентробазального комплекса - 25,0; 30,4; 38,6% соответственно). Эти данные свидетельствуют о важной роли сигналов из специфических структур в регулировании возбудимости нейронов ТАО и указывают на то, что в этих процессах ведущая роль принадлежит механизмам прямого афферентного торможения. Кроме того, из этих данных следует, что чем больше выраженность тормозного влияния из проекционной зоны, тем меньше нейронов ТАО подвержены торможению из соответствующего специфического ядра таламуса. Различия влияний специфических ПСЗ и ядер таламуса выражалось и в том, что среди начально возбуждающих реакций на раздражение релейных ядер таламуса преобладают ответы в виде одиночного ПД, в то время как на стимуляцию ПСЗ такие реакции наблюдаются в единичных случаях. Эти факты указывают на не одинаковую организацию входов в ТАО из указанных структур. Известное сходство реакций нейронов ТАО на раздражение ПСЗ и ядер таламуса, может быть обусловлено тем, что они возникают по механизму аксон рефлекса, поскольку разные ветви аксона одних и тех же нейронов таламуса иннервируют и ПСЗ, и ТАО [22].

Наиболее эффективными для вызова реакций у интернейронов ТАО являются

посылки из ЗК и ССК, на которые отвечало 84,2 и 80,0% единиц соответственно, а на стимуляцию СК – 76,9% исследованных нервных клеток. В этой связи необходимо напомнить, что по эффективности вызова реакций у нейронов ТАО в такой же последовательности распределяются и входы от рецепторных образований зрительной, соматической, и слуховой сенсорных систем [3; 6; 15; 24]. Однако, по этому поводу есть и другие мнения. Так, некоторые исследователи считают, что у нейронов ТАО преобладает слуховой вход [27], или утверждают представление об эквивалентности разномодальных периферических входов в ТАО [26]. Следует сказать, что и ассоциативные ядра таламуса, которые являются основными поставщиками сигналов для ТАО, получают наиболее существенные входы от структур зрительной и соматосенсорной систем [16].

В отношении вопроса, какими путями поступает специфическая информация в ТАО, некоторые авторы [19;20] считают, что основная часть, например, слуховой информации приходит в ассоциативную кору, минуя первичную слуховую зону. Однако, надо заметить, что через слуховую кору в ТАО передается информация о тонах характеристической частоты и, для значительного числа нейронов ТАО характеристическими являются низкие частоты [18;19] и, следовательно, интеграция таких сигналов на уровне ТАО может иметь первостепенную важность, поскольку слуховые сигналы этого диапазона частот имеют наибольшее биологическое значение [11].

Наши данные о СП ответов и о распределении в ТАО нейронов, реагирующих на стимуляцию ПСЗ и БВ позволяют считать, что поступающие по кортикопетальным и корково-корковым входам сигналы параллельно и одновременно оказывают влияния на клетки всех ее слоев. При этом, моносинаптически примерно в одинаковом количестве активируются нейроны входа, интернейроны и нейроны выхода. Иными словами, эти результаты свидетельствуют, что в ТАО происходит как поэтапный, так и "экспресс" анализ поступающей информации. В последнем случае информация из сенсорно-специфических корковых зон и кортикопетальные сигналы интегрируются только на нейронах выхода.

Несмотря на малое количество нейронов, которые моносинаптически получают модально специфические возбуждающие влияния из ПСЗ, нам представляется весьма существенным, что специфическая информация из ПСЗ может играть важную роль в формировании в нейронных сетях ТАО импульсных посылок, определяющих функциональное состояние нейронных цепей структур мишеней, в том числе сенсомоторной коры и спинного мозга [8;12]. Вероятно, такой прямой путь задействуется при организации сенсомоторного поведения в экстренных ситуациях.

Если исходить из того, что у значительного большинства корково-корковых волокон скорости проведения не превышают 10 м/с [7;12;28], то можно полагать, что более значительная часть нейронов испытывает моносинаптические влияния и число синаптических переключений сигналов из ПСЗ в транскортикальных цепях невелико. Однако, поскольку у большинства нейронов ТАО, проявляющих начально возбуждательную реакцию, не наблюдается стабильной генерации внеочередных ПД, мы склонны думать, что ассоциативные связи ПСЗ с ТАО преимущественно опо-

средуются через дистальные дендриты ее нейронов. Известно, что через такие связи оказываются модулирующие влияния [13; 14; 21].

Временные характеристики поступления информации из зрительной, слуховой и соматической зон коры сходны и это может обеспечивать тесное взаимодействие афферентных потоков и регуляцию возбудимости нейронных цепей ТАО, включая и ее выход. Создается впечатление, что функциональная роль такой организации корково-корковых связей, заключается в селекции наиболее значимой, в конкретный момент, информации.

Обращает на себя внимание, что наши данные хорошо согласуются с результатами морфологических исследований, согласно которым большая часть ассоциативных афферентов из ПСЗ и контралатеральной ТАО оканчиваются в нижней части III и на нейронах IV-V слоев, и лишь единичные заканчиваются в верхних слоях [5; 6; 17; 25]. Исходя из того, что сигналы из ПСЗ большей частью оказывают влияния на нейроны глубоких слоев ТАО, можно предположить, что такое распределение проекций из ПСЗ обеспечивает более эффективную модуляцию функционального состояния нейронов выхода, которые преимущественно локализованы в нижних слоях коры. Не исключено, что исследуемые входы организованы таким образом, что нейроны выхода ПСЗ образуют прямые связи преимущественно с клетками одноименных слоев ТАО. Очевидно такой принцип распределения ассоциативных входов, характерен для всех зон неокортекса, поскольку аналогичным образом распределяются и проекции ТАО в моторной области коры [13].

Среди нейронов ТАО лишь единичные клетки проявляют антидромные ответы на раздражение СК и ССК, а на ЗК таких клеток не было выявлено вовсе. Эти данные указывают на слабую выраженность эфферентных связей ТАО с ПСЗ.

### ВЫВОДЫ

1. В острых опытах на кошках установлено, что раздражение первичных ЗК, СК и ССК вызывает изменение функционального состояния более чем у 2/3 интернейронов внутрикорковых цепей ТАО. Соотношение начально возбуждательных и начально тормозных реакций интернейронов на стимуляцию ЗК составляло 0,3:1, СК – 0,6:1, а ССК – 3,2:1. Возбуждательные и тормозные реакции более чем у половины исследованных нервных клеток носят фазный характер.

2. Анализ СП ортодромных возбуждательных и тормозных реакций показал, что преобладающее большинство (более 95%) интернейронов и нейронов выхода испытывают влияния из ПСЗ по ди- и/или полисинаптическим путям. Моносинаптические возбуждающие влияния из ЗК испытывают 3,8% интернейронов и 6,9% нейронов выхода, из СК – 1,7 и 3,4% соответственно, а из ССК моносинаптические связи выявлены только у 4,0% интернейронов ТАО.

3. Выявлено, что одни и те же нейроны системы "вход-выход" ТАО могут моносинаптически активироваться как из ПСЗ, так и по кортикопетальными входами. Это свидетельствует, что формирование импульсации в нейронах выхода осуществляется в результате взаимодействия гетеромодальных сигналов, которые поступают в ТАО по кортико-кортикальным и кортикопетальным входам.

### Литература

1. Бабминдра В.П., Толченова Г.А., Шевченко Н.Н. Ассоциативные связи теменной области коры головного мозга // *Нейрофизиология*. 1980.- 12, N1.- С. 13-17.
2. Волошин М.Я., Гончар Ю.А., Прокопенко В.Ю. Взаимоотношение возбуждения и торможения в реакциях нейронов поля 5b ассоциативной коры головного мозга кошки на стимуляцию релейных ядер таламуса // *Физиол. журн.*- 1985.- 31, N5.- С. 604-611.
3. Ильичева Т.В. Активность отдельных нейронов теменной области коры головного мозга кошки при выполнении произвольных движений .-Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Симферополь, 1992.- 19 с.
4. Ипекчян Н.Н., Баклаваджян О.Г. Проекция полей 5 и 7 в подразделения сенсорной области коры мозга кошки // *Нейрофизиология*. 1988.- 20, N3.- С. 319-326.
5. Кавамура К., Макаров Ф.Н. Ультраструктурная организация окончаний внутри- и межполушарных волокон ассоциативной коры мозга кошки // *Арх. анат. гистол. эмбриол.*- 1973.- 64, N1.- С. 49-56.
6. Казаков В.Н., Шевченко Н.И., Крахоткина Е.Д. Ассоциативные связи теменной коры головного мозга кошки // *Нейрофизиология*.- 1981.13, N1.- С. 3-6.
7. Коренюк И.И. Реакции нейронов моторной коры на раздражение теменной ассоциативной области. // *Физиол. журн.* .-1987 .-33, N1.- -С. 19-26.
8. Коренюк И.И. Нейронные механизмы афферентной и эфферентной функций теменной ассоциативной области коры мозга.- Автореф. дис. ... докт. биол. наук.- Л., 1990.- 44 с.
9. Коренюк И.И., Павленко В. Б. Реакции нейронов ассоциативной коры на раздражение подкоркового белого вещества // *Физиол. журн.* 1982.- 28, N 2.- С. 139-144.
10. Коренюк И.И., Хитрова Т.В. Электрофизиологическое изучение проекций теменной ассоциативной области в двигательную зону коры головного мозга // *Физиол. журн.*- 1985.- 31, N2.- С. 126-133.
11. Куликов Г.А., Клименко В.Г. Вызванные потенциалы сенсорной и теменной областей коры мозга кошки на тональные стимулы // *Журн. высш. нерв. деятельности*.- 1984.- 34, N1.- С. 89-98.
12. Орлова Т.В. Электрофизиологическое исследование связей между теменной ассоциативной и моторной зонами коры головного мозга кошки: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук.- Москва, 1987.- 24с.
13. Серков Ф.Н. Короткое торможение.- Киев: Наук. думка.- 1986.248с.
14. Серков Ф.Н., Гончар Ю.Ф., Плевин Ю.М. Характеристика синаптического аппарата теменной ассоциативной коры (поле 5b) мозга кошки // *Нейрофизиология*.- 1989.- 21, N2.- С. 174-185.
15. Силаков В.Л., Обухова Г.П., Сенаторов В.В. Пластичность структурной и функциональной организации зрительно-ассоциативных центров мозга // *Ассоциативные системы мозга*.- Л., 1985.- С. 165-171.
16. Сологуб Н.Я., Намаконова Л.М. Морфо-физиологическое исследование афферентных проекций заднелатерального ядра таламуса крысы // *Нейрофизиология*.- 1984.- 16, N2.- С. 168-176.
17. Толченова Г.А., Иманкулова И.С., Шевченко Н.И. Комплексный подход к изу-

- чению межнейронных связей ассоциативной коры кошки // Нервн. система.- 1980.- 22.- С. 7-11.
18. Туркин В.В. Реакции супрасильвиевой извилины коры мозга кошки на тональные раздражения // Физиол. журн.- 1985.- 31, N4.- С. 392-397.
  19. Туркин В.В. Реакции нейронов теменной коры кошки на звуковые раздражения до и после выключения слуховой коры // Нейрофизиология.1986.- 18, N3.- С. 354-360.
  20. Хасабов Г.А., Тананакина Т.П., Панасюк Г.П., Одиночные слуховые вызванные ответы височной и ассоциативной областей коры головного мозга бодрствующих кошек // Физиол. журн.- 1990.- 36, N1.- С. 8-14.
  21. Яновский Е.Ш. Параметры и особенности торможения в нейронах ассоциативной коры головного мозга кошки // Физиол. ж.- 1986.- 32, N6. - С.715-722.
  22. Bignall K.E., Singler P., Herman C. Interaction of cortical and peripheral inputs to polysensory areas of the cat neocortex // Exp. Neurol.- 1967.- 18, N2.- P. 194-209.
  23. Diamond J.T., Jones E.S., Powell T.P.S. The association connections of the auditory cortex of the cat // Brain Res.- 1968.- 11, N4.- P. 560-579.
  24. Leinonen L. Integration of somatosensory events in the posterior parietal cortex of the monkey // Somatosensory Mech.Proc. Int. Symp., Stockholm, June 8-10, 1983.- New York; Londo, 1984.-P.113-124.
  25. Pearson R.C.A., Powell T.P.S. The projection of the primary somatic sensory cortex upon area 5 in the monkey // Brain Res.Rev.1985.- 9,N1.- P.89-107.
  26. Thompson R., Jonson R., Hoopers J. Organization of auditory somatic sensory and visual projection to association fields of cerebral cortex in the cat //J. Neurophysiol.- 1963,a.- 26,N3.-P. 343-364.
  27. Toldi J., Feher O. Acoustic sensitivity and bimodal properties of cells in the anterior suprasylvian gyrus of the cat // Brain Res.- 1984.- 55, N2.- P. 180-183.
  28. Waters R.S., Favorov O., Asanuma H. Physiological properties and pattern of projection from the anterior bank of ansate sulcus to the motor cortex area 4 in the cat // Exp. Brain Res.- 1982.- 46.P.403-412.



## КОМПЛЕКСНЫЙ ГРАДИЕНТ ОРГАНИЗАЦИИ СООБЩЕСТВ БУКОВЫХ ЛЕСОВ КРЫМА

Корженевская Ю.В., аспирант, кафедра ботаники

В любой из моделей организации растительных сообществ ведущую роль играет экотоп как совокупность абиотических факторов среды. Экотоп – это первое “сито”, которое определяет состав видов, претендующих на участие в сообществе.

Экотоп включает множество факторов, которые действуют на сообщество не порознь, а ассоциируются во взаимодействующие совокупности – комплексные градиенты [1]. Чистых экологических факторов вне комплексных градиентов, видимо нет, так как изменение любого из них вызывает цепную реакцию изменения других факторов, включая и вторичные биотические эффекты, такие как эдификаторное влияние доминантов и интенсивность конкуренции.

Количество комплексных градиентов определяющих состав сообществ и сложность этих градиентов в разных случаях различны, причем в любом, или почти в любом случае возможно установить главный комплексный градиент. Ведущие комплексные градиенты всегда включают в своем составе лимитирующие факторы среды, которые находятся в максимуме или минимуме и потому сильнее чем прочие, влияют на распределение и развитие растений. В этой статье приводятся результаты количественной оценки вклада денудационных процессов в организацию растительных сообществ буковых лесов и роль объединения этого фактора в комплексный градиент с ценотическим влиянием бука.

Для статистической обработки был использован массив состоящий из 303 геоботанических описаний (219 из которых выполнены на известняковых отложениях, 84 на магматических породах). Часть описаний выполнена автором в 1995–97 гг., кроме того использован архив фитоценотеки ГНБС (для целей, решаемых в статье ранее не использовался).

Будучи весьма требовательным к влаге, бук в горах Крыма приурочен к территории с максимальным количеством осадков (более 700 мм/год). Этот ареал *F. orientalis* характеризуется влажным, умеренно прохладным климатом с умеренно мягкой зимой. Среднегодовая температура воздуха в зависимости от высоты над уровнем моря (в.н.м.) колеблется от 6 до 9<sup>0</sup>С. Преобладающими являются бурые горнолесные почвы, мощность которых варьирует от нескольких сантиметров до 1,5 м. Формируются они на юрских известняках и породах магматического происхождения. Отличия горных пород связанные с их химическим составом, обуславливают различия в скоростях процессов выветривания, интенсивность которых на известняках ниже, чем на габбро-диоритах на 1 – 2 порядка.

На магматических породах размещена субассоциация (субасс.) *Epipactio-Tilio-Fagetum dentarietosum* входящая в состав ассоциации (асс.) *Epipactio-Tilio-Fagetum*, вторая субасс. *Epipactio-Tilio-Fagetum pinetosum (kochiana)* этой же ассоциации занимает увлажненные поверхности известняковых склонов. Асс. *Carici-Aceri-Fagetum* включает две субассоциации (*Carici-Aceri-Fagetum pinetosum (pallasiana)* и *Carici-Aceri-Fagetum argetosum*), всецело встречающиеся на склонах, сложенных

известняками. Эти ассоциации, сменяющие друг друга в разных экологических условиях, относятся к союзу *Fagion orientalis*, порядку *Fagetalia orientalis* [2]. Буковые леса Крыма включены в класс *Quercio-Fagetea Br.-Bl. et Vlieger in Vlieger 1937*, и по своей структуре, флористическому и синтаксономическому составу близки к аналогичным горным лесам Кавказа и Балкан, но значительно беднее и однообразнее их.

Методом изучения распределения растительности по градиентам среды был выбран прямой градиентный анализ [4], который был проведен по 10 факторам, характеризующим биотические и абиотические условия среды (толщина, объем и проективное покрытие подстилки, сомкнутость крон, высота над уровнем моря, крутизна и экспозиция склона, щебнистость поверхности, а также число видов и проективное покрытие травяного яруса). Каждый из факторов предварительно был разбит на пять равных градаций (от минимального к максимальному значению).

Интерпретация результатов градиентного анализа по 10 факторам значительно облегчается если предварительно выполнить корреляционный анализ взаимосвязи самих факторов (табл.1).

Сравнение матриц, несмотря на их общее сходство, позволяет выявить интересные тенденции, которые проявляются вследствие более медленных процессов денудации на интрузивных горных породах, плотная, с отсутствием трещиноватости поверхность которых, препятствует инвазии новых видов в фитоценозы. Как следствие этого, более низкие значения положительной связи между числом видов и сомкнутостью крон, и более высокие значения отрицательной зависимости между числом видов и толщиной подстилки.

Сильную корреляционную связь, близкую к функциональной, имеют сопряженные между собой признаки толщины и покрытия подстилки, достигающие приблизительно одинаковых значений (0,89 и 0,84) на известняках и габбро-диоритах, соответственно. Близкими значениями корреляции, подчеркивающими наличие положительной связи на исследуемых горных породах, характеризуются такие признаки как, проективное покрытие травяного яруса и число видов, а также имеющие отрицательную зависимость сомкнутость крон и щебнистость.

Вследствие того, что на известняках процессы денудации интенсивнее, более высокие значения положительных связей между толщиной подстилки, ее покрытием и объемом, а также между объемом подстилки и сомкнутостью крон. В тоже время интенсивные процессы разложения породы в меньшей степени зависят от высоты над уровнем моря и потому высота над уровнем моря в меньшей степени связана с щебнистостью и толщиной подстилки. В тоже время отмечается тенденция усиления зависимости щебнистости с крутизной и экспозицией склона.

Умеренной положительной связью характеризуется зависимость крутизны склонов с толщиной и покрытием подстилки, можно также говорить о наличии отрицательной связи между объемом подстилки и числом видов.

Значительная сила влияния щебнистости на число видов в фитоценозах характерная для буковых лесов расположенных на известняковых горных породах сопряжена с отрицательными значениями этого показателя на интрузиях. Это свидетельствует о том, что плотность и каменистость габбро-диоритов влечет за собой вымывание семян, оголение корней, угнетение вегетативной сферы растений и др.

*Fagus orientalis* является сильным эдификатором, в связи с чем действия экологических факторов (крутизна, экспозиция склонов, трофность почв и т.д.) в этих лесах изменяют лишь наиболее переменный фитоценотический показатель – проективное покрытие видов травяного яруса, сопряженность с факторами характеризующими основную лесобразующую породу, представлена незначительными, или, в некоторых случаях, умеренными корреляционными связями.

Для оценки роли фактора денудации на формирование фитоценозов буковых лесов мы сравнивали его влияние с ВНУМ и сомкнутостью крон, как главные абиотические, и биотические факторы, воздействующие на сообщества. В качестве результирующих признаков использовалось видовое богатство и проективное покрытие видов травяного яруса.

Кроме того, после определения характера влияния различных факторов организации на эти интегральные показатели сообществ с использованием одномерного градиентного анализа мы оценивали интенсивность процесса смены видов на этих экологических осях.

Поскольку денудационные процессы по разному воздействуют на растительность, сформировавшуюся на известняках и габбро-диоритах, то анализ влияния этих факторов проводился отдельно для двух выборок описаний.

Для облегчения сравнения результатов градиентного анализа мы закодировали типы распределения видов: 0 – распределение равномерное, вид не показал достоверной связи с изменением фактора на градиенте; А – вид с модой в классе минимальных значений; В – с модой в средних классах; С – с модой в классе максимальных значений.

Для сравнения были использованы таксоны встретившиеся в выборках описаний хотя бы 10 раз. Мы оценивали постоянство видов на градиенте классами применяемыми в методе Ж. Браун-Бланке. Это позволило при превышении постоянства на два класса считать тенденцию изменения представленности вида на градиенте устойчивой. Результаты сравнения показаны на табл. 2,3.

Нетрудно видеть, что на известняках отношение видов к абиотическим факторам большей частью характеризуется отсутствием достоверной связи с рассматриваемыми факторами, это объясняется наличием в сообществах видов имеющих широкую амплитуду толерантности к определенным факторам среды. Хотя и намечается тенденция смещения кривой распределения видов по градиенту объем подстилки, скоррелированному с фактором денудации к минимальным значениям (у видов характеризующих данный тип сообществ оптимум смещается в сторону низких значений). На габбро-диоритах с этим градиентом связаны виды имеющие моду в классах средних значений.

На градиенте фактора сомкнутость крон распределение видов сконцентрировано между точкой оптимума и минимальными значениями, что свидетельствует об недостаточном освещении для видов травяного яруса под пологом леса. Это характерно для обеих изученных типов горных пород.

Таблица 1.  
Корреляционный анализ основных экологических факторов и характеристик фитоценозов  
буковых лесов на различных горных породах

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
B		-0,19±0,07	-0,39±0,06	-0,35±0,06	0,41±0,06	0,13±0,07	-0,05±0,06	-0,11±0,07	0,50±0,05	0,55±0,05
C	-0,37±0,10		0,88±0,03	0,07±0,07	0,08±0,06	0,18±0,06	0,33±0,06	-0,04±0,07	-0,06±0,06	-0,16±0,06
D	-0,27±0,10	0,84±0,05		0,19±0,07	0,45±0,06	0,02±0,07	0,21±0,06	0,02±0,06	-0,31±0,06	-0,32±0,06
E	-0,39±0,10	0,47±0,09	0,53±0,09		0,10±0,06	-0,13±0,07	-0,19±0,07	0,05±0,06	-0,30±0,06	-0,13±0,07
F	0,12±0,10	-0,09±0,10	0,32±0,10	0,40±0,10		-0,30±0,07	-0,29±0,06	0,02±0,06	-0,54±0,05	-0,36±0,06
G	-0,10±0,10	0,09±0,11	0,08±0,11	0,03±0,11	-0,10±0,11		0,31±0,06	-0,29±0,06	0,26±0,06	0,01±0,06
H	-0,17±0,10	0,37±0,11	0,29±0,11	0,06±0,09	-0,19±0,11	0,29±0,11		0,39±0,07	-0,01±0,06	0,11±0,06
I	-0,26±0,11	-0,01±0,10	-0,16±0,11	-0,26±0,11	-0,45±0,09	0,08±0,11	0,05±0,11		-0,06±0,06	-0,12±0,06
J	-0,20±0,11	0,15±0,11	-0,15±0,11	-0,28±0,11	-0,65±0,08	0,08±0,11	0,30±0,11	0,27±0,11		0,38±0,06
K	0,56±0,09	-0,23±0,11	-0,16±0,11	-0,18±0,11	0,15±0,11	-0,06±0,11	0,20±0,11	-0,07±0,11	-0,09±0,11	

BB

B - число видов; C - толщина подстилки; D - покрытие подстилки; E - объем подстилки;

F - сомкнутость крон; G - высота над уровнем моря; H - крутизна; I - экспозиция склона

J - щебнистость; K - проективное покрытие травяного яруса

AA - известняки; BB - габро-диориты

Таблица 2.

Результаты градиентного анализа распределения видов по трем факторам среды  
(на известняках)

Виды	Встречаемость вида в описаниях	Объем под- стилки	Сомкну- тость крон	Внут
<i>Carex digitata*</i>	61	A	A	A
<i>Clinopodium vulgare</i>	27	A	A	B
<i>Acer campestre</i>	87	A	A	O
<i>Galium mollugo</i>	52	A	A	O
<i>Rosa canina</i>	30	A	A	O
<i>Carpinus betulus</i>	107	A	B	A
<i>Dentaria quinquefolia</i>	79	A	B	A
<i>Neottia nidus-avis</i>	52	A	B	A
<i>Euonymus latifolia</i>	59	A	O	A
<i>Platanthera chlorantha</i>	34	A	O	A
<i>Poa nemoralis</i>	61	A	O	C
<i>Lapsana intermedia</i>	43	B	A	C
<i>Fraxinus excelsior</i>	70	B	A	O
<i>Dactylis glomerata</i>	41	B	A	O
<i>Primula vulgaris</i>	40	B	A	O
<i>Polygonatum odoratum</i>	76	B	C	B
<i>Pinus silvestris</i>	44	C	O	B
<i>Epipactis microphylla</i>	42	C	O	O
<i>Sorbus torminalis</i>	32	O	A	A
<i>Quercus petraea</i>	31	O	A	A
<i>Cornus mas</i>	38	O	B	A
<i>Euphorbia amygdaloides</i>	109	O	B	C
<i>Galium odoratum</i>	85	O	B	C
<i>Arum elongatum</i>	36	O	C	A

- названия видов даны по С.К.Черепанову [5]

Видов со сходным типом распределения по трем рассматриваемым факторам среды не обнаружено. Некоторые виды характеризуются сходным распределением на двум градиентам факторов среды: *Galium mollugo* имеет одинаковое распределение по факторам сомкнутость крон и денудация с модой в классе минимальных значений. *Hieracium gentile*, *Quercus petraea*, *Galium odoratum* проявили сходное распределение по факторам сомкнутость крон и в.н.м. По факторам объем подстилки и в.н.м. - *Poa nemoralis* и *Fraxinus excelsior*. Сходным распределением по фактору денудации на известняках и габбро-диоритах характеризуется *Poa longifolia*, причем на известняковых горных породах он имеет равномерное распределение по всем трем факторам.

Таблица 3.

Результаты градиентного анализа распределения видов по трем факторам среды (на габбро-диоритах)

Виды	Встречаемость вида в описаниях	Объем подстилки	Сомкнутость крон	Внум
<i>Lapsana intermedia</i>	43	В	А	С
<i>Poa nemoralis</i>	61	А	О	С
<i>Galium mollugo</i>	52	А	А	О
<i>Veronica officinalis</i>	14	В	О	О
<i>Hieracium gentile</i>	24	О	А	О
<i>Quercus petraea</i>	31	О	А	А
<i>Dentaria quinquefolia</i>	79	А	В	А
<i>Tilia cordata</i>	38	В	В	В
<i>Galium odoratum</i>	85	О	В	С
<i>Galium aparine</i>	22	О	А	О
<i>Carex digitata</i>	61	А	А	А
<i>Carpinus betulus</i>	107	А	В	А
<i>Fraxinus excelsior</i>	70	В	А	О
<i>Platanthera chlorantha</i>	34	А	О	А
<i>Polygonatum odoratum</i>	76	В	С	В
<i>Mercurialis perrennis</i>	145	О	О	С
<i>Poa longifolia</i>	14	О	А	С
<i>Epipactis microphylla</i>	42	С	О	О

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что роль фактора денудации для буковых лесов, распространенных на известняках значительно выше, чем на габбро-диоритах, но несмотря на это он не выступает как ведущий. Несмотря на то, что роль абиотических факторов в формировании сообществ бука незначительна ими нельзя пренебрегать, т.к. в совокупности они оказывают существенное влияние. Необходимо говорить о комплексном градиенте. Эдификаторное влияние бука, выражающееся в формировании закрытых сообществ, настолько велико, что практически перекрывает действие других абиотических факторов, если они не являются лимитирующими.

#### Литература

1. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М.: Изд-во «Прогресс». 1980. - 328 с.
2. Корженевский В.В., Киселев О.А. Фитоценозистема восточнобуковых лесов Южного макросклона Главной гряды Крымских гор. Труды Никитск. ботан. сада. 1982. - Т. 86. - С. 26-35.
3. Корженевский В.В., Клюкин А.А. Растительность абразионных и аккумулятивных форм рельефа морских побережий и озер Крыма. Гос. Никитск. ботан. сад. 1990. - 109 с. - Деп. в ВИНТИ 10.07.90. №3822-В90.
4. Миркин Б.М., Розенберг Г.С. Фитоценология. Принципы и методы. М.: Изд-во «Наука». 1978. - 212 с.
5. Черепанов С.К. Сосудистые растения СССР. Л.: Наука. 1981. - 510 с.

## ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ИНЧ НА СИМПАТО-АДРЕНАЛОВУЮ СИСТЕМУ КРЫС В УСЛОВИЯХ ГИПОКИНЕЗИИ

*Малыгина В. И., кандидат биологических наук, преподаватель  
Грабовская Е. Ю., кандидат биологических наук, доцент  
Темурьянц Н. А., доктор биологических наук, профессор  
Ефименко А. М., доктор медицинских наук, профессор  
Гружеевская В. Ф., кандидат биологических наук, доцент  
Мельниченко Е. В., кандидат биологических наук, доцент  
Ширяев В. В., кандидат медицинских наук, доцент*

Известно, что необходимым условием нормальной жизнедеятельности организма является двигательная активность, определенный уровень которой был выработан в ходе эволюции. Однако, в связи с развитием научно-технического прогресса все более возрастает диспропорция между умственной и физической деятельностью [1, 128]. Установлено, что длительная гипокинезия вызывает комплекс структурно-функциональных нарушений практически во всех органах и системах [2, 94-95]. Показано, что пусковым механизмом для развития неспецифических реакций служит реакция симпато-адреналовой системы (САС). В последние годы получены многочисленные данные о биологической активности ПеМП инфранизкой частоты (ИНЧ) [3, 29; 4, 31-32; 5, 19]. Обнаружена способность ПеМП указанных параметров изменить временную организацию биосистем [6, 89-93]. Установлено влияние данного физического агента на ход адаптационных реакций [7, 17], имеющих место при ограничении подвижности и общее неспецифическое воздействие на организм [8, 20].

Целью настоящего исследования явилось изучение функционального состояния симпато-адреналовой системы при адаптации к ограничению подвижности и выявления возможности коррекции расстройств ее деятельности посредством примененной ПеМП ИНЧ.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальная часть работы проведена на 560 беспородных белых крысах массой 220-250 граммов. Для каждого эксперимента отбирали животных одинакового возраста и веса после тестирования их в "открытом поле" (ОП). Дальнейший эксперимент проводился с крысами средней двигательной активности, низкой эмоциональности [9, 301-307]. Всех крыс распределяли в повторных опытах на четыре равноценные группы по 8-10 особей в каждой. Животные первой группы находились в обычных условиях вивария (биологический контроль). Ко второй группе относились животные, которых содержали в условиях вивария и систематически подвергали воздействию ПеМП частотой 8 Гц индукцией 5.1 мкТ. Третью группу составляли крысы, находившиеся в виварии в условиях гипокинезии различной продолжительности. Крысы четвертой группы содержались в условиях гипокинезии и подвергались экспозиций в ПеМП одновременно с крысами второй группы (комбинированное воздействие). Экспозицию в ПеМП животных третьей и четвертой групп осуществляли ежедневно в течение трех часов, исследование функционального состояния крови и тканей производили двукратно на 2, 5, 9, 15, 20, 30, 45-е сутки ограничения подвижности. Экскреция катехоламинов с мочой исследовалась ежедневно в течение 30 суток. Определение

концентрации катехоламинов в плазме крови, тканях и моче крыс осуществлялось флюориметрическим методом по В. О. Осинской [10, 57] в модификации А. М. Бару [11, 65]. Для количественного измерения использовали флюориметрическую приставку к спектрофотометру "Спекол-10".

Цитохимическое определение катехоламинов (ЦПС) в эритроцитах крови крыс осуществляли по методу А. И. Мардарь и Д. Б. Кладиенко [12, 588]. Обработку и анализ экспериментальных данных проводили с помощью параметрических и непараметрических методов на ЭВМ Б-3-21 по стандартным программам [13, 53]. Для оценки достоверности использовали t-критерий Стьюдента.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

В ходе исследования особенностей адаптации к умеренной гипокинезии выявлены определенные изменения показателей активности САС, которые носили фазный характер и зависели от сроков ограничения подвижности. Наиболее характерные изменения наблюдались в течение первых пяти суток. Так, на 5-е сутки ограничения двигательной активности уровень НА гипоталамуса снижался, достигая  $61.8 \pm 7.19\%$  ( $p < 0.01$ ) относительно уровня контрольных животных. Увеличение концентрации НА в миокарде на 2-е сутки ограничения подвижности до  $124.3 \pm 11.4\%$  также свидетельствует об усилении активности медиаторного звена САС. Следствием усиленного выделения ил из гипоталамуса, других структур мозга и периферических отделов симпатической нервной системы является увеличение его концентрации в плазме крови на 2-5-е сутки ограничения подвижности на 70-60% ( $p < 0.01$ ) соответственно. По-видимому, действуя на чувствительные к катехоламинам элементы ретикулярной формации, НА приводит в состояние повышенной активности норадренергические элементы головного мозга и тем самым усиливает деятельность всей САС [14, 115-117]. Следствием этого является повышение содержания А в надпочечниках, концентрация которого возрастает на 5 день эксперимента до  $137.1 \pm 15.7\%$  ( $p < 0.05$ ). Это свидетельствует об усилении синтетических процессов в хромоаффинных клетках [15, 738-743]. Одновременно в этот период наблюдается возрастание ЦПС катехоламинов в эритроцитах, достигающее максимума (136% относительно контрольного уровня,  $p < 0.001$ ) на 9-е сутки воздействия. Экскреция катехоламинов с мочой на 8-10-е сутки ограничения подвижности достигала максимума ( $219.2 \pm 9.1\%$  для А и  $162.2 \pm 24.4\%$  для НА,  $p < 0.001$ ), что также свидетельствует о повышении активности САС в первые две недели гипокинезии (первая фаза). В течение последующих 3-5 недель гипокинезии (вторая фаза) состояние САС стабилизируется, хотя и остается на несколько повышенном уровне. Таким образом, в наших исследованиях обнаружено, что реакция САС на ограничение двигательной активности носит фазный характер. Причем, обострение стрессовой реакции имело место на 2-й и на 7-й неделе обездвиживания [7, 18; 5, 20].

При анализе результатов исследования состояния САС у животных, подвергнутых действию слабых ПемП частотой 8 Гц выяснены определенные закономерности. Так, на второй день воздействия ПемП отмечено повышение уровня НА в гипоталамусе, где содержание медиатора составило  $138.9 \pm 10.4\%$  относительно концентрации НА у контрольных животных ( $p < 0.05$ ). Эти изменения сопровождалось накоплением медиатора в плазме крови, особенно в миокарде –  $144.18 \pm 11.8\%$  ( $p < 0.02$ ). В последующие 5-30 суток наблюдения в исследованных органах возни-



кала тенденция к повышению концентрации медиатора. Так, на 9-е сутки наблюдения уровень НА повышался на 8-13% ( $p < 0.05$ ), в надпочечниках на 15-45% ( $p < 0.05$ ). Это сопровождалось увеличением веса желез на 4-11% относительно веса надпочечников у животных контрольной группы. Это может быть связано с интенсификацией синтеза катехоламинов в железе [4, 34]. Воздействие ПеМП ИНЧ на интактных крыс приводит к усилению корреляционной связи между содержанием НА, и особенно А с ЦПС катехоламинов в эритроцитах. Таким образом, данный физический агент способствует поступлению катехоламинов в эритроциты. При воздействии ПеМП ИНЧ на животных с ограниченной подвижностью также выявлены изменения показателей функционального состояния САС. Эти изменения были наиболее ярко выражены на 2 день комбинированного воздействия ПеМП и гипокинезии. В этот срок наблюдения уровень НА в плазме крови вырос до  $117.14 \pm 20.4\%$  относительно данных, полученных у контрольной группы животных ( $p < 0.05$ ), и это на 55.7% ниже ( $p < 0.001$ ), чем у животных с ограниченной подвижностью, не испытавших действие ПеМП. Этот процесс особенно отчетливо был выражен в миокарде, где концентрация НА возросла до  $158.8 \pm 23.5\%$  относительно контрольной группы животных ( $p < 0.05$ ), что значительно выше аналогичных изменений в условиях изолированного воздействия гипокинезии и ПеМП. Значительное возрастание коэффициента регрессий для ЦПС катехоламинов в эритроцитах и содержанием адреналина в плазме крови при воздействии ПеМП ИНЧ на гипокинезированных животных, позволяет предположить, что ПеМП приводит к увеличению накопления адреналина в эритроцитах, исключая гормон из циркуляции и этим самым лимитируя развитие стресс-реакции на ограничение подвижности.

Таким образом, ПеМП частотой 8 Гц индукцией 5.1 мкТ у животных с ограниченной подвижностью, начиная с 5 суток воздействия, нормализовало состояние САС. Восстановлению ее исходного уровня способствовало усиление экскреции катехоламинов в первые 3 суток ограничения подвижности, когда экскреция А возросла даже больше, чем только при гипокинезии ( $p < 0.01$ ).

### ВЫВОДЫ

1. Таким образом, ограничение двигательной активности крыс сопровождается активацией симпато-адреналовой системы. Наиболее характерные изменения функционального состояния симпато-адреналовой системы при гипокинезии умеренной жесткости развивается в течение первых пяти суток и заключаются в снижении содержания катехоламинов в гипоталамусе, возрастании уровня адреналина в надпочечниках и норадреналина в плазме крови, а также в увеличении экскреции катехоламинов с мочой. В последующие сутки в процессе развития адаптации к ограничению подвижности функциональная активность симпато-адреналовой системы стабилизируется на уровне, несколько превышающем контрольный.

2. При адаптации к действию ПеМП частотой 8 Гц и индукцией 5.1 мкТ увеличивается потенциальная мощность симпато-адреналовой системы, что выражается в увеличении запасов катехоламинов в гипоталамусе и надпочечниках при возрастании массы последних, а также в увеличении способности эритроцитов депонировать катехоламины.

3. Ежедневное трехчасовое воздействие ПеМП указанных параметров на крыс, находящихся в условиях гипокинезии, ограничивает активацию симпато-адреналовой системы. Корректирующее действие ПеМП ИНЧ на состояние симпато-

адреналовой системы крыс с ограниченной подвижностью связано с изменением функциональной активности гипоталамуса, усилением экскреции адреналина с мочой, а также с возрастанием способности эритроцитов поглощать адреналин из плазмы крови.

4. Полученные данные могут служить обоснованием для применения ПеМП ИНЧ в терапевтических целях, как фактора, повышающего адаптационные возможности организма.

#### **Литература**

1. Коваленко Е. А., Гуровский Н. Н. Гипокинезия. – М.: Медицина, 1980. – 237 с.
2. Тигранян Ф. А. Метаболические аспекты проблемы стресса в космическом полете: Проблемы космической биологии. – М.: Наука, 1985. – 52. – 224 с.
3. Темурьянц Н. А. Нервные и гуморальные механизмы адаптации к действию неионизирующих излучений // Автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Симферополь. – 1972. – 47 с.
4. Темурьянц Н. А. Нервные и гуморальные механизмы адаптации к действию неионизирующих излучений. // Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – М. – 1993. – 43 с.
5. Михайлов А. З. Функциональная морфология нейтрофилов крови крыс в процессе адаптации к гипокинезии: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Симферополь, 1986. – 24 с.
6. Владимирский Б. М., Сидякин В. Г., Темурьянц Н. А., Макеев В. Б., Самохвалов В. П. – Космос и биологические ритмы. – Симферополь, 1995. – 206 с.
7. Евстафьева Е. Р. Изменение показателей липидного обмена и системы крови у крыс при адаптации к гипокинезии // Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Л., 1985. – 24 с.
8. Грабовская Е. Р. Реакции крыс с различными индивидуальными особенностями двигательной активности на действие слабого ПеМП СНЧ: автореф. - дис. канд. биол. наук. – Симферополь. – 1992. – 24 с.
9. Маркель А. Л. К оценке основных характеристик поведения крыс в тесте открытого поля // Журн. высш. нервн. деятельности. – 1981. – 31, №2. – С. 301-307.
10. Осинская В. О. Данные об окислении, адреналина, норадреналина адреналона и норадреналона во флуоресцирующие соединения // Биохимия. – 1953. – 18, вып. I. – С. 56-62.
11. Бару А. М. Значение норадреналина головного мозга в возникновении гормонально-медиаторной диссоциации как формы изменения симпатико-адреналовой активности // Физиология и биохимия биогенных аминов. – М.: Наука, 1962. – С. 64-70.
12. Мардарь А. И., Кладиенко Д. П. Цитохимический способ выявления катехоламинов в эритроцитах // Лабор. дело. – 1986. – №10. – С. 586-590.
13. Францевич Л. И. Обработка результатов биологических экспериментов на микро-ЭВМ "Электроника-БЗ-21". – Киев: Наукова думка, 1979. – 91 с.
14. Вернсток Дж., Коста М. Адренэргические нейроны. Их организация, функция и развитие в периферической нервной системе. – Мн.: Наука и техника, 1979. – 228 с.
15. Kvetnansky R., Mikulaj L. Adrenal and urinary catecholamines in rats during adaptation to repeated immobilization stress // Endocrinology. – 1970. – 87. – n. 4. – p. 738-743.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИББЕРЕЛЛИНА В ВИНОГРАДАРСТВЕ

Мананков М. К., доктор биологических наук, профессор, Мананкова О. П., аспирант

Среди регуляторов роста особое место занимают гиббереллины. Высокая и многосторонняя физиологическая активность их вызвала большой интерес учёных различных стран мира. Накоплен большой фактический материал о влиянии гиббереллина на виноградное растение [1,2,3,4]. Исследования показали, что действие гиббереллина весьма специфично. Высокие концентрации часто вызывают израстание побегов, задержку распускания почек, пожелтение листьев и некоторые другие нежелательные эффекты. К сожалению, отрицательное влияние гиббереллина на отдельные сорта винограда явилось причиной скептического отношения ряда исследователей к дальнейшему, более широкому испытанию этого препарата. В своё время академик Холодный Н.Г.[5], анализируя причины неудач работы с фитогормонами, указывал, что они объясняются прежде всего чрезмерным увлечением ряда исследователей практическими аспектами без достаточно высоких теоретических разработок, из чего нередко вытекала поспешность перенесения полученных данных в практику сельского хозяйства.

Перед исследователями проблема фитогормонов ставит много важных, ещё нерешенных задач. И среди них по-прежнему на первом месте – задача построения теории действия гормональных веществ на организм растения.

Нами проведены исследования (1959 – 1987 гг.) по изучению действия гиббереллина на рост и генеративное развитие винограда. Реакцию винограда на обработку гиббереллином изучали на большой группе сортов (116), отличающихся по биологическим признакам (семенные, бессемянные, с обоеполым и функционально женским типом цветка). Использовали различные концентрации гиббереллина – от 1 до 500 мг/л. Наносили растворы с помощью опрыскивателей, опыливателей, гормонального лейкопластыря, аэрозольным методом. Опыты проводились в условиях Крыма и Средней Азии.

В динамике с интервалом в 2 недели в опытных и контрольных вариантах определяли длину побегов, усиков, соцветий; в период цветения проводили измерения длины цветоножки, тычиночной нити, пестика; при сборе урожая определяли среднюю массу грозди, массу 100 ягод, число ягод в грозди; в период созревания определяли с интервалом в 10 дней содержание сахаров и кислот в ягодах.

Наши исследования показали, что гиббереллин играет большую роль в ростовых процессах виноградного растения. Среди большой группы сортов наиболее отзывчивыми оказались семенные сорта. Наряду с этим установлено, что способность виноградного растения воспроизвести стимулятивный эффект зависит от этапа онтогенеза, физиологического состояния растения и условий окружающей среды. Гиббереллин влияет на формообразовательные процессы виноградного растения опосредованно, через усиление ростовых процессов и изменение анатомо-морфологического строения органов и тканей; последнее играет определяющую роль в отзывчивости различных сортов винограда на гиббереллин.

Обработка виноградного растения экзогенным гиббереллином или повышение уровня активности эндогенных гиббереллиноподобных веществ приводит к изменению дорзивентральности стебля, величины и формы листовой пластинки, увеличивает степень открытия черешковой выемки листьев, усиливает рост, спирализацию и одревеснение усиков, приводит к увеличению угла отклонения черешка листа от стебля, усиливает рост пасынков.

В зависимости от нагрузки виноградного растения соцветиями эффект от применения одной и той же концентрации гиббереллина различный: при малой нагрузке опрыскивание растений раствором гиббереллина, даже низкой концентрации (5–10 мг/л), приводит к усилению ростовых процессов, если же куст перегружен урожаем, аналогичный эффект наблюдается только при использовании высоких концентраций (до 200 мг/л). Применение высоких концентраций гиббереллина (500 мг/л) нарушает ритмы роста, формообразовательные процессы, что сильнее проявляется на более ранних этапах онтогенеза растения или его отдельных органов.

Показатели анато-морфологических изменений тканей и органов виноградного растения, или повышения уровня активности эндогенных гиббереллиноподобных веществ должны быть положены в основу при диагностике физиологического состояния виноградного растения и решении вопросов применения биологически активных веществ и других агроприемов в практике виноградарства.

Полученные нами данные свидетельствуют, что обработка гиббереллином, как правило, способствует повышению интенсивности фотосинтеза. Этот показатель находится в прямой зависимости от воздействия препарата на процессы роста и плодообразования. В вариантах, где гиббереллин усиливал ростовые процессы вегетативных и генеративных органов, наблюдалось повышение интенсивности фотосинтеза. Она увеличивалась, в зависимости от применяемых концентраций препарата, в 1,2 – 2,3 раза. Такая же зависимость установлена нами и по отношению влияния гиббереллина на продуктивность фотосинтеза: этот показатель увеличился в 1,2 – 1,5 раза. Действие препарата на интенсивность транспирации, так же, как его влияние на фотосинтез, проявляется опосредованно, через усиление ростовых процессов.

При изучении путей транспорта экзогенных гиббереллинов в виноградной лозе показано, что препарат легко проникает в различные органы виноградного растения (корневую систему, листья, усики, стебель, ягоды). В пределах побега гиббереллин транспортируется в акропетальном, базипетальном и латеральном направлениях. Препарат свободно перемещается из одного побега в другой, но при условии, если последний находится на пути транспорта метаболитов к корню.

Гиббереллин не может вызывать образование партенокарпических ягод нормальной величины у семенных сортов, если его вводят в растение через корневую систему или листовой аппарат.

Экспериментально доказана возможность равномерного транспорта гиббереллина в ягоды при внесении его совместно с сахарозой в район гребнепочки грозди, что положено нами в основу при разработке новых методов применения гиббереллина в практике виноградарства [6].

Высокая физиологическая активность гиббереллина особенно наглядно проявляется при воздействии препаратом на генеративные органы. Нами установлено, что гиббереллин, в зависимости от применяемой концентрации, способов и сроков обработки, может изменять морфогенез виноградного растения, направлять его по “вегетативному пути”. Более конкретно это проявляется при использовании препарата в концентрациях, превышающих оптимальные дозы: для бессемянных сортов в дозах, превышающих 200 мг/л, для семенных – 50 мг/л. Генеративность в почках может сниматься гиббереллином в летне-осенний период, т.е. в период закладки и развития соцветий.

Под влиянием препарата могут измениться форма и размер глазков. Подушечка глазка разрастается, наступает её быстрое одревеснение. Соцветия в таких глазках недоразвитые и в период прорастания побега превращаются в усик.

Если же гиббереллином в высоких концентрациях воздействовали на побег, когда в почках уже заложены соцветия и идет дифференциация цветков, процесс снятия генеративности приобретает иные формы. Глазок начинает приобретать ширококоническую форму с хорошо заметной центральной почкой, которая постепенно отделяется от боковых (замещающих). У основания центральной почки образуется отделительный слой клеток, и почка “выпадает”. Наблюдения за ростом и развитием почек в естественных условиях, т.е. без воздействия гиббереллином, показали, что аналогичный процесс “выпадения” центральной почки происходит в глазках побегов, отличающихся высоким уровнем эндогенных гиббереллинов. Препарат, как правило, задерживает начало прорастания почек.

Установленный нами факт ингибирующего влияния гиббереллина на прорастание почек представляет большой теоретический интерес, так как свидетельствует о том, что гиббереллин и гиббереллиноподобные вещества, возможно, играют определяющую роль в покое растений и превращении зимующих почек в спящие.

Влияние гиббереллина на соцветия после прорастания побега зависит от фазы развития и дозы препарата. Обработка гиббереллином соцветий семенных сортов на ранних этапах морфогенеза приводит к их израстанию и скручиванию. Они приобретают функцию усика. Соцветия семенных сортов отличаются большей отзывчивостью на гиббереллин по сравнению с бессемянными, что необходимо учитывать в практике применения препарата.

Наиболее чувствительный к гиббереллину орган цветка – цветоножка: её длина под влиянием препарата может увеличиваться в 2 – 3,5 раза. Это приводит к чрезмерному её израстанию, нарушению проводящей системы и, как следствие, ухудшению процесса плодообразования, что является одной из причин отрицательного отклика семенных сортов на обработку гиббереллином.

Под влиянием гиббереллина, в зависимости от сортовых особенностей, концентрации препарата, сроков и способов обработки, изменяются величина и форма ягод. У бессемянных сортов этот процесс сопровождается увеличением их массы в 1,5 – 2,3 раза, у семенных сортов, склонных к естественной партенокарпии, увеличивается число ягод в грозди за счет развития до нормальных размеров горошащихся ягод. Препарат, независимо от сроков применения, угнетает развитие семян в ягоде.

Установленные нами особенности роста и развития генеративных органов под влиянием гиббереллина (изменение формы почек, задержка их развития, превращение соцветия в усик, удлинение цветоножки, изменение формы соцветия, изменение формы ягоды, ингибирование развития семян и их положение в ягоде и др.) могут быть использованы для диагностики физиологического состояния виноградного растения при применении препарата в практике.

#### **Литература**

1. Плакида Е.К., Габович В.И. Применение гиббереллина в виноградарстве.- К., изд-во "Урожай", 1964,102с.
2. Мананков М.К. Производственные испытания гибберелловой кислоты на винограде., №2. Виноградарство и садоводство Крыма. 1960, с.9– 11.
3. Мананков М.К. Установление оптимальных концентраций, сроков и способов обработки винограда гибберелловой кислотой. - В сб.: Гиббереллины и их действие на растения, М., изд-во АН СССР, 1963, с.226– 234.
4. Мананков М.К. Способы стимулирования плодообразования винограда сорта Коринка чёрная. Физиология и биохимия культурных растений. 1982, т.4, №2, с.159– 164.
5. Холодный Н.Г. Фитогормоны. Очерки по физиологии гормональных явлений в растительном организме. К., изд-во АН УССР, 1939, с.263.
6. Мананков М.К. Теория и практика применения гиббереллина в виноградарстве. - В сб.: Регуляторы роста растений. Л.,1989, с.46–59.

**ВЛИЯНИЕ СЛАБОГО ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ КРАЙНЕ  
НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБМЕН В ГОЛОВНОМ МОЗГЕ  
И ПЕЧЕНИ ЖИВОТНЫХ С РАЗНЫМИ КОНСТИТУЦИОНАЛЬНЫМИ  
ОСОБЕННОСТЯМИ**

*Мартынюк С. Б., Овечкина З. А., Мартынюк В. С., Кучина Н. Б.*

**Введение**

Проблема индивидуально-типологических (конституциональных) особенностей организмов, несмотря на многолетнее изучение, остается актуальной благодаря своей значимости как в теоретическом, так и в прикладном аспектах. Важным направлением этих исследований является поиск физиолого-биохимических механизмов, определяющих формирование и функциональное проявление индивидуально-типологических особенностей (ИТО) организма. Конституциональные характеристики играют существенную роль в реакции организма на действие различных внешних факторов, в том числе электромагнитных полей естественного и искусственного происхождения [1]. Такие интегральные показатели как чувствительность, реактивность и резистентность организма к воздействию фактору значительно варьируют в популяции. Они, как правило, отражают состояние отдельных функционально-метаболических систем организма и особенности их взаимодействия между собой.

Во многих работах, касающихся влияния магнитного поля на биологические системы, объектом исследования является нервная ткань, что связано с ее ключевой ролью в регуляции жизнедеятельности и высокой чувствительностью к данному физическому фактору [2]. В тоже время, в литературе имеются данные о магнито-чувствительности других органов и тканей, например, печени [3], которая, как известно, выполняет важные функции в осуществлении адаптивных реакций организма. Существенным элементом успешной адаптации к воздействию факторов окружающей среды является состояние энергетического обмена и, соответственно, энергообеспеченность тканей.

В связи с этим, целью данной работы являлось изучение активности ключевых ферментов цикла Кребса и электрон-транспортной цепи митохондрий в отдельных структурах головного мозга и ткани печени у интактных и подвергшихся однократному действию переменного магнитного поля (ПемП) животных с различными индивидуально-типологическими особенностями.

**Методы исследований**

Экспериментальная часть настоящей работы проведена на кафедре физиологии человека и животных и кафедре биохимии Симферопольского госуниверситета.

Эксперимент осуществляли на 38 беспородных крысах-самцах массой 180-200 г. Конституциональные особенности животных оценивали при помощи теста "открытого поля" [4]. По результатам тестирования крысы были разделены на 3 группы: животные с низкой (НДА), средней (СДА) и высокой двигательной активностью (ВДА). При этом выделенные группы животных характеризовались близки-

ми уровнями груминга и дефекации, различия между которыми носили недостоверный характер.

Активность сукцинатдегидрогеназы (СДГ) и НАД-зависимых дегидрогеназ (НАД-ДГ) в гомогенатах нервной ткани определяли феррицианидным методом [5,6] Активность  $\alpha$ -кетоглутаратдегидрогеназы ( $\alpha$ -КГДГ) определяли спектрофотометрически по скорости восстановления 2,6-дихлорфенолиндофенола [7].

В гомогенатах печени изучали активность  $\alpha$ -КГДГ, сукцинатдегидрогеназы и НАД-зависимых дегидрогеназ электронтранспортной цепи митохондрий (НАД-ДГ). Активность КГДГ [7] и СДГ [8] определяли спектрофотометрически по скорости восстановления 2,6-дихлорфенолиндофенола. Активность НАДН-ДГ - по скорости восстановления гексацианоферрата калия [6].

Импульсное магнитное поле частотой 8 Гц индукцией 5 мкТл создавали с помощью колец Гельмгольца. Параметры поля выбирали с учетом их геофизической, экологической и физиологической значимости [1]. Однократная экспозиция животных в магнитном поле составляла 3 часа.

Полученные результаты были обработаны с помощью параметрических статистических методов. В качестве критерия достоверности различий использовался критерий Стьюдента.

### Результаты и обсуждение

Как видно из данных, представленных в таблице 1, печень низко активных животных, также как и кора больших полушарий, характеризуется незначительно повышенной активностью  $\alpha$ -КГДГ. Активность данного фермента у этой группы животных приблизительно на 20% выше ( $p < 0.1$ ), по сравнению с животными с высоким уровнем двигательной активности в «открытом поле». В тоже время, результаты эксперимента показали достоверно более высокую активность ( $p < 0.05$ ) НАД-ДГ в печени у животных с низкой двигательной активностью в «открытом поле», что не характерно для нервной ткани. В головном мозге более высокая активность НАД-ДГ выявляется у активных в «открытом поле» животных. В отличие от данных о разной активности СДГ в мозге активных и неактивных животных, результаты нашего эксперимента показали практически одинаковую активность СДГ в печени крыс всех групп (табл.1).

Таким образом, анализ полученных результатов по группе интактных животных указывает на существование связи их поведения в «открытом поле» с активностью отдельных звеньев энергетического обмена как в центральной нервной системе, так и в периферических органах и тканях. Установить характер этих связей позволяет корреляционный анализ (табл.2). Как видно, наибольшая связь метаболических показателей с показателями горизонтальной двигательной активности животных свойственна для коры больших полушарий и гипоталамуса. При этом для НАД-ДГ она положительная и характеризуется высокими значениями  $r = 0,5 \div 0,7$ , а для СДГ – отрицательная. Это означает, что повышение активности животных в тесте «открытого поля» сопровождается увеличением активности НАД-ДГ в исследуемых отделах головного мозга и одновременно с этим компенсаторным снижением активности СДГ. Такие реципрокные отношения НАД-ДГ и СДГ давно описаны в литературе [9]. Необходимо отметить, что в противоположность нашим результатам в отдельных исследо-



ваниях [10,11] установлена положительная корреляция активности СДГ с активностью животных в « открытом поле». Возможно, основная причина такой противоречивости результатов носит методический характер. В упоминаемых исследованиях оценку активности СДГ проводили гистохимическими методами с использованием нитротетразолиевого синего в качестве красителя. Следует отметить, что данный гистохимический краситель хорошо восстанавливается различными НАД-ДГ тканей. Учитывая, что СДГ является одним из наиболее медленных ферментов [12] и абсолютная активность НАД-ДГ на два-три порядка превышает активность СДГ (табл. 1), гистохимическое определение активности СДГ скорее является интегральным методом оценки суммарной скорости использования таких энергетических субстратов как сукцинат и НАДН\*Н<sup>+</sup>.

Таблица 1

Показатели активности ферментов энергетического обмена  
в головном мозге и печени интактных животных

	НДА	СДА	ВДА
<i>Головной мозг</i>			
Кетоглутарат-дегидрогеназа, 0,001 нМ/мг ткани*мин	1) 0,016±0,001	0,016±0,002	0,014±
0,001	2) 0,010±0,001	0,011±0,002	0,008±
Сукцинат-дегидрогеназа, 0,007 [MV1]нМ/мг ткани*мин	1) 0,070±0,012	0,050±0,005	0,038±
0,047±0,009	2) 0,064±0,008	0,040±0,005	
НАДН-зависимые дегидрогеназы, нМ/мг ткани*мин	1) 12,2±0,5	16,1±0,9	16,7±0,9
	2) 13,8±0,3	15,9±0,7	16,2±0,6
	3) 16,4±0,9	16,8±0,13	15,6±1,2
	4) 20,1±0,5	21,5±0,6	21,7±0,4
<i>Печень</i>			
Кетоглутарат-дегидрогеназа, 0,034 нМ/мг ткани*мин	0,462±0,021	0,410±0,048	0,380±
Сукцинат-дегидрогеназа, нМ/мг ткани*мин	0,426±0,023	0,423±0,017	0,411±
0,024			
НАДН-зависимые дегидрогеназы, нМ/мг ткани*мин	72,56±6,49	68,44±13,63	49,43±
6,48			

**Примечание:** 1) и 2) - кора левого и правого полушария соответственно,  
3) таламус, 4) гипоталамус.

Таблица 2

Корреляционные отношения активности ферментов энергетического обмена с показателем горизонтальной двигательной активности животных в «открытом поле»

ПеМП	Контроль	Воздействие
<i>Головной мозг</i>		
Кетоглутаратдегидрогеназа,	1) -0,244±0,253	0,172±0,263
	2) -0,320±0,245	-0,130±0,256
Сукцинатдегидрогеназа [MV2] 0,250	1) -0,431±0,201*	-0,276±0,240
	2) -0,465±0,209*	0,060±
НАДН-зависимые дегидрогеназы	1) 0,683±0,172*	0,356±0,234
	2) 0,661±0,177*	0,253±0,243
	3) -0,172±0,232	-0,207±0,245
	4) 0,495±0,206*	0,580±0,280*
<i>Печень</i>		
Кетоглутаратдегидрогеназа,	-0,412±0,209	0,513±0,209*
Сукцинатдегидрогеназа	-0,025±0,229	-0,182±0,246
НАДН-зависимые дегидрогеназы	-0,364±0,219	-0,722±0,173*

**Примечание:** \* - достоверная оценка коэффициента корреляции (P<0,05);

1) и 2) - кора левого и правого полушария соответственно,  
3) таламус, 4) гипоталамус.

Необходимо обратить внимание на низкие значения коэффициента корреляции в таламусе. Отсутствие достоверно значимых корреляций в таламусе было обнаружено в наших исследованиях и для других метаболических показателей, таких как уровень продуктов перекисного липидов, концентрация тиолов и др. Возможно, это связано с тем, что таламус не принимает непосредственного участия в формировании и реализации программ мотивационного поведения животных.

В печени корреляционная связь активности исследуемых ферментов с показателями поведения животных имеет менее выраженный характер (табл.2).

Однократное воздействие ПеМП не привело к статистически значимым изменениям активности α-КГДГ в коре больших полушарий животных всех исследуемых групп (рис. 1). Изменение активности СДГ в данном отделе головного мозга в сторону увеличения было выявлено только в группе высокоактивных животных, тогда как активность НАД-ДГ практически не изменялась. Следует, однако, отметить одну интересную на наш взгляд особенность действия слабого переменного магнитного поля. Однократное воздействие данного фактора приводило к разруше-

нию исходных корреляционных связей между поведением животных в «открытом поле» и активностью исследуемых ферментов в коре больших полушарий и гипоталамусе (табл.2). При этом, метаболическая ситуация в таламусе принципиально не изменяется. Данные факты мы рассматриваем как свидетельство более высокой чувствительности и реактивности на действие ПеМП тех структур головного мозга, которые непосредственно участвуют в формировании эмоционального статуса организма и программ его поведения.

Воздействие ПеМП у разных группа животных в печени привело к различным, как по величине, так и по направлению изменениям в состоянии ферментов энергетического обмена (рис.2). Так, активность НАД-ДГ ЭТЦ у животных с ВДА под воздействием поля достоверно снизилась на 22%. Возможно, уменьшение активности НАД-дегидрогеназного участка ЭТЦ в некоторой степени может компенсироваться усилением потока восстановленного НАД на ЭТЦ, который поступает из метаболических путей, в т.ч. из ЦТК. В пользу этого допущения говорит повышение активности  $\alpha$ -КГДГ у животных с ВДА.

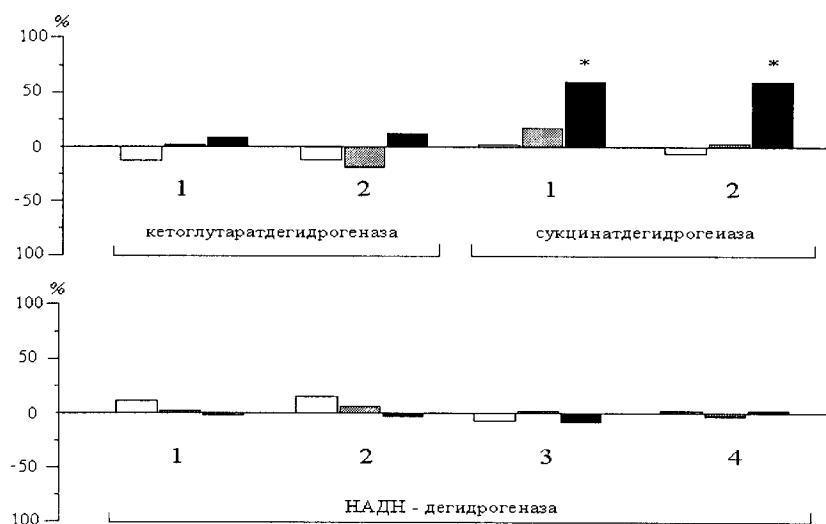


Рис. 1. Влияние ПеМП на активность ферментов энергетического обмена в головном мозге у животных с разным типом поведения в "открытом поле"

Обозначения:   
 □ - низкая активность в "открытом поле"   
 ■ (grey) - средняя активность в "открытом поле"   
 ■ (black) - высокая активность в "открытом поле"   
 1- кора левого полушария, 2- кора правого полушария,   
 3 - таламус, 4 - гипоталамус   
 \* - достоверные изменения ( $p < 0,05$ )

Повышение активности НАД-ДГ ЭТЦ в печени у крыс с СДА сопровождается снижением активности СДГ, что свидетельствует об активности компенсаторного

механизма регуляции потока электронов в ЭТЦ. т.к. известно, что эти два входа в ЭТЦ в различных условиях могут реципрокно активироваться и дезактивироваться [19].

У крыс с НДА незначительная интенсификация НАД-дегидрогеназного участка ЭТЦ сопровождается малодостоверными изменениями активности СДГ и достоверно значимым снижением активности  $\alpha$ -КГДГ.

В отличие от головного мозга, где воздействие ПеМП приводило к разрушению корреляционных отношений, характерных для интактных животных, в печени данное физическое воздействие приводило к заметному усилению корреляционных связей (табл. 2). Данная особенность влияния ПеМП пока трудно объяснима в рамках современных представлений о системных механизмах действия низкочастотных магнитных полей и поэтому остается в ранге феномена.

Таким образом, проведенные исследования показали, что у интактных крыс-

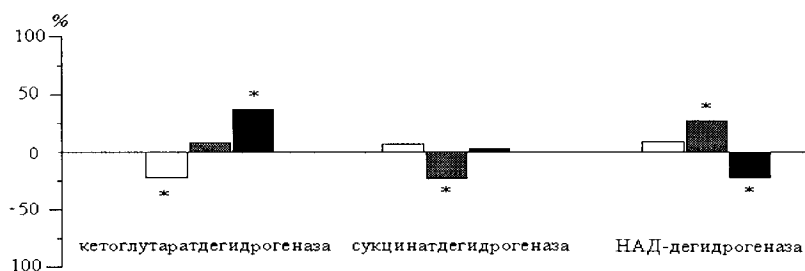


Рис. 2. Влияние ПеМП на активность ферментов энергетического обмена в печени у животных с разным типом поведения в "открытом поле"

Обозначения:   
 □ - низкая активность в "открытом поле"   
 ▨ - средняя активность в "открытом поле"   
 ■ - высокая активность в "открытом поле"   
 \* - достоверные изменения ( $p < 0,05$ )

самцов с разным типом поведения в «открытом поле» существуют различия в активности  $\alpha$ -кетоглутаратдегидрогеназы, сукцинатдегидрогеназы и NADH-дегидрогеназного комплекса ЭТЦ митохондрий. Воздействие поля частотой 8 Гц и индукцией 5 мкТл в разных группах животных приводит к различным по характеру изменениям в показателях энергетического метаболизма. Полученные результаты позволяют предположить, что под действием таких слабых внешних факторов как ПеМП в организме как единой целостной системе для наименьшего отклонения от устойчивого функционирования осуществляются адаптивные реципрокные изменения активностей ее отдельных звеньев.

#### Литература

1. Темурьянц Н.А., Грабовская Е.Ю. Реакция крыс с различными конституционными особенностями на действие слабых переменных магнитных полей сверхнизких частот // Биофизика.-1992. - Т.37, в.37. – С. 817.
2. Сидякин В.Г. Влияние глобальных экологических факторов на нервную систему.- Киев : Наукова думка., 1986. – 159 с.

3. Холодов Ю.А., Лебедева Н.П. Реакции нервной системы человека на электромагнитные поля. -М.: Наука, 1992. – 135 с.
4. Маркель А.Л., Хусаинов Р.А. Метод комплексной регистрации поведенческих и вегетативных реакций у крыс при проведении теста «открытого поля» // ЖВНД. – 1976. – Т. 26, № 6. – С.1314.
5. Методы биохимических исследований. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. – С. 207.
6. Карузина И.И., Арчаков А.И. Выделение микросомной фракции печени и характеристика ее окислительных систем. // В кн.: «Современные методы в биохимии». - М.: Медицина, 1977. – С. 57.
7. Снечук М.А., Галемжа А.А. Изучение каталитических свойств альфа-кетоглутаратдекарбоксилазы из мозга быка // Биохимия. – 1976. – Т. 41, в. 3. – С.491.
8. Кривченкова Р.С. Определение активности сукцинатдегидрогеназы в суспензии митохондрий // В кн.: «Современные методы в биохимии. – М.: Медицина, 1977. – С. 44.
9. Кондрашова М.Н. Взаимодействие процессов переаминирования и окисления карбоновых кислот при различных функциональных состояниях ткани // Биофизика. – 1989. – Т. 34, в. 5. – С.450.
10. Саркисова К.Ю., Ноздрачева Л.В., Куликов М.А. Взаимосвязь между индивидуальными особенностями поведения и показателями энергетического метаболизма мозга у крыс // ЖВНД. – 1991. – Т. 41, в. 5. – С.963.
11. Ливанова Л.М., Саркисова К.Ю., Лукьянова Л.Д., Коломейцева И.А. Дыхание и окислительное фосфорилирование митохондрий мозга крыс с разным типом поведения // ЖВНД. – 1991. – Т. 41, в. 5. – С. 973.
12. Шноль С.Э. Физико-химические факторы биологической эволюции. – М.: Наука, 1979. – 263 с.

## КОНКУРЕНЦИЯ И ДИНАМИКА АЛЛОМЕТРИИ У РАСТЕНИЙ В ЦЕНОПОПУЛЯЦИЯХ *SALICORNIA EUROPAEA L.*

Репецкая А. И., Котов С. Ф., кандидат биологических наук, доцент

Конкуренция между растениями влияет не только на популяционные характеристики (плотность, размерную структуру, биомассу и др.), но и на морфологию особей в популяции. В частности, конкуренция влияет на форму роста растения, то есть на его аллометрию [1,2].

С другой стороны физические и физиологические свойства организма изменяются с его возрастом. В силу асимметричности конкуренции за ресурсы среды это дает преимущество одним растениям и приводит к угнетению других. Аллометрия влияет на размерную структуру популяции и на процессы самоизреживания [1,3]. Таким образом конкуренция изменяет аллометрические соотношения, а аллометрия влияет на конкурентные взаимодействия между растениями.

Аллометрия и конкуренция это динамические процессы. Целью данной работы является изучение динамики аллометрии *Salicornia europaea L.* под влиянием конкуренции.

В отличие от предыдущих исследований [1,2], проводившихся в лабораторных условиях, мы изучали влияние конкуренции на аллометрию в природных популяциях *S. europaea*. Основным механизмом конкурентных взаимодействий в этих популяциях была не конкуренция за свет, как в опытах Weiner & Thomas [1], а конкуренция за элементы почвенного питания [4].

### Материал и методы

Исследования проводились в районе соленого озера Сасык, в моноценозах ассоциации *Salicornietum purum*. Сообщества занимают участки с выровненным рельефом. Почвы рыхлые, песчаные, слабогумусированные с хлоридным типом засоления; содержание  $Cl^-$  колеблется в диапазоне от 0,16 до 3,48 % (в среднем за сезон - от 0,51 до 1,82 %),  $SO_4^{2-}$  - от 0,03 до 1,82 % (в среднем за сезон - от 0,06 до 0,26 %).

В течение вегетационного сезона 1996 года, с июля по октябрь, случайным методом, с периодичностью раз в две недели, в семи ценопопуляциях отбирали растения *S. europaea*. Популяции различались по плотности и условно были выделены три группы плотности - "низкая", "средняя", "высокая". Растения с корнями извлекали из почвы и измеряли высоту (h), диаметр стебля выше гипокотыля (d); плотность ценопопуляции определяли на площадках размером 0,5 \* 0,5 м. В каждой из ценопопуляций было отобрано 400-450 особей *S. europaea*, по 50 растений за один отбор. В последующем растения высушивали в термостате при температуре 105 °С до воздушно-сухого состояния и взвешивали.

Материал обрабатывался с помощью общепринятых методов математической статистики [5]. При расчете аллометрии проводилась предварительная ln-трансформация данных по высоте, диаметру и массе растений.

## Результаты и обсуждение

Растения в процессе своей жизнедеятельности видоизменяют условия среды. В основном трансформация среды происходит в результате потребления ее ресурсов, которые поглощаются каждой отдельной особью в пределах ограниченной зоны. Перекрытие зон потребления ресурса приводит к конкуренции за ресурсы среды и влияет на организацию растительного сообщества (гипотеза круговых сетей [6]).

В исследованных нами ценопопуляциях *S. europaea* среднее расстояние между растениями колеблется в пределах от 1,1 см до 4,8 см (табл. 1).

Наличие конкурентных взаимодействий можно ожидать в том случае, если зоны потребления ресурса (фитогенные поля) растений будут перекрываться, то есть расстояние между соседними растениями должно быть меньше удвоенного радиуса фитогенного поля. Ранее нами было установлено, что радиус фитогенного поля растений в популяциях *S. europaea* с плотностью аналогичной плотности исследованных нами ценопопуляций, колеблется в пределах от 1 см до 8 см [7]. Так как все исследования (предыдущие и настоящие) проводились на одних и тех же участках, то эти результаты с большой долей вероятности можно экстраполировать и на настоящее исследование. Во всех случаях удвоенный радиус фитогенного поля превышает величину среднего расстояния между соседними растениями (табл. 1) и мы можем считать, что в исследованных нами популяциях *S. europaea* идет конкуренция за ресурсы среды.

Таблица 1.

Популяционные характеристики *S. europaea*

№ популяции	Группа плотности	Максимальная плотность, особей/м <sup>2</sup> $\bar{x} \pm m_{\bar{x}}$	Среднее расстояние между растениями, см	Средняя масса особи, мг $\bar{x} \pm m_{\bar{x}}$	Средняя био-масса популяции, г/м <sup>2</sup> $\bar{x} \pm m_{\bar{x}}$	Биомасса популяции, г/м <sup>2</sup> $\bar{x} \pm m_{\bar{x}}$
2.1	высокая	11120 ± 388	1,1	53,3 ± 1,7	343,1 ± 16,0	378,5 ± 44,3 69,2 ± 6,6
1.0	средняя	3224 ± 152	2,0	68,6 ± 2,7	137,5 ± 8,5	118,5 ± 12,0 2,8 ± 1,6
5.0	средняя	3452 ± 164	1,7	51,5 ± 1,9	96,5 ± 4,4	146,8 ± 17,9 71,8 ± 7,8
2.2	средняя	2748 ± 152	2,3	85,5 ± 2,9	124,6 ± 6,2	94,5 ± 10,0 69,7 ± 8,1
2.3	средняя	1948 ± 116	2,6	165,9 ± 6,5	259,3 ± 12,8	307,6 ± 29,2 83,4 ± 10,5
2.4	низкая	1940 ± 140	3,3	37,2 ± 1,3	42,5 ± 2,1	43,7 ± 5,1 29,4 ± 4,2
2.5	низкая	566 ± 60	4,8	63,0 ± 2,3	21,6 ± 1,1	17,2 ± 2,8 28,8 ± 4,8

Примечание. Здесь и в таблице 2, над чертой приведены значения для начала вегетационного периода (фаза цветения), под чертой – для конца вегетационного периода (фаза формирования семян).

Конкуренция между растениями влияет на аллометрический рост *S. europaea* (табл. 2).

Таблица 2.

**Аллометрия особей *S. europaea* в популяциях различной плотности**

№ популяции	Масса - высота			Масса - диаметр			Высота - диаметр		
	$\eta^2$	$r^2$	P	$\eta^2$	$r^2$	P	$\eta^2$	$r^2$	P
2.1	<u>0,75</u>	<u>0,67</u>	NS	<u>0,73</u>	<u>0,68</u>	NS	<u>0,69</u>	<u>0,52</u>	NS
	0,83	0,68	NS	0,88	0,79	NS	0,70	0,61	NS
1.0	<u>0,60</u>	<u>0,53</u>	NS	<u>0,62</u>	<u>0,57</u>	NS	<u>0,63</u>	<u>0,50</u>	NS
	0,83	0,57	< 0.05	0,66	0,62	NS	0,39	0,36	NS
5.0	<u>0,89</u>	<u>0,84</u>	NS	<u>0,68</u>	<u>0,73</u>	NS	<u>0,73</u>	<u>0,78</u>	NS
	0,70	0,44	< 0.05	0,74	0,45	< 0.05	0,64	0,63	NS
2.2	<u>0,63</u>	<u>0,55</u>	NS	<u>0,59</u>	<u>0,57</u>	NS	<u>0,61</u>	<u>0,56</u>	NS
	0,69	0,44	< 0.05	0,72	0,68	NS	0,74	0,62	< 0.05
2.3	<u>0,90</u>	<u>0,65</u>	NS	<u>0,70</u>	<u>0,58</u>	NS	<u>0,69</u>	<u>0,66</u>	NS
	0,76	0,44	< 0.05	0,82	0,76	NS	0,74	0,45	< 0.05
2.4	<u>0,61</u>	<u>0,54</u>	NS	<u>0,43</u>	<u>0,32</u>	NS	<u>0,61</u>	<u>0,44</u>	NS
	0,76	0,52	NS	0,60	0,55	NS	0,73	0,71	NS
2.5	<u>0,80</u>	<u>0,70</u>	NS	<u>0,67</u>	<u>0,59</u>	NS	<u>0,60</u>	<u>0,56</u>	NS
	0,58	0,38	NS	0,54	0,48	NS	0,52	0,47	NS

Примечание. NS - разница между  $\eta^2$  и  $r^2$  недостоверна ( $P > 0,05$ ).

Аллометрия определяется как дифференциальный рост частей или метрик организма в процессе онтогенеза (онтогенетическая аллометрическая зависимость) [1,8]. Это подразумевает отсутствие геометрического подобия организмов разного размера. С течением времени соотношения между основными морфометрическими показателями растений меняются. Скорость изменения этих соотношений при увеличении размера постоянна и может быть описана прямой пропорциональной зависимостью в логарифмических координатах (так называемая “простая аллометрия” [1]).

В процессе развития организма условия среды изменяют некоторые его характеристики. Для того чтобы протестировать гипотезу о влиянии условий среды, в том числе и конкуренции, на аллометрию, мы оценивали достоверность отклонений аллометрических соотношений между различными морфометрическими показателями от линейной зависимости. Weiner & Thomas [1] использовали аппроксимацию эмпирических данных полиномом второй степени с последующей проверкой полученной зависимости на достоверность отличий от линейности. Мы, с помощью t-теста [5], проверяли на достоверность разницу между квадратом корреляционного отношения ( $\eta^2$ ) массы к высоте, массы к диаметру и диаметра к высоте и квадратом коэффициента корреляции ( $r^2$ ).



Как видно из таблицы 2, в ряде случаев установлена криволинейная зависимость аллометрических соотношений ( $P < 0,05$ ). Причем, криволинейная зависимость характерна для конца вегетационного сезона. Это объясняется кумулятивностью реакции роста особей *S. europaea* на конкуренцию. Онтогенетическая аллометрическая зависимость изменяется под длительным и постоянным воздействием фактора среды.

Интенсивность конкурентных взаимодействий коррелятивно связана с расстоянием между ближайшими соседями [9] – чем ближе расположены друг к другу растения, тем сильнее их взаимное угнетение. Наиболее напряженная конкуренция будет наблюдаться в популяции с максимальной степенью плотности (2.1) и, напротив, в популяциях низкой плотности (2.4; 2.5) конкурентные взаимодействия будут слабыми.

В популяциях 2.4 и 2.5, условно выделенных, как популяции “низкой” плотности, отклонения от линейности не значимы (табл. 2). Это указывает на то, что аллометрический рост особей в данных популяциях не изменяется. В популяциях “средней плотности” (2.3; 2.2; 5.0; 1.0) отмечены статистически значимые ( $P < 0,05$ ) отклонения от линейности. В этих популяциях аллометрический рост изменяется под влиянием конкуренции между растениями. Исход конкурентных взаимодействий, их напряженность и влияние на процессы происходящие в популяциях, детерминированы большим количеством факторов. Примером может служить динамика аллометрии *S. europaea* в популяции 2.3. Мы условно отнесли эту популяцию к группе популяций “средней плотности”, хотя она по плотности не отличается от популяции 2.4, отнесенной к группе “низкой плотности”. Популяция 2.3 занимает более увлажненный экотоп; *S. europaea* положительно реагирует на повышение влажности [10,11,12] – особи в этой популяции более мощные, биомасса значительно выше биомассы популяции 2.4 (табл. 1). Размеры фитогенного поля являются функцией линейных размеров растения – чем больше растение, тем больше пространственная протяженность зоны изъятия ресурса. При одинаковой плотности сравниваемых популяций, в популяции 2.3 степень перекрытия фитогенных полей растений выше, чем в популяции 2.4 и конкуренция за ресурсы среды более напряженная; относительные потери биомассы в этой популяции в два раза выше, чем в популяции 2.4. Конкуренция такой интенсивности изменяет аллометрию растений (табл. 3).

В популяции “высокой плотности” (популяция 2.1) в начале и в конце вегетационного сезона зависимость между морфометрическими показателями не изменяется и остается прямолинейной, то есть наблюдается простая аллометрия.

Конкуренция, как и аллометрический рост, динамический процесс. В популяции 2.1 в вегетативную фазу отмечено статистически значимое ( $P < 0,05$ ) отклонение аллометрических соотношений “масса-высота” от линейности. При высокой плотности конкуренция изначально интенсивна и аллометрический рост растений изменяется на ранних стадиях развития популяции. В популяции 2.3, где плотность почти в шесть раз ниже, отклонения аллометрических соотношений от линейности отмечены к концу вегетационного периода, в фазу формирования семян и обсеменения (табл.3).

Динамика аллометрии *S. europaea* в популяциях высокой (2.1) и средней (2.3) плотности

Фенологические фазы	Дата отбора	Масса - высота			Масса - диаметр			Высота - диаметр		
		$\eta^2$	$r^2$	P	$\eta^2$	$r^2$	P	$\eta^2$	$r^2$	P
Вегетативная	6.07	<u>0,78</u> -	<u>0,68</u> -	NS -	-	-	-	-	-	-
	20.07	<u>0,92</u> -	<u>0,77</u> -	NS -	-	-	-	-	-	-
	3.08	<u>0,94</u> 0,81	<u>0,64</u> 0,72	$\leq$ 0,05 NS	-	-	-	-	-	-
Цветение	17.08	<u>0,90</u> 0,92	<u>0,81</u> 0,84	NS NS	<u>0,81</u> 0,85	<u>0,72</u> 0,81	NS NS	<u>0,66</u> 0,72	<u>0,61</u> 0,67	NS NS
	31.08	<u>0,75</u> 0,90	<u>0,67</u> 0,65	NS NS	<u>0,73</u> 0,70	<u>0,69</u> 0,58	NS NS	<u>0,69</u> 0,69	<u>0,52</u> 0,66	NS NS
	14.09	<u>0,83</u> -	<u>0,80</u> -	NS -	-	-	-	-	-	-
Плодоношение	28.09	<u>0,67</u> -	<u>0,60</u> -	NS -	-	-	-	-	-	-
	12.10	<u>0,83</u> 0,76	<u>0,68</u> 0,44	NS < 0,05	<u>0,88</u> 0,82	<u>0,79</u> 0,76	NS NS	<u>0,70</u> 0,74	<u>0,61</u> 0,45	NS < 0,05
	26.10	<u>0,87</u>	<u>0,44</u>	< 0,05	<u>0,99</u>	<u>0,86</u>	NS	<u>0,89</u>	<u>0,30</u>	< 0,05

Примечание. Над чертой приведены показатели для популяции 2.1 “высокой плотности”, под чертой – показатели для популяции 2.3 “средней плотности”.

В результате конкуренции происходит дифференциация популяции на различные по виталитету группы растений – угнетенные, индифферентные, господствующие [13,14]. Форма растений зависит от их положения в размерной иерархии [15], с увеличением плотности отличия в форме между доминантными и угнетенными растениями становятся больше. Угнетение роста вызывает специфические нарушения морфогенеза [16]. Изменение аллометрического роста характерно для угнетенных растений, так как растения этой группы в условиях чрезмерного загущения не ветвятся – при этом снижается масса растения, а рост в высоту изменяется не так сильно как масса. Разная аллометрия растений в пределах одной популяции – демонстрация реакции пластичности в ответ на загущение [17] и поливариантности разви-

тия растений, то есть прохождение жизненного цикла на разных уровнях жизнестойкости, минуя некоторые фазы морфогенеза [18] (например, ветвление у *S. europaea*). В дальнейшем, в ходе самоизреживания популяции, угнетенные особи гибнут, их доля в популяции резко снижается (к концу периода вегетации гибнет 93% угнетенных особей) и отклонения от линейности, усредненных по всей популяции, аллометрических соотношений становятся статистически недостоверными. Подобные процессы не наблюдаются в других, исследованных нами популяциях, так как в них не достигается пороговая плотность при которой начинается самоизреживание [19].

Проведенные исследования свидетельствуют, что конкуренция влияет на аллометрический рост *S. europaea*, причем скорость изменения аллометрического роста обусловлена интенсивностью конкурентных взаимодействий.

#### Литература

1. Weiner J., Thomas S. Competition and allometry in three species of annual plants // Ecology. - 1992. - V. 73. - N 2. - P. 648 - 656.
2. Weiner J., Fishman L. Competition and allometry in *Kochia scoparia* // Annals of Botany. - 1994. - V. 73. - N 3. - P. 263 - 271.
3. Weller D.E. Self-thinning exponent correlated with allometric measures of plant geometry // Ecology. - 1987. - V. 68. - N 3. - P. 813 - 821.
4. Котов С.Ф. Конкуренция в сообществах галофитов при двух уровнях почвенного плодородия // Укр. бот. журн. - 1997. - Т. 54. - N 6. - С.525 -528.
5. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. - М.: Наука, 1984. - 424с.
6. Aarssen L.W. Causes and consequences of variation in competitive ability in plant communities // J. Veget. Sci. - 1992. - V.3. - N2. - P. 165 -174.
7. Котов С.Ф. Количественный подход к оценке конкурентных взаимодействий на уровне сообщества. 1. Моноценозы однолетников // Экология та ноосферология. - 1996. - Т.2. - №3 - 4. - С. 134-139.
8. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяции и сообщества: В 2-х т. Т.2. - М.: Мир, 1989. - 477 с.
9. Котов С.Ф. Количественный анализ взаимодействий в ценопопуляциях некоторых галофитных растений // Укр. бот. журн. - 1997. - Т. 54. - № 1. - С. 57 - 62.
10. Генкель К.А., Шахов А.А. Экологическое значение водного режима некоторых галофитов // Бот. журн. - 1945. - Т.30. - №4. - С. 154 - 166.
11. Keiffer C.H., McCarthy B., Ungar I.A. The effect of soil moisture stress on the growth of five inland halophyte species: [Abstr.] Annu. Meet. Bot. Soc. Amer. (BSA) with Amer. Inst. Biol. Sci. Knoxville, Tenn., 1994. // Amer. J. Bot. - 1994. - V. 81. - N 6. - P. 58.
12. Репецкая А.И. Саморегуляция в популяциях *Salicornia europaea* // Учен. записки Симфероп. гос. унив. - 1998. - №5 (44). - С.37 - 44.
13. Ипатова В.С. Некоторые аспекты общественной жизни растений // Вестн. Ленингр. ун-та. Сер. биол. - 1967. - №15. - Вып.3. - С.97 - 106.
14. Weiner J. Size hierarchies in experimental populations of annual plant // Ecology. - 1992. - V. 73. - N 2. - P. 648-656.

15. Geber M.A. Interplay of morphology and development on size inequality a *Polygonum* greenhouse study // Ecological monographs. - 1989. - V.59. - №3. - P. 267 - 288.
16. Злобин Ю.А. Принципы и методы изучения ценологических популяций растений. - Казань: Изд-во Казан. ун-та. - 1989. - 146 с.
17. Harper J.L. Population biology of plants. - London: Academic Press. - 1977. -892 p.
18. Жукова Л.А., Комаров А.С. Поливариантность онтогенеза и динамика ценопопуляций растений // Журн. общ. биол. - 1990. - Т.51. - №4. - С. 450 - 461.
19. Elisson A.M. Density dependent dynamics of *Salicornia europaea* monocultures // Ecology. - 1987. - Vol.68. - №3. - P. 737 - 741.

## ОСОБЕННОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ ФУНКЦИИ АЛЬБУМИНА КРОВИ У ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ВОЛЕЙБОЛИСТОВ

*Толкачева Н. В., доктор биологических наук, профессор  
Коношенко С. В., доктор биологических наук, профессор  
Попичев М. И., кандидат педагогических наук, доцент  
Журба В. А., аспирант кафедры биохимии*

Современные представления об адаптационных механизмах рассматриваются в настоящее время как проявление характерных физиолого-биохимических изменений в организме. Важную роль при этом играют различные транспортные формы белковой природы, участвующие в обменных процессах тех или иных веществ.

Одним из таких белков, обеспечивающим перенос разнообразных эндогенных и экзогенных соединений, является сывороточный альбумин. Ранее в ряде работ нами показаны особенности транспорта альбумином крови лигандов липидной и углеводной природы в зависимости от условий функционирования организма при воздействии физических нагрузок различной мощности и в разные периоды тренировочного цикла [1,2,3,4]. Полученные нами данные показали, что изменение объема транспорта метаболитов энергообеспечения, связываемых альбумином, является одним из звеньев адаптационной перестройки при целенаправленных физических нагрузках.

Целью настоящей работы явилось дальнейшее изучение характера изменений в транспорте сывороточным альбумином углеводов, липидов и продуктов их перекисного окисления у высококвалифицированных волейболистов.

### **Методика**

В работе обследована группа высококвалифицированных волейболистов, выполнявших нагрузку ациклического типа аэробно-анаэробного характера 21-22 лет (14 человек, мастера спорта и кандидаты в мастера спорта) в соревновательном периоде тренировочного цикла. Контрольную по возрасту и полу группу составили 11 человек, не занимающихся спортом. Альбумин выделяли из сыворотки крови методом препаративного электрофореза в полиакриламидном геле [5]. Для определения чистоты выделенных препаратов альбумина использовали диск-электрофорез [6]. Содержание общих липидов в сывороточном альбумине (СА) проводили по методу Блюра в модификации Брагдон [7]. Первичные продукты перекисного окисления липидов (ПОЛ), связываемых СА, оценивали на спектрофотометре СФ-16 по методу Плацер З. в модификации Гаврилова В.Б. и Мишкорудной М.И. [8]. Содержание ТБК-активных продуктов в СА определяли по реакции с тиобарбитуровой кислотой [9]. Липидные экстракты из препаратов сывороточного альбумина выделяли по методу Фолча [10]. Метилвые эфиры жирных кислот получали с использованием флуоридбора 14% в метаноле [11]. Газо-хроматографический анализ полученных эфиров жирных кислот проводили на хроматографе "Intersmat" (Франция) с пламенно-ионизационным детектором. Определение содержания углеводов в сывороточном альбумине проводили орциновым методом [12].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате целенаправленных физических нагрузок у высококвалифицированных спортсменов в исходном состоянии содержание углеводов и липидов, связываемых сывороточным альбумином, достоверно выше, чем в контрольной группе (табл.1).

Под влиянием однократной тренировочной нагрузки отмечается реципрокный характер изменений этих показателей. Так, при дальнейшем повышении уровня липидов в СА происходит достоверное снижение содержания углеводов, что свидетельствует об активном их использовании и компенсаторной мобилизации липидов в условиях повышенных энергозатрат. Аналогичные изменения в содержании углеводных и липидных лигандов в СА были получены нами ранее у спортсменов, выполнявших нагрузки различной мощности [1,2,3,4].

Таблица 1

Содержание общих углеводов, липидов и продуктов ПОЛ в сывороточном альбумине волейболистов (M+m)

Обследуемые группы	Количество обследуемых	Общие липиды мг/100мг белка	Общие углеводы мг/100мг белка	Диеновые конъюгаты и кетоны у.е./100мг белка	ТБК-активные продукты у.е./100мг белка
Контрольная группа	11	2,93±0,14	2,90±0,11	0,37±0,02	0,10±0,03
Спортсмены до нагрузки	14	6,61±0,05 *	4,10±0,12 *	0,81±0,02 *	0,38±0,02 *
после нагрузки	14	7,42±0,10 *, **	3,50±0,09 *, **	0,70±0,03 *, **	0,32±0,03 *

Примечание:

\*-достоверность различий по сравнению с контрольной группой;

\*\*-достоверность различий до и после нагрузки

Известно, что одним из путей реализации адаптационных реакций в организме на клеточном и молекулярном уровне является интенсивность процессов ПОЛ, которые можно отнести к неспецифическим компонентам системы адаптации. В ряде предыдущих работ нами была показана способность СА участвовать в транспорте перекисных продуктов и высказано предположение о проявлении антиоксидантной функции при воздействии длительных физических нагрузок циклического типа и в условиях развития патологических процессов [2,13].

Представляло интерес выяснить, каково влияние физической нагрузки ациклического типа на характер изменений показателей ПОЛ в сывороточном альбумине. Полученные данные свидетельствуют о достоверно более высоком уровне первичных и конечных продуктов ПОЛ в СА у спортсменов в исходном состоянии по сравнению с контрольной группой. При этом под влиянием нагрузки содержание диеновых конъюгатов и кетонов снижалось, в то время как количество ТБК-активных продуктов оставалось без изменений, что коррелирует с результатами,

полученными ранее [4]. Таким образом, повышение активности СА в транспорте продуктов ПОЛ, возможно, играет роль своеобразного регулятора, стабилизирующего их уровень в определенных пределах, предупреждающих воздействие избыточных эндогенных перекисей на клеточные и субклеточные структуры.

Среди систем, участвующих в регуляции многочисленных функций организма, особое значение имеют полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК). В последние годы возрос интерес к изучению биологических свойств ПНЖК семейства  $\omega 3$  и их роли в координации метаболических реакций. В ряде публикаций показано их положительное влияние в качестве фактора, снижающего риск сердечно-сосудистых заболеваний, их гипотензивное, гипохолестеринемическое действие, способность снижать агрегацию тромбоцитов [14,15]. Данные, характеризующие процентное содержание ПНЖК различных семейств, представлены в таблице 2.

Обращает на себя внимание достоверное повышение парциальной доли жирных кислот  $\omega 3$  и выраженное снижение ПНЖК  $\omega 6$  в СА у спортсменов в исходном состоянии по сравнению с контрольной группой. Полученные изменения обусловлены преимущественным вкладом линоленовой (18:3) и докозапентаеновой (22:5) кислот  $\omega 3$  и линолевой (18:2) кислот  $\omega 6$ .

Под влиянием однократной тренировочной нагрузки происходило дальнейшее достоверное увеличение доли ПНЖК  $\omega 3$  на фоне более выраженного снижения содержания кислот  $\omega 6$ , что подтверждает и показатель соотношения ПНЖК  $\omega 6/\omega 3$ . Существенный вклад в эти изменения вносят арахидоновая (20:4)  $\omega 6$  и докозапентаеновая (22:5)  $\omega 3$  кислоты. Аналогичные изменения в содержании ПНЖК  $\omega 3$  в СА были выявлены нами ранее у высококвалифицированных велосипедистов-спринтеров [15]. Вероятно, общая направленность метаболической перестройки в организме спортсменов обусловлена сходством в характере физической нагрузки аэробно-анаэробного типа субмаксимальной мощности, сопровождающейся значительной интенсификацией обмена веществ.

Таблица 2

Показатели основных жирных кислот, связываемых сывороточным альбумином волейболистов ( $M \pm m$ )

Жирные кислоты	Контрольная группа	Волейболисты до нагрузки	Волейболисты после нагрузки
18:2	16,66±1,59	11,41±1,03 *	8,93±0,81*
18:3	0,27±0,02	0,36±0,03 *	0,37±0,03 *
22:5	0,52±0,04	0,82±0,07 *	2,45±0,23 *, **
20:4	3,98±0,37	3,68±0,34	1,72±0,15 *, **
$\Sigma\omega 3$	6,06±0,90	7,81±0,5 *	11,06±0,9 *, **
$\Sigma\omega 6$	21,83±1,7	16,22±1,0 *	11,99±0,9 *, **
$\Sigma\omega 6/\Sigma\omega 3$	3,43	1,93	0,96

Примечание: обозначения те же, что в таблице 1.

Таким образом, полученные нами результаты позволили выявить определенные закономерности в связывании сывороточным альбумином лигандов углеводной и липидной природы в организме спортсменов. Независимо от спортивной специализации наблюдается повышение активности сывороточного альбумина в транспорте углеводов, липидов и продуктов ПОЛ. При длительном воздействии физической нагрузки в организме спортсменов осуществляются неспецифические адаптационные перестройки в метаболических процессах, направленные на обеспечение тканей организма энергетическими и пластическими субстратами.

### **Литература**

1. Толкачева Н.В., Левачев М.М., Медведев Ф.А. и др. Особенности связывания сывороточным альбумином жирных кислот и продуктов их перекисного окисления при интенсивной мышечной работе // *Космическая биология и авиакосмическая медицина.*— С.55–59.1989.
2. Толкачева Н.В. Альбумин-зависимый транспорт низкомолекулярных лигандов при различных состояниях организма // В кн.: *Альбумин сыворотки крови в клинической медицине*, НИИ физико-химической медицины, Москва.— С.132–142. 1990.
3. Толкачева Н.В., Коношенко С.В., Левачев М.М. и др. К вопросу о функциональных свойствах белков крови у высокотренированных спортсменов // *Космическая биология и авиакосмическая медицина.*— С.15–17. 1991.
4. Толкачева Н.В., Левачев М.М., Кулакова С.Н. и др. Особенности комплексования липидных лигандов сывороточным альбумином у спортсменов // *Авиакосмическая и экологическая медицина.*— С.54–56. 1992.
5. Davis B.J. Disc-electrophoresis. II. Method and application to human serum protein // *Ann. N.Y. Acad. Sci.*—1964.—V.121.— №2.—P.— 404—427.
6. Ажицкий Г.Ю., Багдасарьян С.Н. О возможности выделения мономерного иммунохимически чистого альбумина // *Лаб.дело.*— С.712–714. 1975.
7. Биохимические методы исследований в клинике // Под ред. А.А.Покровского. Медицина, М., 1969.—652с.
8. Гаврилов В.Б., Мишкорудная М.И. Спектрофотометрическое определение гидроперекисей в плазме крови // *Лаб.дело.*— С.34–37. 1983.
9. Ohkava H., Ohishi N., Yagi K. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction // *Analit. Biochem.*—1979.—V.95.—№2.—P.351—358.
10. Folch J., Less M., Sloan-Stanley G.N. A simple method for isolation and purification of total lipid from animal tissues // *J. Biol. Chem.*—1957.—V.226.— №2.—P. 497–499.
11. Morris W.R., Smith L.M. Preparation of fatty acid methylesters and dimethyl acetates from lipids with bown flouride methanol // *J. of Lipid Research.*—1964.— V.5.—№4.—P.600—608.
12. Готтшалк А. Методы качественного и количественного анализа углеводных компонентов // В кн.: *Гликопротеины.*—М.: Мир, 1969.—228с.



13. Толкачева Н.В., Левачев М.М., Кулакова С.Н. и др. Характеристика транспортной функции и структуры сывороточного альбумина у онкологических больных // Вопросы онкологии.—1995.—№1.— С.29—32.
14. Neuringer M., Connor W.E., Lin D.S. et al. Biochemical and functional effects of prenatal and postnatal  $\omega$ 3 fatty acid deficiency on retina and brain in rhesus monkeys // Proc. Natl. Acad. Sci.—1986.—V.83.—P.— 4021–4025.
15. Samuelson B. The Leicotrienes: a new group of biologically active compounds including// SPS—A.—Trends in Pharmacol.Sci.—1980.—V.1.—P. 227–230.

СТРОЕНИЕ ОДНОГО КЛАССА БЕСКОНЕЧНЫХ ГРУПП  
КОСЫХ СИММЕТРИЙ

**Игнатенко В. Ф.**, доктор физико-математических наук, профессор,

Плышевская С. П., ассистент

Пусть  $G$  — дикая группа симметрий, действующая в вещественном пространстве  $E^m$ ;  $\mu_j$ -плоскости  $\Pi^{\mu_j}$  ( $j = \overline{0, p}$ ) — линейные оболочки бесконечных  $G(\bar{u})$ -орбит направлений симметрии  $\bar{u}$ . Тогда  $\Pi^{\mu_j} = \Pi^{d_j} \oplus \Pi^{\gamma_j}$ , где  $\bar{u} \notin \Pi^{\gamma_0}$  [1]. Будем считать  $d_j = 1$  и  $\gamma_0 \geq \dots \geq \gamma_p$ . Обозначим через  $F_n$  вещественную алгебраическую  $(m-1)$ -мерную поверхность порядка  $n$ , инвариантную относительно группы  $G$ . Выделим из работы [2] следующий результат.

**Теорема 1.** Пусть  $\dim \sum_k \Pi^{\gamma_k} = \sum_k \gamma_k$  ( $k = 0, 1, 2$ ), причём  $\Pi^{\gamma_3}$  имеет нулевое пересечение с суммой любых двух из  $\gamma_k$ -плоскостей  $\Pi^{\gamma_k}$ . Тогда расположение  $\Pi^{\gamma_j}$  может быть произвольным, а именно: при любом расположении  $\Pi^{\gamma_j}$  существует поверхность  $F_n$  с некоторой группой  $G$ , не допускающей расширения.

В настоящей работе изучаются группы  $G$ , соответствующие условиям этой теоремы.

$\mathbf{1}^0$ . Введем следующие обозначения:  $\gamma_0 = \lambda$ ,  $\gamma_1 = \mu$ ,  $\gamma_2 = \nu$ ,  $\gamma_3 = \sigma$ ;  $\Pi^{\gamma} = \sum_k \Pi^{\gamma_k}$ ,  $\Pi^{\nu} = \Pi^{\sigma} \cap \Pi^{\gamma}$ ; положим  $\sigma = \nu$ ,  $r_1 = \lambda + \mu$ . Зададим в пространстве

$E^m$  декартову систему координат  $O y_1 \dots y_4 z_1 \dots z_r x_1 \dots x_q$  ( $m = r + q + 4$ ) согласно требованиям перестроенного метода, см. [2], [3]. Рассмотрим группу  $G$ , действующую на поверхности  $F_n$  с уравнением

$$R(y_1^2 + \sum_{i=1}^{\lambda} \xi_i z_i) + S(y_2^2 + \sum_{j=1}^{\mu} \zeta_j z_{\lambda+j}) + T(y_3^2 + \sum_{k=1}^{\nu} \chi_k z_{r_1+k}) + P y_4^2 = c, \quad (1)$$

где многочлены  $R, S, T, P$  и линейные функции  $\xi_i, \zeta_j, \chi_k$  зависят только от  $x_{\omega}$  ( $\omega = \overline{1, q}$ ). При этом  $\Pi^{\mu_0} = \Pi^1(y_1) \oplus \Pi^{\lambda}(z_i)$ ,  $\Pi^{\mu_1} = \Pi^1(y_2) \oplus \Pi^{\mu}(z_{\lambda+j})$ ,  $\Pi^{\mu_2} = \Pi^1(y_3) \oplus \Pi^{\nu}(z_{r_1+k})$ ,  $\Pi^{\mu_3} = \Pi^1(y_4)$ .

Метод исследования групп  $G$  предполагает задание  $\nu$ -плоскости  $\Pi^{\nu}$  в  $\Pi^{\gamma}$  уравнениями вида

$$\begin{aligned} z_{\nu+\varepsilon} &= 0, & \varepsilon &= \overline{1, \lambda - \nu}, \\ z_{\lambda+j} &= \sum_{p=1}^{\nu} b_{jp} z_p, & j &= \overline{1, \mu}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$z_{r_1+k} = \sum_{p=1}^{\nu} c_{kp} z_p, \quad k = \overline{1, \nu}.$$

Поместив новые оси  $Oz'_p$  ( $p = \overline{1, \nu}$ ) в  $\Pi^{\nu}$ , на основании (2) получим такое преобразование координат:

$$\begin{aligned} z_i &= z'_i, \quad i = \overline{1, \lambda}, \\ z_{\lambda+j} &= z'_{\lambda+j} + \sum_{p=1}^{\nu} b_{jp} z'_p, \quad j = \overline{1, \mu}, \\ z_{r_1+k} &= z'_{r_1+k} + \sum_{p=1}^{\nu} c_{kp} z'_p, \quad k = \overline{1, \nu}. \end{aligned} \quad (3)$$

Поддействовав преобразованием (3) на уравнение (1) поверхности  $F_n$ , получим

$$\begin{aligned} R(y_1^2 + \sum_{\varepsilon=1}^{\lambda-\nu} \xi_{\nu+\varepsilon} z'_{\nu+\varepsilon}) + S(y_2^2 + \sum_{j=1}^{\mu} \varsigma_j z'_{\lambda+j}) + \\ T(y_3^2 + \sum_{k=1}^{\nu} \chi_k z'_{r_1+k}) + P(y_4^2 + \sum_{p=1}^{\nu} \kappa_p z'_p) = c, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\kappa_p$  есть линейные функции от  $x_{\omega}$ , удовлетворяющие соотношениям:

$$R \xi_p + S \sum_{j=1}^{\mu} b_{jp} \varsigma_j + T \sum_{k=1}^{\nu} c_{kp} \chi_k = P \kappa_p, \quad p = \overline{1, \nu}. \quad (5)$$

Пусть в (4) функции

$$\kappa_p = \lambda_1^{-1} \xi_p = \lambda_2^{-1} \sum_{j=1}^{\mu} b_{jp} \varsigma_j = \lambda_3^{-1} \sum_{k=1}^{\nu} c_{kp} \chi_k, \quad p = \overline{1, \nu}, \quad (6)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  – вещественные параметры. Тогда из (5) находим [2]

$$P = \lambda_1 R + \lambda_2 S + \lambda_3 T. \quad (7)$$

Функции  $\kappa_p$ , удовлетворяющие формулам вида (6), будем называть функциями основного типа (ФОТ).

$2^{\circ}$ . Пусть  $\nu = 3$  и  $\kappa_p \notin$  ФОТ. Соотношения (5) перепишем так:

$$R \xi_p + S A_p + T B_p = P \kappa_p, \quad p = 1, 2, 3; \quad (8)$$

обозначения  $A_p$  и  $B_p$  ясны из сравнения (5) и (8). Рассмотрим (8) как систему трёх

линейных уравнений относительно переменных  $\frac{R}{P}, \frac{S}{P}, \frac{T}{P}$ . Основной определитель  $\Delta = \xi_1(A_2 B_3 - A_3 B_2) + \xi_2(A_3 B_1 - A_1 B_3) + \xi_3(A_1 B_2 - A_2 B_1)$ . Пусть

$$\Delta_1 = \kappa_1(A_2 B_3 - A_3 B_2) + \kappa_2(A_3 B_1 - A_1 B_3) + \kappa_3(A_1 B_2 - A_2 B_1),$$

$$\Delta_2 = \xi_1(\kappa_2 B_3 - \kappa_3 B_2) + \xi_2(\kappa_3 B_1 - \kappa_1 B_3) + \xi_3(\kappa_1 B_2 - \kappa_2 B_1),$$

$$\Delta_3 = \xi_1(A_2 \kappa_3 - A_3 \kappa_2) + \xi_2(A_3 \kappa_1 - A_1 \kappa_3) + \xi_3(A_1 \kappa_2 - A_2 \kappa_1).$$

Функции  $\xi_p, A_p, B_p, \kappa_p$  ( $p = 1, 2, 3$ ) считаем такими, что  $\Delta \cdot \Delta_p \neq 0$ . В общем случае определители  $\Delta_p$  ( $1 \leq p \leq 3$ ) и  $\Delta$  общего множителя не имеют. Значит, справедлива

**Лемма 1.** Если  $\nu = 3$  и  $\kappa_p \notin \text{ФОТ}$  ( $p = 1, 2, 3$ ), то в общем случае многочлены  $R, S, T, P$  являются кубическими формами  $\Delta_p, \Delta$  соответственно.

**3<sup>0</sup>.** Пусть  $\nu \geq 3$  и только две из функций  $\kappa_p$  ( $p = \overline{1, \nu}$ ) – для определённости,  $\kappa_s$  ( $s = 1, 2$ ) – не принадлежат ФОТ. Будем считать в (8)  $p = \overline{1, \nu}$ . По предположению для функций  $\kappa_t$  ( $t = \overline{3, \nu}$ ) выполняются формулы (6). Следовательно, соотношения (8) при  $p = s = 1, 2$  и (7) дают систему уравнений относительно  $\frac{R}{P}, \frac{S}{P}, \frac{T}{P}$ .

Пусть

$$\begin{aligned} \delta &= \lambda_1(A_1 B_2 - A_2 B_1) + \lambda_2(\xi_2 B_1 - \xi_1 B_2) + \lambda_3(\xi_1 A_2 - \xi_2 A_1), \\ \delta_1 &= \kappa_1(\lambda_3 A_2 - \lambda_2 A_3) + \kappa_2(\lambda_2 B_1 - \lambda_3 A_1) + A_1 B_2 - A_2 B_1, \\ \delta_2 &= \xi_1(\lambda_3 \kappa_2 - B_2) + \xi_2(B_1 - \lambda_3 \kappa_1) + \lambda_1(\kappa_1 B_2 - \kappa_2 B_1), \\ \delta_3 &= \xi_1(A_2 - \lambda_2 \kappa_2) + \xi_2(\lambda_2 \kappa_1 - A_1) + \lambda_1(A_1 \kappa_2 - A_2 \kappa_1). \end{aligned}$$

Строение многочленов  $\delta$  и  $\delta_p$  ( $p = 1, 2, 3$ ) существенно зависит от выбора параметров  $\lambda_p$  в формулах (6). Имеет место аналогичная лемме 1

**Лемма 2.** Если  $\nu \geq 3$  и только  $\kappa_s \notin \text{ФОТ}$  ( $s = 1, 2$ ), то в общем случае многочлены  $R, S, T, P$  являются квадратичными формами  $\delta_p, \delta$  соответственно.

**4<sup>0</sup>.** Пусть только  $\kappa_1$  не удовлетворяет формулам (6),  $\kappa_1 \notin \text{ФОТ}$  ( $\nu > 1$ ). Тогда для нахождения  $\frac{R}{P}, \frac{S}{P}, \frac{T}{P}$  имеем систему двух уравнений (7) и (8),  $p = 1$ ; пространство свободных переменных одномерно. Согласно (7),

$$R(\xi_1 - \lambda_1 \kappa_1) + S(A_1 - \lambda_2 \kappa_1) + T(B_1 - \lambda_3 \kappa_1) = 0. \quad (9)$$

**Лемма 3.** Если  $\nu > 1$  и только  $\kappa_1 \notin \text{ФОТ}$ , то строение  $\kappa_1$  и  $R, S, T$  определяет формула (9).

Отметим, что лемма 3 по существу содержится в [2].

**5<sup>0</sup>.** Рассмотрим теперь случай, когда функции  $\kappa_p \notin \text{ФОТ}$  ( $p = 1, 2, 3$ ) – и только они ( $\nu > 3$ ). Строение многочленов  $R, S, T, P$  выделяет пункт 2<sup>0</sup>. Поскольку  $\nu > 3$ , многочлен  $P$  находится по формуле (7). Следовательно, имеем аналог (9), т.е.

$$R(\xi_p - \lambda_1 \kappa_p) + S(A_p - \lambda_2 \kappa_p) + T(B_p - \lambda_3 \kappa_p) = 0, \quad p = 1, 2, 3. \quad (10)$$

Если система (10) относительно переменных  $R, S, T$  имеет ненулевое решение, то её основной определитель равен нулю. При этом (10) допускает бесконечное множество решений.

Согласно п. 2<sup>0</sup>, многочлены  $R, S, T, P$  равны  $\Delta_p = H\Delta'_p, \Delta = H\Delta'$ , где  $\deg H \geq 0$ . В общем случае  $H = 1$ . При этом  $R, S, T, P$  находятся однозначно. Так как  $\kappa_4 \in \text{ФОТ}$ , то формула (7) принимает вид

$$\Delta = \sum_p \lambda_p \Delta_p, \quad p = 1, 2, 3. \quad (11)$$

Следовательно, параметры  $\lambda_p$  в (6) произвольными быть не могут – они должны удовлетворять соотношению (11). Поэтому справедлива

**Лемма 4.** Если три функции из  $\{\kappa_p \mid p = \overline{1, \nu}\}$  не удовлетворяют формулам (6), то при  $H = 1$  и произвольных параметрах  $\lambda_p$  случай  $\nu > 3$  невозможен.

В известном смысле соотношение (11) будет характеристическим для таких групп  $G$ , что  $H = 1, \kappa_p \notin \text{ФОТ} (p = 1, 2, 3)$  и  $\nu > 3$ .

На основании лемм 1-4 имеет место

**Теорема 2.** В уравнении (4) поверхности  $F_n$  при  $H = 1$  функции  $\kappa_p (p = \overline{1, \nu})$  могут иметь одно из следующих строений: 1)  $\nu = 1$ ; функция  $\kappa_1$  произвольна; 2)  $\nu \geq 3$  и  $\kappa_p (p = 1, 2, 3)$  не удовлетворяют (6); при  $\nu > 3$  выбор  $\lambda_p$  ограничен соотношением (11); 3)  $\nu \geq 3$  и только две из функций  $\kappa_p (p = \overline{1, \nu})$  не удовлетворяют (6); 4)  $\nu \geq 2$ ; либо все  $\kappa_p$ , либо  $\nu - 1$  из них находятся по формулам (6).

Работа поддержана Миннауки Украины, грант 1.4/121.

#### Литература

1. Игнатенко В. Ф. О геометрической теории инвариантов групп, порожденных отображениями // Итоги науки и техн. Пробл. геометрии – М.: ВИНТИ АН СССР. – 1989. – Т.21. – С.155-208.
2. Ignatenko V. F. Algebraic Surfaces with an Infinite Set of Skew Symmetry Planes. Mutual Arrangement of Linear Spans of Four Orbits of Symmetry Directions // Amer. Math. Soc. Transl. (2). – 1996. – V.176. – P.27-51.
3. Игнатенко В. Ф. О современном состоянии теории инвариантов бесконечных групп косых симметрий // Труды матем. ф-та. Изд-во СГУ, Симферополь. – 1997. – С.54-56.

**НЕОГРАНИЧЕННЫЕ ДИССИПАТИВНЫЕ ОПЕРАТОРЫ  
С АБСОЛЮТНО НЕПРЕРЫВНЫМ СПЕКТРОМ**

Москалева Ю. П., ассистент

χ]

В настоящей статье решается вопрос о приведении к простейшему виду неограниченных диссипативных операторов одного класса квазиэрмитовых операторов. Замкнутый оператор  $A$  со всюду плотной, в сепарабельном гильбертовом пространстве, областью определения  $D(A)$  называется квазиэрмитовым оператором ранга  $r$  или  $K^r$ -оператором, если сужение оператора  $A$  на область эрмитовости - эрмитов оператор с индексом дефекта  $(r, r)$  и  $\rho(A) \neq \emptyset$ . Минимальной характеристической матрицей-функцией диссипативного  $K^r$ -оператора называется матрица-функция  $\chi_A(\lambda)$  удовлетворяющая равенству

$$\chi_A^*(-i)\chi_A(\lambda) = I + i(i - \lambda) \left\| ((A + iI)R_\lambda(A)g_k, g_m) \right\|,$$

где  $\left\{ \begin{matrix} g_k \\ g_m \end{matrix} \right\}_{k=1}^r$  - базис дефектного подпространства  $N_{-i}$  эрмитовой части оператора  $A$ .

Рассмотрим класс диссипативных  $K^r$ -операторов без незначительного спектра и существенной особенности в бесконечности. Простая часть операторов этого класса унитарно эквивалентна простой части модельного оператора  $\bar{A}$

$$(\bar{A}f)(x) = xf(x) + i \int_x^b f(t)\sigma(t)\sigma^*(x)dt, f \in L_2^r(a, b)$$

а  $\sigma(t)$ -суммируемая матрица-функция.

При этом в терминах модели минимальная характеристическая матрица-функция оператора может быть вычислена как

$$\chi_{\bar{A}}(\lambda) = \int_a^b \exp \left[ -i \frac{\sigma^*(t)\sigma(t)}{t - \lambda} dt \right]$$

Рассмотрим оператор  $A = \bar{A}^*$

$$(Af)(x) = xf(x) - i \int_a^x f(x)\sigma(t)\sigma^*(x)dt$$

и  $\chi(x, \lambda) = \int_a^x \exp \left[ i \frac{\sigma^*(t)\sigma(t)}{t - \lambda} dt \right]$ , т.е.  $\chi_{\bar{A}}^{-1}(\lambda) = \chi(b, \lambda)$

Если обозначить через

$$L_{\pm i} = \left\langle \frac{e^k}{(x \pm i)^n}, n \in \mathbb{N}, 1 \leq k \leq r \right\rangle,$$

то определенный в терминах предельных значений

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

на прямой сумме линейных многообразий  $L_{\pm i}$  оператор

$$B\varphi = B_1\varphi_1 + B_2\varphi_2,$$

$$(B_1\varphi_1)(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{d}{dx} \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_1(\mu) (\chi^-(x, \mu) - \chi^+(x, \mu)) \frac{d\mu}{\mu - i} \sigma^{-1}(x),$$

$$(B_2\varphi_2)(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{d}{dx} \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_2(\mu) (\chi^-(x, \mu) - \chi^+(x, \mu)) \frac{d\mu}{\mu + i} \sigma^{-1}(x),$$

$\varphi_1 \in L_i$  и  $\varphi_2 \in L_{-i}$  устанавливает подобие оператора  $A$  и оператора умноже-

ния на независимую переменную в  $L_2^r(-\infty, +\infty)$ , из которого следует

$\bar{A} = B^{-*} Q^* B^*$ , где  $Q^* f = xf(x)$ . Последнее равенство позволяет сделать вывод о подобии произвольного неограниченного диссипативного оператора класса  $K^r$  без не вещественного спектра и существенной особенности в бесконечности оператору умножения на независимую переменную в  $L_2^r(-\infty, +\infty)$ .

#### Литература

1. A.Kuzhel Characteristic Function and Models of Nonsself-Adjoint Operators.// Kluwer, Dordrecht.- 1996 г.-273С.
2. А.В. Кужель О приведении неограниченных несамосопряженных операторов к треугольному виду.// Докл. АН СССР.-С.868-871.
3. А.Л. Сахнович Диссипативные операторы с абсолютно непрерывным спектром.// Труды Московск. мат. Общества.-Т.19.-1968 г.-С.211-270.
4. Ю.П. Москалева К вопросу о подобии несамосопряженных диссипативных операторов.// Труды Крымской осенней математической школы. Выпуск 4.-1995 г.-С.42-43.

**О ПОВЕДЕНИИ ТРАЕКТОРИЙ НА ПЛОСКОСТИ  
ОДНОГО КЛАССА НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ**

*Персидский С. К., Дремов С. Ю.*

Рассмотрим систему дифференциальных уравнений

$$\frac{ds}{dt} = p_{s1}\varphi_1(x_1) + \dots + p_{sn}\varphi_n(x_n) \quad (s = \overline{1, n}) \quad (1.1)$$

где  $p_{sk}$  – вещественные постоянные, а функции  $\varphi_s(x_s)$  – непрерывны и  $x_s\varphi_s(x_s) > 0$  при  $x_s \neq 0$  ( $s = \overline{1, n}$ ).

Пусть  $P$  – матрица коэффициентов системы и  $K(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$  – некоторый конус пространства  $R^n$ , определенный параметрами  $\alpha_1, \dots, \alpha_n$  [1]. Заметим, что если точка  $x(x_1, \dots, x_n) \in \text{Int } K(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$  то  $\alpha_s = \text{sign } x_s$  ( $s = \overline{1, n}$ ).

Назовем матрицу  $P$  квазипозитивной, если ее элементы связаны с параметрами некоторого конуса неравенствами

$$P_{sk}\alpha_s\alpha_k \geq 0 \quad \text{при } s \neq k \quad (s = \overline{1, n}).$$

Уравнение

$$\det(P - \lambda E) = 0 \quad (1.2)$$

будем в дальнейшем называть «характеристическим» уравнением системы (1.1).

Имеет место следующая теорема.

**Теорема 1.** Пусть  $P$  – квазипозитивная матрица, тогда для абсолютной устойчивости системы (1.1) необходимо и достаточно, чтобы все корни характеристического уравнения (1.1) имели отрицательные вещественные части.

Выполнение необходимых условий теоремы очевидно, докажем достаточность.

Пусть  $a_1, \dots, a_n$  – произвольно взятые положительные числа и  $\alpha_1, \dots, \alpha_n$  – параметры соответствующего конуса. Рассмотрим систему уравнений

$$\sum_{k=1}^n P_{ks} b_s \alpha_s = -\alpha_s a_s \quad (s = \overline{1, n}) \quad (1.3)$$

Очевидно, что ее можно представить в виде

$$\sum_{k=1, k \neq s}^n |P_{ks}| b_k + P_{ss} b_s = -a_s \quad (s = \overline{1, n}) \quad (1.4)$$

В рассматриваемом случае все корни характеристического уравнения (1.2) имеют отрицательные вещественные части, поэтому система (1.3), а, следовательно, и система (1.4) разрешима, при этом найденные из системы (1.3) числа  $b_s$  будут положительными [1].



Положим  $V(x_1, \dots, x_n) = \sum_{k=1, k \neq s}^n b_s x_s \operatorname{sign} x_s = \sum_{s=1}^n b_s |x_s|$ , тогда в  $R^n$  из

(1.4) следует, что

$$V'(x) \leq \sum_{s=1}^n \left( \sum_{k=1, k \neq s}^n |P_{sk}| b_k + P_{ss} b_s \right) x_s \operatorname{sign} x_s = - \sum_{s=1}^n a_s |x_s|,$$

что и доказывает теорему.

Замечание. Пусть матрица  $P$  не является квазипозитивной и имеет отрицательные диагональные элементы. Если при этом она является матрицей с диагональным преобладанием по столбцам, т.е. при некоторых положительных  $b_1, \dots, b_n$  имеют место неравенства

$$\sum_{k=1, k \neq s}^n |P_{sk}| b_k + P_{ss} b_s < 0 \quad (s = \overline{1, n}) \quad (1.5)$$

то система (1.1) и в этом случае будет устойчива абсолютно. Действительно, опять положим  $V(x_1, \dots, x_n) = \sum_{s=1}^n b_s x_s \operatorname{sign} x_s$ . Тогда из (1.5) следует, что  $V'(x)$  будет функцией отрицательно знакоопределенной.

Рассмотрим далее систему дифференциальных уравнений

$$x'_s = \sum_{k=1}^n P_{sk} \varphi_k(x_k) + F_s(\varphi_1(x_1), \dots, \varphi_n(x_n)) \quad (s = \overline{1, n}), \quad (1.6)$$

где  $\varphi_s(x_s)$  удовлетворяет сделанным предположениям, а функции  $F_s(u_1, \dots, u_n)$  в окрестности начала координат разлагаются в ряды по степеням  $u_1, \dots, u_n$ , начинающиеся членами не ниже второго порядка.

Вместе с системой (1.6) будем рассматривать соответствующую систему уравнений

$$x'_s = \sum_{k=1}^n P_{sk} \varphi_k(x_k) \quad (s = \overline{1, n}) \quad (1.7)$$

Теорема 2. Пусть относительно некоторого конуса  $K(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$  матрица  $P$  системы (1.7) является квазипозитивной и все корни ее характеристического уравнения имеют отрицательные вещественные части, тогда нулевое решение системы (1.6) асимптотически устойчиво в некоторой окрестности начала координат.

Действительно, положим в уравнениях (1.3)  $a_1 = \dots = a_n = 1$  и определим из этой системы  $b_1 > 0, \dots, b_n > 0$ . Возьмем  $V(x) = \sum_{s=1}^n b_s |x_s|$ , тогда в силу системы (1.6)

$$V_{(6)} \leq - \sum_{s=1}^n |\varphi_s(x_s)| + \sum_{s=1}^n b_s |F_s(\varphi_1(x_1), \dots, \varphi_n(x_n))| < 0$$

в достаточно малой окрестности начала координат, и мы получаем модификацию известной теоремы Ляпунова об устойчивости по первому приближению.

Из приведенных выше результатов следует, что имеется определенная близость свойств решений нелинейной системы (1.1) по отношению к соответствующей линейной системе, получаемой из (1.1) при  $\varphi_s(x_s) = x_s$  ( $s = \overline{1, n}$ ). Поэтому естественно было рассмотреть поведение системы (1.1) на плоскости, т.е. при  $n=2$  и сравнить их с поведением траекторий соответствующей линейной системы. Указанная задача решалась с помощью ПЭВМ.

Почти полное совпадение фазовых портретов линейной и соответствующей нелинейной системы

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= p_{11}\varphi_1(x_1) + p_{12}\varphi_2(x_2); \\ \frac{dx_2}{dt} &= p_{21}\varphi_1(x_1) + p_{22}\varphi_2(x_2) \end{aligned} \quad (1.8)$$

наблюдается в случае, когда  $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$ , где  $\varphi(z)$  – нечетная, монотонно возрастающая функция своего аргумента, например,  $\varphi(z) = z^{2k+1}$ ,  $\varphi(z) = z(1+z^{2k})$  и т.д. При этом функция  $\varphi(z)$  может иметь или вообще не иметь линейных членов.

Причем характер поведения траекторий системы (1.8), как и в линейном случае, полностью определяется корнями соответствующего характеристического уравнения и при этом сохраняется классификация фазовых портретов, имеющая место для линейных систем (в случае чисто мнимых корней характеристического уравнения полагаем, что  $p_{11} = p_{22} = 0$ ).

Впервые эта задача рассматривалась в работе [1].

На рис. 1 – 9 приведены некоторые фазовые портреты нелинейной системы (1.8) и соответствующей линейной системы для случаев монотонно возрастающих функций.

$$\begin{cases} \dot{x} = -2x^3 + y^3 \\ \dot{y} = x^3 - 2y^3 \end{cases}$$

$$\lambda_1 = -1$$

$$\lambda_2 = -3$$

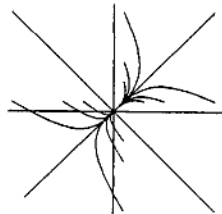


Рис. 1

$$\begin{cases} \dot{x} = -2x + y \\ \dot{y} = x - 2y \end{cases}$$

$$\lambda_1 = -1$$

$$\lambda_2 = -3$$

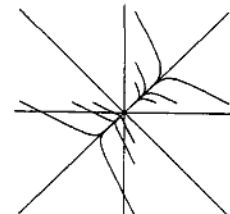


Рис. 2

$$\begin{cases} \dot{x} = -2x + y \\ \dot{y} = -x \end{cases}$$

$$\lambda_1 = -1$$

$$\lambda_2 = -1$$

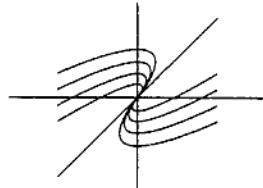


Рис. 3

$$\begin{cases} \dot{x} = -2x^3 + y^3 \\ \dot{y} = -x^3 \end{cases}$$

$$\lambda_1 = -1$$

$$\lambda_2 = -1$$

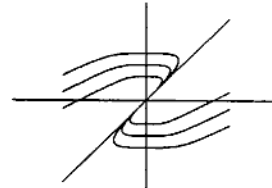


Рис. 4

$$\begin{cases} \dot{x} = x - 4y \\ \dot{y} = 2x + y \end{cases}$$

$$\lambda_1 = 1 + 3i$$

$$\lambda_2 = 1 - 3i$$

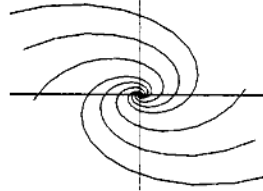


Рис. 5

$$\begin{cases} \dot{x} = x^3 - 4y^3 \\ \dot{y} = 2x^3 + y^3 \end{cases}$$

$$\lambda_1 = 1 + 3i$$

$$\lambda_2 = 1 - 3i$$

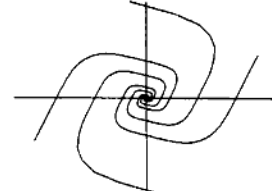


Рис. 6

$$\begin{cases} \dot{x} = 1/4x \\ \dot{y} = -1/9y \end{cases}$$

$$\lambda_1 = 1/6i$$

$$\lambda_2 = -1/6i$$

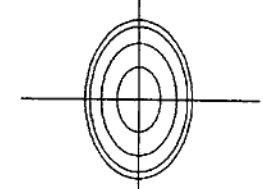


Рис. 7

$$\begin{cases} \dot{x} = 1/4x^3 \\ \dot{y} = -1/9y^3 \end{cases}$$

$$\lambda_1 = 1/6i$$

$$\lambda_2 = -1/6i$$

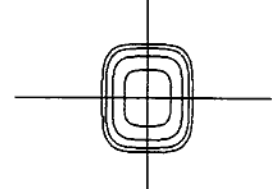


Рис. 8

$$\begin{cases} \dot{x} = (1 + x^2)x \\ \dot{y} = 2(1 + x^2)x - (1 + y^2)y \end{cases}$$

$$\lambda_1 = 1$$

$$\lambda_2 = -1$$

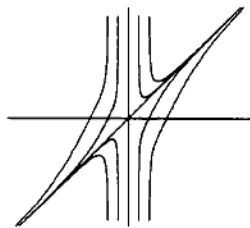


Рис. 9

Затем перейдем к рассмотрению конечно-разностного аналога системы (1.1) вида

$$x_s(m+1) = a_{s1}\varphi_1(x_1(m)) + \dots + a_{sn}\varphi_n(x_n(m)) \quad (s = \overline{1, n}) \quad (2.1)$$

где  $a_{sk}$  – вещественные постоянные, а функции  $\varphi_s(x_s)$  удовлетворяют условию  $\varphi_s(x_s)x_s > x_s$  при  $x_s \neq 0$  и непрерывны по своим аргументам  $x_s$  ( $s = \overline{1, n}$ ).

Теорема 3. Пусть функции  $\varphi_s$  таковы, что  $|\varphi_s(x_s)| \leq |x_s|$ . Допустим, что параметры  $\alpha_s$  некоторого конуса  $K(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$  [1] и коэффициенты системы (2.1) связаны неравенством

$$a_{sk}\alpha_s\alpha_k \geq 0 \quad \text{при } s, k = \overline{1, n} \quad (2.2)$$

Тогда для абсолютной устойчивости решений системы (2.1) необходимо и достаточно [3] существования всех корней «характеристического» уравнения

$$\det(A - \mu E) = 0 \quad (2.3)$$

$\mu_j$  с модулями, меньшими 1.

Необходимость условий теоремы очевидна, так как система (2.1) должна быть асимптотически устойчива и при  $\varphi_s(x_s) = x_s$  ( $s = \overline{1, n}$ ), откуда следует, что все  $|\mu_j| < 1$  ( $j = \overline{1, n}$ ).

Для доказательства достаточности допустим, что все  $|\mu_j| < 1$ . Определим числа  $b_1, \dots, b_n$  из системы уравнений

$$\sum_{k=1, k \neq s}^n |a_{ks}| b_k + (a_{ss} - 1) b_s = -a_s \quad (s = \overline{1, n}) \quad (2.4)$$

где  $a_s > 0$ . Из [3] следует, что все числа  $b_s > 0$ .

Положим  $(x) = \sum_{s=1}^n b_s x_s \operatorname{sign} x_s$ . Из (2.4) следует, что

$$\Delta V_{m(2.1)} = \sum_{s=1}^n \left( \sum_{k=1}^n |a_{ks}| b_k + (a_{ss} - 1) b_s \right) |x_s(m)| = - \sum_{s=1}^n a_s |\varphi_s(x_s(m))| \quad (2.5)$$

что и доказывает теорему.

Таким образом, решения системы (2.1) обладают относительно понятия асимптотической устойчивости свойствами, аналогичными свойствам соответствующей линейной системы

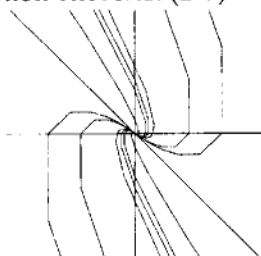
$$x_s(m+1) = a_{s1} x_1(m) + \dots + a_{sn} x_n(m) \quad (s = \overline{1, n}) \quad (2.6)$$

При  $n=2$  поведение траекторий системы (2.6) хорошо изучены [4].

Ниже приведены некоторые фазовые портреты нелинейной системы (2.1) при  $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$ , где  $\varphi(z)z > 0$  при  $z \neq 0$  и  $|\varphi(z)| \leq |z|$  (в частности, можно положить

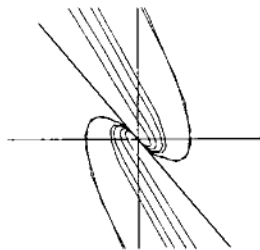
$$\varphi(z) = \frac{z|z|}{1+|z|}, \varphi(z) = \frac{z(z^2+1)}{1+(z^2+1)} \text{ и т.д.) и соответствующей линейной конечно-}$$

разностной системы (2.6).



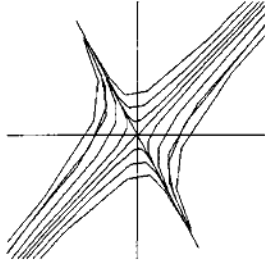
$$\begin{cases} x(m+1) = x(m) - y(m) \\ y(m+1) = x(m) + 3y(m) \end{cases}$$

$$\lambda_{1,2} = 2$$



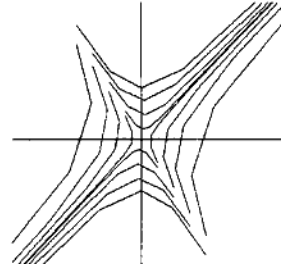
$$\begin{cases} x(m+1) = \frac{x(m)(1+|x(m)|)}{2+|x(m)|} - \frac{y(m)(1+|y(m)|)}{2+|y(m)|} \\ y(m+1) = \frac{x(m)(1+|x(m)|)}{2+|x(m)|} + 3 \frac{y(m)(1+|y(m)|)}{2+|y(m)|} \end{cases}$$

$$\lambda_{1,2} = 2$$



$$\begin{cases} x(m+1) = 2.5x(m) + y(m) \\ y(m+1) = 2x(m) + 1.7y(m) \end{cases}$$

$$\lambda_{1,2} = 2.1 \pm \sqrt{2.16}$$



$$\begin{cases} x(m+1) = 2.5 \frac{x(m)(1+|x(m)|)}{2+|x(m)|} + \frac{y(m)(1+|y(m)|)}{2+|y(m)|} \\ y(m+1) = 2 \frac{x(m)(1+|x(m)|)}{2+|x(m)|} + 1.7 \frac{y(m)(1+|y(m)|)}{2+|y(m)|} \end{cases}$$

$$\lambda_{1,2} = 2.1 \pm \sqrt{2.16}$$

#### Литература

1. Персидский С.К. К исследованию устойчивости решений систем дифференциальных уравнений. ПММ, том 34, 1970 год, с. 219 – 226.
2. Персидский С.К., Дремов С.Ю. Поведение на плоскости траекторий одной нелинейной системы. Тезисы докладов международной конференции «Modeling and investigation of system stability», Киев, 1997 год, с. 81 – 82.
3. Персидский С.К. Исследование устойчивости решений одной нелинейной системы в конечных разностях. Дифференциальные уравнения и их приложения. Издание Казахского госуниверситета, Алма-Ата, 1979 год.
4. Пьер Видаль. Нелинейные импульсные системы. «Энергия», Москва, 1974 год, с. 270.

**ПРОСТРАНСТВО ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ ЭРМИТОВЫХ  
ОПЕРАТОРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ДЕФЕКТНЫМИ ЧИСЛАМИ**

*Поречнов А. Ю., Карпенко И. И., кандидат физ.-мат. наук, доцент*

В последнее время в теории расширений эрмитовых операторов используется подход, основанный на понятии пространств граничных значений (ПГЗ). Для эрмитовых операторов с равными дефектными числами описание ПГЗ получено в работах [1], [2].

В настоящей работе это понятие естественно обобщается на случай эрмитовых операторов с различными дефектными числами. Следует отметить, что предлагаемый подход существенно отличается от предложенных ранее в работах [3], [4].

Общие свойства пространства граничных значений.

Пусть  $A$  – замкнутый эрмитов оператор в гильбертовом пространстве  $H$  с областью определения  $D(A)$ , которая не предполагается плотной в  $H$ . Не ограничивая общности, можем считать, что  $D(A) \vee \Delta(A) = H$ , где  $\Delta(A)$  – множество значений оператора  $A$ .

Обозначим  $N_\lambda$  – дефектное подпространство, соответствующее числу  $\lambda$  ( $H = N_\lambda \oplus \Delta(A - \lambda I)$ ),  $n_+ = \dim N_i$ ,  $n_- = \dim N_{-i}$  – дефектные числа и  $\varepsilon = \text{sign}(n_+ - n_-)$

Определение 1 Пятерка  $(X, X', \Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma)$ , где  $X, X'$  – некоторые гильбертовы пространства,  $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma$  – операторы  $\Gamma_1, \Gamma_2 \in [N_\lambda \dot{+} N_{\bar{\lambda}}, X]$ ,  $\Gamma \in [N_\lambda \dot{+} N_{\bar{\lambda}}, X']$  ( $\text{Im} \lambda \neq 0$ ), называется пространством граничных значений (п.г.з.) эрмитового оператора  $A$ , если :

1) для любых  $x = x_\lambda + x_{\bar{\lambda}}, y = y_\lambda + y_{\bar{\lambda}}$  из  $N_\lambda \dot{+} N_{\bar{\lambda}}$

$$(\Gamma_1 x, \Gamma_2 y)_X - (\Gamma_2 x, \Gamma_1 y)_X - 2\varepsilon i (\Gamma x, \Gamma y)_{X'} = (\lambda - \bar{\lambda}) [(x_{\bar{\lambda}}, y_{\bar{\lambda}}) - (x_\lambda, y_\lambda)],$$

(1)

2) для любых  $\varphi, \psi \in X, \alpha \in X'$  в  $N_\lambda \dot{+} N_{\bar{\lambda}}$  найдется такой элемент  $x$ , что

$$\Gamma_1 x = \varphi, \Gamma_2 x = \psi, \Gamma x = \alpha.$$

(2)

Удобно переписать определение в другом виде. Для этого обозначим  $\tilde{X} = X \oplus X'$ . Пусть операторы  $A_1, A_2$  действуют из  $N_\lambda \dot{+} N_{\bar{\lambda}}$  в  $X, X'$  соответственно. Тогда операторы вида  $\tilde{A} = \langle A_1, A_2 \rangle$  действуют из  $N_\lambda \dot{+} N_{\bar{\lambda}}$  в  $\tilde{X}$  так:  $\tilde{A}x = \langle A_1 x, A_2 x \rangle$ .

Определение 2 Тройка  $(\tilde{X}, \tilde{\Gamma}_1, \tilde{\Gamma}_2)$ , где  $\tilde{X} = X \oplus X'$  – некоторое гильбертово пространство, операторы  $\tilde{\Gamma}_1 = \langle \Gamma_1, \Gamma \rangle$ ,  $\tilde{\Gamma}_2 = \langle \Gamma_2, \varepsilon i \Gamma \rangle$ ,  $\tilde{\Gamma}_1, \tilde{\Gamma}_2 \in [N_\lambda + N_{\bar{\lambda}}, \tilde{X}]$  ( $\text{Im} \lambda \neq 0$ ), называется пространством граничных значений (п.г.з.) эрмитового оператора  $A$ , если :

1) для любых  $x = x_\lambda + x_{\bar{\lambda}}, y = y_\lambda + y_{\bar{\lambda}}$  из  $N_\lambda + N_{\bar{\lambda}}$

$$(\tilde{\Gamma}_1 x, \tilde{\Gamma}_2 y)_{\tilde{X}} - (\tilde{\Gamma}_2 x, \tilde{\Gamma}_1 y)_{\tilde{X}} = (\lambda - \bar{\lambda})(x_\lambda, y_\lambda) - (x_{\bar{\lambda}}, y_{\bar{\lambda}}), \quad (3)$$

2) для любых  $\langle \varphi, \alpha \rangle, \langle \psi, \varepsilon i \alpha \rangle \in \tilde{X}$  в  $N_\lambda + N_{\bar{\lambda}}$  найдется такой элемент  $x$ , что

$$\tilde{\Gamma}_1 x = \langle \varphi, \alpha \rangle, \tilde{\Gamma}_2 x = \langle \psi, \varepsilon i \alpha \rangle. \quad (4)$$

Легко убедиться, что определения 1 и 2 эквивалентны.

Предложение 1. 1)  $\ker \tilde{\Gamma}_1 \cap \ker \tilde{\Gamma}_2 = \{0\}$ ,

$$2) N_\lambda + N_{\bar{\lambda}} = \ker \tilde{\Gamma}_1 + \ker \tilde{\Gamma}_2 = \ker \Gamma_1 + \ker \tilde{\Gamma}_2.$$

Предложение 2.  $\dim \ker \tilde{\Gamma}_k = \dim X$  ( $k = \overline{1,2}$ )

Предложение 3.  $\dim \ker \Gamma_k = \dim \tilde{X}$  ( $k = \overline{1,2}$ )

Возможны два случая :  $\dim N_\lambda \geq \dim N_{\bar{\lambda}}$  ( $\varepsilon \text{Im} \lambda \geq 0$ ) и  $\dim N_\lambda \leq \dim N_{\bar{\lambda}}$  ( $\varepsilon \text{Im} \lambda \leq 0$ ).

Предложение 4.

Если  $\dim N_\lambda \geq \dim N_{\bar{\lambda}}$ , то

$$\ker \Gamma_k = (I + \Phi_k) N_{\bar{\lambda}}, \Delta(\Phi_k) = N_{\bar{\lambda}}, \Phi_k - \text{сжатие}, -1 \notin \sigma_p(\Phi_k),$$

$$\ker \tilde{\Gamma}_k = (I + \tilde{\Phi}_k) D(\tilde{\Phi}_k), \Delta(\tilde{\Phi}_k) = N_{\bar{\lambda}}, \tilde{\Phi}_k - \text{изометрический оператор}, -1 \notin \sigma_p(\tilde{\Phi}_k),$$

$$N_\lambda = D(\tilde{\Phi}_k) \oplus \ker \Phi_k,$$

если  $\dim N_\lambda \leq \dim N_{\bar{\lambda}}$ , то

$$\ker \Gamma_k = (I + \Phi_k) N_{\bar{\lambda}}, \Delta(\Phi_k) = N_{\bar{\lambda}}, \Phi_k - \text{сжатие}, -1 \notin \sigma_p(\Phi_k),$$

$$\ker \tilde{\Gamma}_k = (I + \tilde{\Phi}_k) D(\tilde{\Phi}_k), \Delta(\tilde{\Phi}_k) = N_{\bar{\lambda}}, \tilde{\Phi}_k - \text{изометрический оператор}, -1 \notin \sigma_p(\tilde{\Phi}_k),$$

$$N_{\bar{\lambda}} = D(\tilde{\Phi}_k) \oplus \ker \Phi_k, (k = \overline{1,2}).$$

Рассмотрим случай  $\dim N_\lambda \leq \dim N_{\bar{\lambda}}$ . Пусть  $x \in \ker \Gamma_2$ ,  $x = x_\lambda + x_{\bar{\lambda}}$ .  
Имеет место равенство

$$(\Gamma_1 x, \Gamma_2 x)_X - (\Gamma_2 x, \Gamma_1 x)_X - 2\epsilon i (\Gamma x, \Gamma x)_X = (\lambda - \bar{\lambda}) \left[ (x_{\bar{\lambda}}, x_{\bar{\lambda}}) - (x_{\lambda}, x_{\lambda}) \right], \text{ или}$$

$$-2\epsilon i \|\Gamma x\|_X^2 = 2(\operatorname{Im} \lambda) i \left[ \|x_{\bar{\lambda}}\|^2 - \|x_{\lambda}\|^2 \right] \quad (5). \text{ Т.к. } \epsilon \text{ и } \operatorname{Im} \lambda \text{ разных знаков, то из (5)}$$

следует  $\|x_{\bar{\lambda}}\| \geq \|x_{\lambda}\|$  (6). Компонента  $x_{\lambda}$  однозначно определяется компонентой  $x_{\bar{\lambda}}$ . Действительно, если  $x' = x'_{\lambda} + x_{\bar{\lambda}} \in \ker \Gamma_2$ , то

$$(x - x') = 0 + (x_{\lambda} - x'_{\lambda}) \in \ker \Gamma_2, \text{ из (6) следует } \|0\| \geq \|x_{\lambda} - x'_{\lambda}\|, \text{ откуда } x_{\lambda} = x'_{\lambda}.$$

Т.о. на множестве  $x_{\bar{\lambda}}$  таких, что  $x_{\lambda} + x_{\bar{\lambda}} \in \ker \Gamma_2$  можно определить оператор  $\Phi_2$ :

$$\Phi_2 x_{\bar{\lambda}} = x_{\lambda}. \text{ Причем } \|\Phi_2 x_{\bar{\lambda}}\| \leq \|x_{\bar{\lambda}}\| \text{ и } -1 \notin \sigma_p(\Phi_2).$$

Далее, допустим  $\overline{D(\Phi_2)} \neq N_{\bar{\lambda}}$ . Тогда  $\exists y_{\bar{\lambda}} \neq 0 : (y_{\bar{\lambda}}, x_{\bar{\lambda}}) = 0 \quad \forall x_{\bar{\lambda}} \in D(\Phi_2)$ .

Пусть  $\tilde{\Gamma}_2 y_{\bar{\lambda}} = \langle \varphi, \epsilon i \alpha \rangle$ . Для пары  $\{0, (-\alpha)\}, \langle \varphi, \epsilon i \alpha \rangle \quad \exists x \in N_{\lambda} \dot{+} N_{\bar{\lambda}}$ :

$\tilde{\Gamma}_1 x = \langle \varphi, \epsilon i \alpha \rangle, \tilde{\Gamma}_2 x = \langle 0, (-\alpha) \rangle$  (т.е.  $x \in \ker \Gamma_2$  и  $x = x_{\bar{\lambda}} + \Phi_2 x_{\bar{\lambda}}$ ). В этом случае из равенства:

$$(\tilde{\Gamma}_1 x, \tilde{\Gamma}_2 y_{\bar{\lambda}}) - (\tilde{\Gamma}_2 x, \tilde{\Gamma}_1 y_{\bar{\lambda}}) = (\lambda - \bar{\lambda}) (x_{\bar{\lambda}}, y_{\bar{\lambda}}) \text{ получаем: } \|\varphi\|^2 + 2\epsilon^2 \|\alpha\|^2 = 0 \text{ и}$$

$$\varphi = \alpha = 0. \text{ Тогда}$$

$y_{\bar{\lambda}} \in \ker \Gamma_2$  и  $y_{\bar{\lambda}} = z_{\bar{\lambda}} + \Phi_2 z_{\bar{\lambda}}$ , но в этом случае  $\Phi_2 z_{\bar{\lambda}} = 0$  и  $z_{\bar{\lambda}} = 0$ . Таким образом,  $y_{\bar{\lambda}} = 0$ , что противоречит предположению  $y_{\bar{\lambda}} \neq 0$ . Следовательно,

$$\overline{D(\Phi_2)} = N_{\bar{\lambda}}. \text{ Докажем, что } \overline{D(\Phi_2)} = D(\Phi_2). \text{ Пусть } x_{\bar{\lambda}} \in \overline{D(\Phi_2)} \Rightarrow$$

$$x_{\bar{\lambda}} = \lim_{n \rightarrow \infty} x_{\bar{\lambda}}^{(n)}, x_{\bar{\lambda}}^{(n)} \in D(\Phi_2). \text{ Рассмотрим вектор}$$

$$x = \lim_{n \rightarrow \infty} (x_{\bar{\lambda}}^{(n)} + \Phi_2 x_{\bar{\lambda}}^{(n)}) = x_{\bar{\lambda}} + x_{\lambda}, \text{ и докажем, что } x \in \ker \Gamma_2. \text{ Действительно,}$$

$$\forall y \in N_{\lambda} \dot{+} N_{\bar{\lambda}}, y = y_{\lambda} + y_{\bar{\lambda}} \quad (\tilde{\Gamma}_1 x, \tilde{\Gamma}_2 y) - (\tilde{\Gamma}_2 x, \tilde{\Gamma}_1 y) = (\lambda - \bar{\lambda}) \times$$

$$\times \left[ (x_{\bar{\lambda}}, y_{\bar{\lambda}}) - (x_{\lambda}, y_{\lambda}) \right] = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[ (x_{\bar{\lambda}}^{(n)}, y_{\bar{\lambda}}) - (\Phi_2 x_{\bar{\lambda}}^{(n)}, y_{\lambda}) \right] =$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left[ (\tilde{\Gamma}_1 (x_{\bar{\lambda}}^{(n)} + \Phi_2 x_{\bar{\lambda}}^{(n)}) \tilde{\Gamma}_2 y) - (\tilde{\Gamma}_2 (x_{\bar{\lambda}}^{(n)} + \Phi_2 x_{\bar{\lambda}}^{(n)}) \tilde{\Gamma}_1 y) \right] \quad (7). \text{ Выберем } y \text{ так,}$$

чтобы  $\tilde{\Gamma}_1 y = \langle \Gamma_2 x, 0 \rangle, \tilde{\Gamma}_2 y = \langle 0, 0 \rangle$ . Тогда из (7) следует  $\|\Gamma_2 x\|^2 = 0$  и  $\Gamma_2 x = 0$ . То-

гда  $x_{\bar{\lambda}} \in D(\Phi_2)$  и  $\overline{D(\Phi_2)} = D(\Phi_2) = N_{\bar{\lambda}}$ .



Аналогично доказывается, что  $\Delta(\Phi_2) = N_\lambda$ .

Предположим  $x \in \ker \tilde{\Gamma}_2$ , тогда в выражении (5) левая часть равна 0, поэтому  $\|x_{\bar{\lambda}}\| = \|x_\lambda\|$  и, следовательно,  $\tilde{\Phi}_2$  – изометрический оператор.

Аналогично приведенному выше, доказывается, что  $D(\overline{\tilde{\Phi}_2}) = D(\tilde{\Phi}_2)$ ,  $\Delta(\tilde{\Phi}_2) = N_\lambda$ ,  $-1 \notin \sigma_p(\tilde{\Phi}_2)$ .

Теперь пусть  $y_{\bar{\lambda}} \perp D(\tilde{\Phi}_2)$ ,  $\tilde{\Gamma}_1 y_{\bar{\lambda}} = \langle \psi, \alpha \rangle$ ,  $\tilde{\Gamma}_2 y_{\bar{\lambda}} = \langle \varphi, \epsilon i \alpha \rangle$ . Для пары  $\{\langle \varphi, 0 \rangle, \langle 0, 0 \rangle\}$   $\exists x: \tilde{\Gamma}_1 x = \langle \varphi, 0 \rangle$ ,  $\tilde{\Gamma}_2 x = \langle 0, 0 \rangle$ , т.е.  $x \in \ker \tilde{\Gamma}_2$  и  $x = x_{\bar{\lambda}} + \tilde{\Phi}_2 x_{\bar{\lambda}}$ . Из равенства  $(\tilde{\Gamma}_1 x, \tilde{\Gamma}_2 y_{\bar{\lambda}}) - (\tilde{\Gamma}_2 x, \tilde{\Gamma}_1 y_{\bar{\lambda}}) = (\lambda - \bar{\lambda})(x_{\bar{\lambda}}, y_{\bar{\lambda}})$  следует  $\|\varphi\|^2 = 0$  и  $\varphi = 0$ , а значит  $y_{\bar{\lambda}} \in \ker \Phi_2$ .

Если  $y_{\bar{\lambda}} \in \ker \Phi_2$ ,  $\tilde{\Gamma}_1 y_{\bar{\lambda}} = \langle \psi, \alpha \rangle$ ,  $\tilde{\Gamma}_2 y_{\bar{\lambda}} = \langle 0, \epsilon i \alpha \rangle$ , то  $\forall x \in \ker \tilde{\Gamma}_2$ ,  $x = x_{\bar{\lambda}} + \tilde{\Phi}_2 x_{\bar{\lambda}}$ , из того же равенства следует  $(x_{\bar{\lambda}}, y_{\bar{\lambda}}) = 0$ . Т.о.  $y_{\bar{\lambda}} \perp D(\tilde{\Phi}_2)$ . Т.к.  $D(\overline{\tilde{\Phi}_2}) = D(\tilde{\Phi}_2)$ , то  $N_{\bar{\lambda}} = D(\tilde{\Phi}_2) \oplus \ker \Phi_2$ .

Аналогичные рассуждения можно провести и для  $\Phi_1, \tilde{\Phi}_1, \ker \Gamma_1, \ker \tilde{\Gamma}_1$ , и для случая

$$\dim N_\lambda \geq \dim N_{\bar{\lambda}}. \quad \square$$

Предложение 5

Если  $\dim N_\lambda \geq \dim N_{\bar{\lambda}}$ , то  $N_\lambda \dot{+} N_{\bar{\lambda}} = \ker \tilde{\Gamma}_k \dot{+} N_\lambda = \ker \Gamma_k \dot{+} N_{\bar{\lambda}}$ ,  
если  $\dim N_\lambda \leq \dim N_{\bar{\lambda}}$ , то

$$N_\lambda \dot{+} N_{\bar{\lambda}} = \ker \tilde{\Gamma}_k \dot{+} N_{\bar{\lambda}} = \ker \Gamma_k \dot{+} N_\lambda, \quad (k = \overline{1, 2}).$$

Пусть  $\dim N_\lambda \geq \dim N_{\bar{\lambda}}$ ,  $x \in \ker \tilde{\Gamma}_1 \cap N_\lambda$ . Тогда  $x = x_\lambda + \tilde{\Phi}_1 x_\lambda$ , причем  $\tilde{\Phi}_1 x_\lambda = 0$ . Следовательно,  $x_\lambda = 0$  и  $x = 0$ . Т.о.  $\ker \tilde{\Gamma}_1$  и  $N_\lambda$  – линейно независимы. Пусть теперь  $x = x_\lambda + x_{\bar{\lambda}} \in N_\lambda \dot{+} N_{\bar{\lambda}}$ . Тогда

$$x = x_\lambda - \tilde{\Phi}_1^{-1} x_{\bar{\lambda}} + \tilde{\Phi}_1^{-1} x_{\bar{\lambda}} + x_{\bar{\lambda}} = (x_\lambda - z_\lambda) + (z_\lambda + \tilde{\Phi}_1 z_\lambda), \text{ где } x_\lambda - z_\lambda \in N_\lambda, \text{ а } z_\lambda + \tilde{\Phi}_1 z_\lambda \in \ker \tilde{\Gamma}_1. \text{ Т.о. } N_\lambda \dot{+} N_{\bar{\lambda}} = \ker \tilde{\Gamma}_1 \dot{+} N_\lambda.$$

Аналогично доказываются остальные случаи.

**Предложение 6**

Если  $\dim N_\lambda \geq \dim N_{\bar{\lambda}}$ , то

$$\dim \tilde{X} = \dim N_\lambda, \dim X = \dim N_{\bar{\lambda}}, \dim X' = \dim N_\lambda - \dim N_{\bar{\lambda}},$$

если  $\dim N_\lambda \leq \dim N_{\bar{\lambda}}$ , то  $\dim \tilde{X} = \dim N_{\bar{\lambda}}$ ,

$$\dim X = \dim N_\lambda, \dim X' = \dim N_\lambda - \dim N_{\bar{\lambda}}.$$

Пусть  $\dim N_\lambda \geq \dim N_{\bar{\lambda}}$ . Система векторов  $\{x_\lambda^{(k)}\}_1^r$  линейно независима тогда и только тогда, когда линейно независима система векторов

$$\{x_\lambda^{(k)} + \Phi_1 x_\lambda^{(k)}\} \subset \ker \Gamma_1. \text{ Поэтому}$$

$$\dim N_\lambda = \dim \ker \Gamma_1, \text{ что согласно предложению 3 равно } \dim \tilde{X}.$$

Т.к.  $\tilde{\Phi}_1$  – изометрический, то любой  $x_{\bar{\lambda}}$  имеет свой единственный прообраз  $x_\lambda$  :

$\tilde{\Phi}_1 x_\lambda = x_{\bar{\lambda}}$ . Поэтому система векторов  $\{x_{\bar{\lambda}}^{(k)}\}_1^s$  линейно независима тогда и только тогда, когда линейно независима система векторов

$$\{x_\lambda^{(k)} + \tilde{\Phi}_1 x_\lambda^{(k)}\} \subset \ker \tilde{\Gamma}_1, \text{ следовательно,}$$

$$\dim N_{\bar{\lambda}} = \dim \ker \tilde{\Gamma}_1, \text{ что согласно предложению 2 равно } \dim X.$$

Аналогичны рассуждения в случае  $\dim N_\lambda \leq \dim N_{\bar{\lambda}}$ .

Полученные свойства ПЗ позволяют ввести понятие функции Вейля эрмитова оператора, исследовать ее свойства, а также описать некоторые свойства регулярных расширений в терминах абстрактных граничных значений.

В заключение рассмотрим пример, иллюстрирующий изложенные выше теоретические понятия.

Рассмотрим в пространстве  $H = L_2[0, +\infty)$  симметрический оператор

$$(Ax)(t) = ix'''(t) \text{ с областью определения}$$

$$D(A) = \{x \in H : x(0) = x'(0) = x''(0) = 0\}.$$

$$N_\lambda = \ker(A^* - \bar{\lambda}I). \text{ Пусть } \operatorname{Im} \lambda > 0, \text{ тогда } x_\lambda(t) = c_0 e^{\mu_0 t},$$

$$x_{\bar{\lambda}}(t) = c_1 e^{-\bar{\mu}_1 t} + c_2 e^{-\bar{\mu}_2 t}, \text{ где } \mu_0, \mu_1, \mu_2 - \text{ корни уравнения } \mu^3 = -i\bar{\lambda}. \text{ Т.о. } n_+ = 1,$$

$$n_- = 2, \varepsilon = -1. \text{ В этом случае полагаем } X = X' = C \text{ и выбираем } \Gamma_1 x = x''(0),$$

$$\Gamma_2 x = ix(0), \Gamma x = \frac{1}{\sqrt{2}} x'(0). \text{ Тогда } \tilde{\Gamma}_1 x = \left\langle x''(0), \frac{1}{\sqrt{2}} x'(0) \right\rangle,$$
$$\tilde{\Gamma}_2 x = \left\langle ix(0), -\frac{i}{\sqrt{2}} x'(0) \right\rangle.$$

#### Литература

1. В. А. Деркач, М. М. Маламуд. О характеристических функциях расширений эрмитова оператора. (1984), Макеевка, 45 с.
2. А. В. Кужель, И. И. Карпенко. Пространства граничных значений эрмитовых операторов. (1989), Симф.: СГУ, 8 с.
3. С. А. Кужель. О правильных расширениях эрмитовых операторов.– Функциональный анализ. Линейные пространства: Межвузовский сборник научных трудов. (1990), Ульяновск, с.91-100.
4. О. Г. Сторож. Методы теории расширений и дифференциально-граничные операторы.– Дисс-я ... докт. физ.-мат. наук. (1995), Львов, 277 с.

## КОЛЕБАНИЯ ЖИДКОСТИ В БАСЕЙНЕ, ЧАСТИЧНО ПОКРЫТОМ ЛЬДОМ

Солдатов М. А., аспирант

### 0. Введение.

В данной работе рассмотрена задача о малых движениях и свободных колебаниях идеальной жидкости в бассейне, частично покрытом льдом, крошеным льдом, а также имеющем участки поверхности жидкости без льда.

Используя подход, описанный в [1], исходная начально-краевая задача была сведена к задаче Коши

$$A \frac{d^2 u}{dt^2} + Bu = 0, \quad u(0) = u^0, \quad \frac{du}{dt}(0) = u^1 \quad (0)$$

в некотором гильбертовом (вещественном) пространстве  $H$ . Здесь  $A$  и  $B$  – операторы кинетической и потенциальной энергии соответственно.

Нами были изучены следующие уровни задачи:

1. Поверхность жидкости без льда (см. [1, §3.3]).
2. Упругий лед на поверхности (см. [1, §4.2]).
3. Крошенный лед на поверхности жидкости.
4. Поверхность из льда и крошеного льда.
5. Поверхность из льда и участков чистой воды.
6. Бассейн покрыт крошеным льдом и есть участки чистой воды.
7. Общий случай: на поверхности бассейна есть участки упругого льда, крошеного льда и чистой воды.

Для всех этих случаев мы исследовали начально-краевую задачу и доказали теорему о разрешимости. Также были исследованы соответствующие спектральные задачи.

Здесь мы рассмотрим общий случай 7.

### 1. Постановка задачи.

Пусть  $\Omega$  – произвольная область из  $R^3$  с границей  $\partial\Omega = S \cup \Gamma$ , где  $S$  – жесткая боковая стенка, а  $\Gamma$  – свободная поверхность.

Пусть область  $\Omega$  заполнена идеальной жидкостью плотности  $\rho$ . Свободная поверхность  $\Gamma$  состоит из трех типов поверхностей:

$$\Gamma = \Gamma_0 \cup \Gamma_1 \cup \Gamma_2, \quad \bar{\Gamma} = \bar{\Gamma}_0 \cup \bar{\Gamma}_1 \cup \bar{\Gamma}_2, \\ \Gamma_0 = \bigcup_{j=1}^p \Gamma_{0j}, \quad \Gamma_1 = \bigcup_{k=1}^m \Gamma_{1k}, \quad \Gamma_2 = \bigcup_{l=1}^q \Gamma_{2l},$$

где  $\Gamma_{0j}$  – участки "чистой воды",  $\Gamma_{1k}$  – участки "льда",  $\Gamma_{2l}$  – участки "крошеного льда".

Пусть  $\rho_1 (< \rho)$  – поверхностная плотность льда,  $\rho_2 (< \rho)$  – поверхностная плотность крошеного льда,  $\{d_{1k}\}_{k=1}^m$  – коэффициенты жесткости льдин.

Исследуются малые колебания жидкости в области  $\Omega$ , находящейся в потенциальном поле силы тяжести. Силы поверхностного натяжения в данной задаче не

учитываются, поэтому в состоянии покоя свободная поверхность  $\Gamma$  плоская и горизонтальная, т.е. перпендикулярна направлению ускорения гравитационного поля  $\vec{g}$ . Введем в рассмотрение функции:  $u(t, x)$  – поле малых скоростей жидкости,  $p(t, x)$  – динамическое давление,  $w(t, x_1, x_2)$  – поле отклонений свободной поверхности от равновесного состояния. Тогда движение жидкости в бассейне описывается следующей системой уравнений и граничных условий:

$$\begin{cases} \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \nabla p = \vec{f}, \quad \operatorname{div} \vec{u} = 0 & (\text{в } \Omega) \\ u_n = \vec{u} \cdot \vec{n} = 0 & (\text{на } S) \\ p = \rho g w, \quad u_n = u_3 = \frac{\partial w}{\partial t} & (\text{на } \Gamma_0) \\ p = \rho_1 \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + B_1 w, \quad u_n = u_3 = \frac{\partial w}{\partial t} & (\text{на } \Gamma_1) \\ p = \rho g w + \rho_2 \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \quad u_n = u_3 = \frac{\partial w}{\partial t} & (\text{на } \Gamma_2) \\ \vec{u}(0, x) = \vec{u}^0(x), \quad w(0, x_1, x_2) = w^0(x_1, x_2) \\ \int_{\Gamma} w(x_1, x_2) d\Gamma = \int_{\Gamma_0} w(x_1, x_2) d\Gamma_0 + \int_{\Gamma_1} w(x_1, x_2) d\Gamma_1 + \int_{\Gamma_2} w(x_1, x_2) d\Gamma_2 = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь  $B_1$  – оператор, действующий в пространстве  $L_2(\Gamma_1)$  по закону:

$$B_1 w = (d_1 \Delta_2^2 + \rho g) w, \quad (2)$$

а область определения оператора  $B_1$  – функции  $w$  из  $L_2(\Gamma_1)$ , которые имеют четвертую обобщенную производную, и для них выполнены граничные условия жесткого закрепления льда по границе  $\gamma_1 = \overline{\Gamma_1} \cap \overline{S}$  и условие равенства нулю поперечной силы и момента на границе  $\partial\Gamma_1 \setminus \gamma_1$  (см. [3, §23]):

$$\begin{aligned} D(B_1) &= \{w \in H^4(\Gamma_1) \mid w = \frac{\partial w}{\partial \nu} = 0 \text{ (на } \gamma_1), \quad Mw = \sigma \Delta w + (1 - \sigma) \frac{\partial^2 w}{\partial \nu^2} = 0, \\ Nw &= -\frac{\partial}{\partial \nu} (\Delta w) + (1 - \sigma) \frac{\partial}{\partial s} \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2} \nu_1 \nu_2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x_1 \partial x_2} \right] = 0 \text{ (на } \partial\Gamma_1 \setminus \gamma_1)\}. \end{aligned}$$

Последнее выражение в (1) является следствием сохранения объема жидкости в области  $\Omega$ . Интегралы отдельно по  $\Gamma_0$ ,  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  не обязаны быть равны нулю.

## 2. Операторное уравнение задачи.

Задача (1) решалась методом проектирования уравнений задачи на подпространства ортогонального разложения гильбертова пространства. Неизвестная

функция  $w$  как элемент гильбертова пространства  $H = L_2(\Gamma) - \{ \cdot |_{\Gamma} \}$  разыскивалась в виде тройки функций на соответствующих частях поверхности:

$$w = (w_0, w_1, w_2) \quad w_i = w|_{\Gamma_i}.$$

Пространство  $H$  представляется в виде ортогональной суммы:

$$H = H_0 \oplus H_2 \oplus \hat{H}_1,$$

$$H_0 = \{ (w_0, w_1, w_2) \mid w_0 \in L_2(\Gamma_0) - \{ \cdot |_{\Gamma_0} \}, w_1 \equiv 0, w_2 \equiv 0 \},$$

$$H_2 = \{ (w_0, w_1, w_2) \mid w_2 \in L_2(\Gamma_2) - \{ \cdot |_{\Gamma_2} \}, w_1 \equiv 0, w_0 \equiv 0 \},$$

$$\hat{H}_1 = H - H_0 - H_2.$$

После проектирования уравнений (1) на подпространства  $H$  исходная задача была сведена к эквивалентной задаче Коши для  $v \in H$  (свободные колебания):

$$(A + \rho C) \frac{d^2 v}{dt^2} + Bv = 0, \quad v(0) = v^0, \quad \frac{dv}{dt} = v^1. \quad (3)$$

Были доказаны следующие леммы о свойствах операторов.

**Лемма 1.**  $0 \leq A \leq \max(\rho_1, \rho_2)I$ .

**Лемма 2.**  $C$  – самосопряженный положительный компактный оператор.

**Лемма 3.**  $B$  – неограниченный самосопряженный положительный оператор, причем  $B^{-1}$  – ограниченный и положительный.

### 3. Эволюционная задача.

Была доказана следующая теорема о разрешимости эволюционной задачи.

**Теорема 4.** Если  $v^0 \in D(B)$  и  $v^1 \in D(B^{1/2})$ , то существует единственное сильное решение задачи (3) в гильбертовом пространстве  $H = L_2(\Gamma) - \{ \cdot |_{\Gamma} \}$ .

### 4. Спектральная задача.

Рассматривая нормальные колебания, т.е. колебания, зависящие от времени по закону  $\exp(i\omega t)$  ( ), для задачи

$$Bv = \lambda(A + \rho C)v \quad (4)$$

был получен следующий результат.

**Теорема 5.** Задача (4) имеет дискретный положительный спектр с предельными точками на бесконечности и  $\lambda_0 = \frac{\rho g}{\rho_2} > 0$ . Точке  $\lambda = +\infty$  соответствуют волны, как и в случае с упругим льдом и участками поверхности жидкости без льда; точке  $\lambda_0 > 0$  отвечает другой тип волн, обусловленных наличием крошеного льда на поверхности.

### 5. Другие случаи.

Аналогичным образом были рассмотрены и остальные случаи. Для них были доказаны соответствующие теоремы о разрешимости эволюционной задачи. Также были доказаны следующие теоремы о структуре спектра:

1. Поверхность жидкости без льда (ветвь собственных значений с пределом в  $\lambda = +\infty$ ).
2. Упругий лед на поверхности ( $\lambda = +\infty$ ).
3. Крошенный лед на поверхности жидкости ( $\lambda_0 = \text{const} > 0$ ).
4. Поверхность из льда и крошеного льда ( $\lambda = +\infty$ ,  $\lambda_0 = \text{const} > 0$ ).
5. Поверхность из льда и участков чистой воды ( $\lambda = +\infty$ ).
6. Бассейн покрыт крошеным льдом и есть участки чистой воды ( $\lambda = +\infty$ ,  $\lambda_0 = \text{const} > 0$ ).
7. Общий случай: на поверхности бассейна есть участки упругого льда, крошеного льда и чистой воды ( $\lambda = +\infty$ ,  $\lambda_0 = \text{const} > 0$ ).

Для ветвей собственных значений мы исследовали их асимптотическое поведение.

### Литература

1. Копачевский Н.Д., Крейн С.Г., Нго Зуй Кан, Операторные методы в линейной гидродинамике: Эволюционные и спектральные задачи. – М.: Наука. Гл. ред. физ. - мат. лит., 1989.
2. Ландау Л., Лившиц Е., Механика сплошных сред.– Москва, 1944.
3. Ректорис К., Вариационные методы в математической физике и технике. – М.: Мир, 1985.
4. Смирнов В.И., Курс высшей математики. Том V.-- Москва, 1960.

**ОБ ОДНОМ МАКСИМАЛЬНОМ ИНВАРИАНТНОМ ПОДПРОСТРАНСТВЕ  
В СЛУЧАЕ ПРОСТРАНСТВА С ИНДЕФИНИТНОЙ МЕТРИКОЙ**

*Тышкевич Д. Л., аспирант кафедры алгебры и теории чисел*

При исследовании линейных ограниченных операторов в гильбертовом пространстве по "близости" к унитарному (т.е. с помощью дефектных операторов  $I - T^*T$ ,  $I - TT^*$ ) важную роль играет теорема о разложении любого ограниченного оператора на ортогональную сумму двух слагаемых: вполне не унитарного и унитарного (см., например, [1]). Напомним, что вполне неунитарным называется линейный (ограниченный) оператор, который в любом своем приводящем подпространстве не индуцирует унитарный оператор. Подобные вопросы для случая пространств с индефинитной метрикой изучались сравнительно (с гильбертовым случаем) мало. Заметим, что в случае  $\pi$ -полуунитарных операторов подобными вопросами занимался Штраус [2]. В данной статье предлагается частичное обобщение вышеупомянутой теоремы для случая пространств с индефинитной метрикой. Пусть  $\mathbf{H}$  – гильбертово пространство,  $H_1$  и  $H_2$  – знаки в  $\mathbf{H}$  (т.е. эрмитовы унитарные операторы). Через  $T^\#$  обозначим оператор  $H_2T^*H_1$  (сопряженный к  $T$  в индефинитном смысле).

Рассмотрим дефектные операторы:

$$\begin{aligned} \Delta_T &= H_2 - T^*H_1T, & \Delta_{*T} &= H_1 - TH_2T^*, \\ \delta_T &= I - T^\#T, & \delta_{\#T} &= I - TT^\#, \\ D_T &= |\Delta_T|^{1/2}, & D_{*T} &= |\Delta_{*T}|^{1/2}, \\ J_T &= \text{sign}\Delta_T, & J_{*T} &= \text{sign}\Delta_{*T}, \\ \Delta_T &= H_2\delta_T, & \Delta_{*T} &= \delta_{\#T}H_1. \end{aligned} \tag{1}$$

Будем говорить, что оператор  $T - (H_1, H_2)$  – унитарен в (под)пространстве  $L \subset \mathbf{H}$ , если  $P_L H_2 \delta_T P_L = P_L H_1 \delta_{\#T} P_L = 0$ , где  $P_L$  – ортопроектор в  $\mathbf{H}$  на  $L$ .

(т.е.  $[Th, Th']_{H_1} = [h, h']_{H_2}$ ,  $[T^\#h, T^\#h']_{H_2} = [h, h']_{H_1}$ ;  $h, h' \in L$ ).

Рассмотрим подпространство

$$\mathbf{H}_T^0 = \bigcap_{n \geq 0} \text{Ker } \delta_T T^n \cap \bigcap_{n \geq 0} \text{Ker } \delta_{\#T} T^{\#n}.$$

Утверждение 1. Подпространство  $\mathbf{H}_T^0$  инвариантно относительно  $T$  и  $T^\#$ , т.е.  $\mathbf{H}_T^0 \in \text{Lat}T \cap \text{Lat}T^\#$ , и в подпространстве  $\mathbf{H}_T^0$  оператор  $T$  является  $(H_1, H_2)$  – унитарным.

Доказательство. Пусть  $h_0 \in \mathbf{H}_T^0$ , рассмотрим  $Th_0$ :

- (I)  $\delta_T T^n Th_0 = \delta_T T^{n+1} Th_0 = 0$ ;
- (II)  $\delta_{\#T} T^{\#n} Th_0 = \delta_{\#T} T^{\#n-1} h_0 = 0$  ( $n \geq 1$ ), так как  $h_0 \in \text{Ker } \delta_T$ , т.е.  $h_0 = T^\# Th_0$ ;
- (III) Ввиду равенства  $T\delta_T = \delta_{\#T}T$  имеем  $\delta_{\#T}Th_0 = T\delta_T h_0 = 0$ .

Таким образом,  $Th_0 \in \mathbf{H}_T^0$ .



Доказательство принадлежности  $T^\#h_0$  пространству  $\mathbf{H}_T^0$  обосновывается сходным с (I)–(III) образом, учитывая равенства  $h_0 = TT^\#h_0$  и  $T^\#\delta_{\#T} = \delta_T T^\#$ .

Отметим, что в случае гильбертовой метрики, т.е. когда

$$H_1 = H_2 = I, \quad (2)$$

пространство  $\mathbf{H}_T^0$  можно записать в виде

$$\mathbf{H}_T^0 = \{h \in \mathbf{H} / \|T^n h\| = \|T^{*n} h\| = \|h\|, n \in \mathbf{N}\},$$

и оно, таким образом, в своем классическом представлении есть наибольшее (относительно порядка  $\subset$ ) приводящее подпространство, в котором  $T$  индуцирует унитарный оператор. В случае произвольных знаков  $H_1$  и  $H_2$  это перестает быть верным. Строго говоря,  $\mathbf{H}_T^0$  в общем случае не обязательно является даже верхней гранью (относительно  $\subset$ ) множества всех подпространств из  $\text{Lat}T \cap \text{Lat}T^\#$ , в которых  $T(H_1, H_2)$  – унитарен. Это объясняется тем, что при условии (2) для любого подпространства  $L \subset \mathbf{H}$  из цепочки равенств  $P_L H_2 \delta_T P_L = P_L H_1 \delta_{\#T} P_L = 0$  следует цепочка

$$\delta_T P_L = \delta_{\#T} P_L = 0,$$

откуда  $T^n L \subset L \subset \text{Ker} \delta_T$ ,  $T^{\#n} L \subset L \subset \text{Ker} \delta_{\#T}$ , и, следовательно,  $L \subset \mathbf{H}_T^0$ . Когда знаки  $H_1$  и  $H_2$  отличны от единичного оператора, (3) может не выполняться, что показывает следующий

Пример 1. Пусть  $L$  – некоторое бесконечномерное подпространство пространства  $\mathbf{H}$  и такое, что  $\dim L = \dim L^\perp$  ( $L^\perp = \mathbf{H} \ominus L$ ). Пусть  $Z: L \rightarrow L^\perp$  – некоторый унитарный оператор. Определим оператор  $H: \mathbf{H} \rightarrow \mathbf{H}$  матрицей относительно разложения  $\mathbf{H} = L \oplus L^\perp$ :

$$H = \begin{bmatrix} 0 & Z^* \\ Z & 0 \end{bmatrix}.$$

Из определения оператора  $H$  явствует, что  $H$  – знак и

$$HL = L^\perp, HL^\perp = L. \quad (4)$$

Определим оператор  $T: \mathbf{H} \rightarrow \mathbf{H}$  матрицей относительно разложения  $\mathbf{H} = L \oplus L^\perp$ :

$$T = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ 0 & T_{22} \end{bmatrix} \quad (5)$$

где  $T_{11}$ ,  $T_{12}$ ,  $T_{22}$  – некоторые ограниченные операторы, действующие в соответствующих пространствах. Полагаем  $H_1 = H_2 = H$ . Прямой проверкой убеждаемся, что  $TL \subset L$  и

$$\delta_T P_L = \begin{bmatrix} I_L - Z^* T_{22}^* Z T_{11} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \delta_{\#T} P_L = \begin{bmatrix} I_L - T_{11} Z^* T_{22}^* Z & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Подберем операторы  $T_{11}$  и  $T_{12}$  таким образом, чтобы какой-либо из операторов  $\delta_T P_i, \delta_{\#T} P_i$  был ненулевым. Между тем из (4) и (6) следует, что  $P_i H \delta_T P_i = P_i H \delta_{\#T} P_i = 0$ .

Рассмотренный пример показывает необходимость введения ограничений на множество соответствующих подпространств из  $\text{Lat} T \cap \text{Lat} T^\#$  для того, чтобы  $\mathbf{H}_T^0$  было верхней гранью данного множества относительно порядка  $\subset$ . Причем ограничения должны быть таковы, чтобы в случае (2) в это множество входили все подпространства из  $\text{Lat} T \cap \text{Lat} T^\#$ , в которых  $T$   $(H_1, H_2)$ -унитарен (в данном случае – просто унитарен относительно гильбертовой метрики).

Рассмотрим множество  $\mathbf{M}_T$  всех невырожденных относительно  $H_1$ - и  $H_2$ -метрики подпространств  $L \in \text{Lat} T \cap \text{Lat} T^\#$ , в которых  $T$   $(H_1, H_2)$ -унитарен. Тогда, с использованием утверждения 2 нетрудно убедиться, что верно следующее

Предложение.  $\mathbf{H}_T^0$  является верхней гранью множества  $\mathbf{M}_T$  (относительно  $\subset$ ).

Отметим, что в общем случае  $\mathbf{H}_T^0$  может не принадлежать множеству  $\mathbf{M}_T$ , так как  $\mathbf{H}_T^0$  может оказаться вырожденным. Проиллюстрируем эту ситуацию.

Пример 2. Обращаясь к примеру 1, положим в матрице (5)  $T_{11} = V$ ,  $T_{12} = -\frac{1}{2} V A Z^*$ ,  $T_{22} = Z V Z^*$ , где  $V$  – некоторый унитарный оператор, а  $A$  – самосопряженный в  $\mathbf{L}$  с нулевым ядром:

$$\text{Ker } A = \{0\}. \quad (7)$$

Непосредственно убеждаемся, что

$$\delta_T T^n = \begin{bmatrix} 0 & A V^n Z^* \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \delta_{\#T} T^{\#n} = \begin{bmatrix} 0 & V A V^{*n+1} Z^* \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

откуда, учитывая (7), следует цепочка равенств  $\text{Ker } \delta_T T^n = \text{Ker } \delta_{\#T} T^{\#n} = \mathbf{L}$  ( $n \geq 0$ ); и, таким образом,  $\mathbf{H}_T^0 = \mathbf{H}_T^{0[\perp]}$ .

В заключение отметим следующее. Во-первых, в случае (2)  $\mathbf{M}_T$  содержит все подпространства  $L \in \text{Lat} T \cap \text{Lat} T^\#$ , в которых  $T$   $(H_1, H_2)$  – унитарен, так как отпадает условие невырожденности. Во-вторых, к утверждению 2 можно привести альтернативную ветвь, налагая условия не на инвариантные подпространства оператора  $T$ , а на сам оператор: в частности, если  $T$  является  $(H_1, H_2)$  – двусторонним сжатием (т.е.  $[Th, Th]_{H_1} \leq [h, h]_{H_2}$ ,  $[T^\#h, T^\#h]_{H_2} \leq [h, h]_{H_1}$ ;  $h \in \mathbf{H}$ ), то  $\mathbf{H}_T^0$  является наибольшим элементом множества всех подпространств из  $\text{Lat} T \cap \text{Lat} T^\#$ , в которых  $T$   $(H_1, H_2)$  – унитарен (в этом случае  $\Delta_T \geq 0$ ,  $\Delta_{*T} \geq 0$  и для соответствующего подпространства  $L$  из  $\text{Lat} T \cap \text{Lat} T^\#$  линеалы  $D_T L$ ,  $D_{*T} H_1 L$  оказываются нейтральными соответственно в метриках  $[\cdot, \cdot]_{J_T}$ ,  $[\cdot, \cdot]_{J_{*T}}$  – т.е. нулевыми, так как в данном случае  $J_T = J_{*T} = I$  и т.д.). И последний момент: в отличие от случая гильбертовой метрики, вопрос о разбегии оператора  $T$  на сумму унитарного и вполне неунитарного (с соответствующими модификациями для индефинитной метрики) представляет значительную трудность для исследования (обычную для случая индефинитности метрики) ввиду того, что  $\mathbf{H}_T^0$  может не оказаться проекционно полным (подробно о проекционной полноте

см. [3]; как мы видели в примере 2,  $\mathbf{H}_T^0$  может даже совпадать со своей изотропной частью). Вопрос о проекционной полноте или ее отсутствии для пространства  $\mathbf{H}_T^0$  в данной статье не затрагивается.

#### Литература

1. Сёкефальви-Надь Б. Унитарные дилатации операторов в гильбертовом пространстве и смежные вопросы. // в кн. Рисс Ф., Сёкефальви-Надь Б. Лекции по функциональному анализу. Добавление 2. – М.: Мир. – 1979. – С. 512-560.
2. Штраус В. А. Об аналоге разложения Вольда для  $\pi$ -полуунитарных операторов. // Успехи мат. наук. – 1988. – Т. 43, № 1. – С. 185-186.
3. Азизов Т. Я., Йохвидов И. С. Основы теории линейных операторов в пространствах с индефинитной метрикой. – М.: Наука. – 1986. – 352 с.

## ОПЕРАТОРНЫЕ УРАВНЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ЗАДАЧАМИ ГИДРОМЕХАНИКИ

Царьков М. Ю., кандидат физико-математических наук, доцент

Методы функционального анализа, в первую очередь теории операторов, занимают заметное место в современной математической и теоретической физике. Использование этих методов, как правило, связано с предварительным выводом операторного уравнения для изучаемой задачи. Вывод такого уравнения часто осуществляется на основе уже имеющейся математической постановки задачи в виде системы дифференциальных уравнений, дополненной граничными условиями. По ряду причин такой подход нельзя считать естественным. Действительно, сначала из интегральных законов, например, механики выводятся дифференциальные уравнения, а затем на их основе выводится операторное уравнение, носящее интегральный характер. Кроме того, нередки случаи, когда вывод операторных уравнений по указанной схеме оказывается довольно громоздким и запутанным. В настоящей работе сделана попытка реализовать простой и прямой переход к операторному уравнению в одной весьма общей и важной задаче гидромеханики. Ее частный случай в классической постановке исследовался акад. Н.Н.Моисеевым [1], а операторным методом – Н.Н.Моисеевым и С.Г.Крейном [2]. В настоящей работе, как и в [3], основной является идея погружения всей задачи в интегральное тождество, в отличие от подхода работы [2], основанном на комбинированном использовании ортогонального проектирования и вспомогательных задач.

Приведем описание рассматриваемой гидромеханической системы. Абсолютно твердое тело с закрепленной точкой  $O$  имеет полость (не обязательно связную), заполненную несжимаемой идеальной жидкостью. Система находится в равновесии под действием стационарного потенциального поля массовых сил  $G(x) = -\text{grad } U(x)$ . Пусть  $\Omega$  – область, занятая жидкостью,  $\rho(x)$  – равновесное распределение плотности. Тогда в  $\Omega$  выполняется соотношение  $\rho(x)G(x) = \text{grad } P(x)$ , где  $P(x)$  – равновесное давление в жидкости. Отсюда, в частности, следует, что плотность локально постоянна на эквипотенциальных поверхностях. Сформулируем требования к гладкости  $\rho(x)$ . Допустим, что множество точек разрыва плотности образует поверхность  $\Gamma$  с конечным числом связных компонент, которые, очевидно, являются эквипотенциальными. Будем считать, что на  $\Omega \setminus \Gamma$  плотность обладает непрерывными вплоть до границы производными первого порядка. Ясно, что тогда разрыв плотности на  $\Gamma$  является скачком, а величина скачка  $[\rho]$  постоянна на связных компонентах поверхности  $\Gamma$ . Скачок определяется в соответствии с выбором единичной нормали  $n$  к  $\Gamma$  таким образом, что вектор  $[\rho]n$  направлен в сторону увеличения плотности. Будем считать, что поля  $\delta \times r$  условию непротекания не удовлетворяют. В противном случае потребуются незначительные изменения в следующих ниже построениях.

Примем, что смещения сосуда из положения равновесия описываются векторными полями вида  $\delta \times r$ . Здесь  $\delta$  – так называемый вектор углового перемещения

сосуда, а  $r$  – радиус-вектор точки  $x$ . Введем также векторное поле  $u(x)$  смещений жидкости относительно сосуда, предполагая, что оно соленоидально, а на стенках сосуда удовлетворяет условию непротекания, то есть имеет нулевую нормальную составляющую. Таким образом, полное смещение жидкости описывается полем  $u(x) + \delta \times r$ .

Для записи билинейной формы потенциальной энергии нам понадобится вспомогательная билинейная форма: для произвольных достаточно гладких векторных полей  $u$  и  $w$  определим  $\gamma(u, w)$  выражением

$$\int_{\Omega} (\nabla \rho \cdot u(x))(G(x) \cdot w(x)) d\Omega + \int_{\Gamma} ([\rho]n \cdot u(x))(G(x) \cdot w(x)) d\Gamma,$$

где  $n$  – вектор единичной нормали к  $\Gamma$ . Точкой обозначено скалярное произведение векторов. Если скачки плотности отсутствуют, то второе слагаемое в записанной сумме обратится в нуль. Скачкообразное изменение плотности можно представить как предельное для гладких распределений плотности, тогда второе слагаемое в записанной формуле “восстановится” в результате предельного перехода.

Выясним, каким образом следует выбрать  $\pi(u + \delta \times r, w + \eta \times r)$  – симметричную билинейную форму, чтобы соответствующая квадратичная форма совпадала с удвоенной потенциальной энергией системы. Предположим сначала, что поля  $u$  и  $w$  нулевые, то есть жидкость заморожена. Билинейная форма  $\pi(\delta \times r, \eta \times r)$

вычисляется обычными методами линеаризации систем с конечным числом степеней свободы. Будем считать ее известной и обозначим  $\omega(\delta, \eta)$ . Предположим теперь, что  $\delta = 0$ , то есть сосуд не изменил своего положения, но произошло смещение  $u(x)$  жидкости внутри полости, что привело к новому распределению плотности  $\beta(x)$ . Равновесие при этом нарушилось, то есть в системе появились неуравновешенные силы. Работа, которую эти силы совершают на перемещении  $w + \eta \times r$ , только знаком отличается от  $\pi(u, w + \eta \times r)$ . Пользуясь условием равновесия системы, получаем, что

$$-\pi(u, w + \eta \times r) = \int_{\Omega} (\beta(x) - \rho(x)) G(x) \cdot (w + \eta \times r) d\Omega.$$

Учитывая несжимаемость жидкости, можем считать, что с точностью до малых второго порядка  $\beta(x) - \rho(x) = -\nabla \rho(x) \cdot u(x)$  и, следовательно,

$$\pi(u, w + \eta \times r) = \gamma(u, w + \eta \times r).$$

Естественно сохранить это соотношение и в том случае, когда имеются скачки плотности. Теперь простые вычисления приводят к результату

$$\pi(u + \delta \times r, w + \eta \times r) = \gamma(u + \delta \times r, w + \eta \times r) - \gamma(\delta \times r, \eta \times r) + \omega(\delta, \eta).$$

Замечание. При описании рассматриваемой гидромеханической системы говорилось о том, что жидкость заполняет полости тела. Случай частичного заполнения можно охватить проведенным рассуждением, если считать, что пустота заполнена жидкостью с нулевой плотностью.

Введем билинейную форму, связанную с кинетической энергией системы:

$$J\delta \cdot \eta + \int_{\Omega} \rho(x)(v(x) + \delta \times r) \cdot (w(x) + \eta \times r) d\Omega.$$

Здесь  $J$  – тензор инерции сосуда. Аргументами этой билинейной формы являются векторные поля  $v + \delta \times r$  и  $w + \eta \times r$ . Введем для нее обозначение

$$((v + \delta \times r, w + \eta \times r))$$

и заметим, что она удовлетворяет аксиомам скалярного произведения. Это основное скалярное произведение, связанное с задачей.

Пусть  $u(t, x) + \delta(t) \times r$  – нестационарное векторное поле смещений, описывающее движение системы. Обозначая штрихом производные по времени  $t$ , можем записать работу сил инерции на перемещении  $w(x) + \eta \times r$  в виде

$$-((u'' + \delta'' \times r, w + \eta \times r)).$$

С помощью нормы, соответствующей введенному скалярному произведению, можно выразить кинетическую энергию системы. Действительно, удвоенная кинетическая энергия равна квадрату нормы поля  $u' + \delta' \times r$ .

Предположим, что при движении системы на нее, кроме стационарного потенциального силового поля, о котором сказано выше, действуют нестационарные малые нагрузки, приложенные как к сосуду, так и к жидкости. Работа этих нагрузок на перемещении  $w + \eta \times r$  для каждого фиксированного момента времени является линейным функционалом на линейале возможных перемещений. Обозначим его через  $F(t)$ , а соответствующее значение работы на перемещении будем записывать в виде  $((F(t), w + \eta \times r))$ , как это принято в теории оснащенных пространств, которая используется ниже.

Запишем уравнение динамики системы. Согласно известному принципу механики при движении системы сумма всех сил, действующих на нее, включая силы инерции, равна нулю. Таким образом, выполняется интегральное тождество

$$((u'' + \delta'' \times r, w + \eta \times r)) + \pi(u + \delta \times r, w + \eta \times r) = ((F(t), w + \eta \times r))$$

для всех смещений  $w + \eta \times r$ . Это соотношение естественно назвать уравнением работ. При его записи предполагалось, что система координат, относительно которой рассматривается движение, инерционная. Во вращающейся системе координат появляются кориолисовы силы и в левой части записанного тождества добавляется билинейная форма  $\kappa(u' + \delta' \times r, w + \eta \times r)$ , представляющая работу указанных сил. Интегральное представление данной формы легко выписывается. Не делая этого, отметим только, что она ограничена по отношению к введенному скалярному умножению.

Замечание. Из полученного интегрального тождества можно вывести классическую постановку задачи.

Осуществим переход к операторному уравнению. Введем гильбертовы пространства, связанные с рассматриваемой задачей, пространства полей с конечной потенциальной и кинетической энергией. Пусть  $J_0(\Omega)$  – известное пространство векторных полей  $u(x)$  с компонентами из  $L_2(\Omega)$ , удовлетворяющих условиям несжимаемости и непротекания в обобщенном смысле. Определим пространство  $H$

как множество полей вида  $u(x) + \delta \times r$  с  $u(x)$  из  $J_0(\Omega)$ . На  $H$  определено введенное выше основное скалярное произведение и  $H$  полно по соответствующей норме. Определим пространство  $W$  как множество тех полей из  $H$ , у которых обобщенная нормальная составляющая на  $\Gamma$  принадлежит  $L_2(\Gamma)$ . Введем на  $W$  скалярное произведение как сумму скалярного произведения пространства  $H$  и скалярного произведения пространства  $L_2(\Gamma)$ , вычисленного для нормальных составляющих перемножаемых полей на  $\Gamma$ . Пространство  $W$  становится гильбертовым, причем плотно вложенным в  $H$ . Таким образом,  $W$  является оснащением  $H$  и, значит, можно ввести соответствующее негативное пространство  $W'$ .

Ясно, что билинейная форма потенциальной энергии определена и непрерывна на пространстве  $W$ . Следовательно, существует линейный и непрерывный оператор  $C$ , действующий из  $W$  в  $W'$  и такой, что

$$\pi(u + \delta \times r, w + \eta \times r) = ((C(u + \delta \times r), w + \eta \times r)).$$

Если в системе действуют кориолисовы силы, то соответствующая им билинейная форма допускает аналогичное представление с помощью оператора  $K$ . При этом  $K$  будет линейным и непрерывным оператором, действующим в пространстве  $H$ , так как соответствующая билинейная форма непрерывна на этом пространстве. Подставляя в уравнение динамики системы полученные представления для билинейных форм и учитывая произвольность поля  $w + \eta \times r$  из  $W$ , приходим к операторному уравнению

$$(u + \delta \times r)'' + K(u + \delta \times r)' + C(u + \delta \times r) = F(t).$$

Здесь  $F(t)$  – функция со значениями в  $W'$ .

Сделаем замечание о разрешимости задачи с начальными данными для этого уравнения. Допустим, что выполняется условие: векторы  $[\rho]n$  и  $G(x)$  на поверхности  $\Gamma$  одинаково направлены. Тогда билинейная форма потенциальной энергии полуограничена снизу по отношению к основному скалярному произведению. Пусть  $M$  – нижняя грань формы  $\pi$ . Введем на  $W$  новое скалярное произведение

$$\pi(u + \delta \times r, w + \eta \times r) + (M + 1)((u + \delta \times r, w + \eta \times r)).$$

При этом произойдет перенормировка пространства  $W$ , то есть норма в этом пространстве заменится на эквивалентную. Оператор  $R$ , с помощью которого новое скалярное произведение представляется в виде  $((R(u + \delta \times r), w + \eta \times r))$ , в силу теоремы Рисса о функционалах на гильбертовом пространстве является изоморфизмом пространств  $W$  и  $W'$ . Для оператора  $C$  получается представление  $C = R - (M + 1)I$ , что позволяет использовать результат, приведенный в [4]. Отметим также, что результаты об асимптотике спектра и собственных векторов, полученные в [5] для оператора  $T$ , справедливы для оператора  $C$ . Детальное изложение вопросов, затронутых в сделанных замечаниях, выходит за рамки данной работы.

Рассмотрим теперь вопрос о знакоопределенности формы потенциальной энергии. В дополнение к предыдущему предположим, что в  $\Omega$  одинаково направлены  $\nabla \rho$  и  $G(x)$ . Это обеспечит неотрицательность формы  $\gamma$ . Введем в  $\Omega$  неотрица-

тельные функции  $\sigma(x)$ ,  $g(x)$  и поле единичных векторов  $m(x)$  так, чтобы имели место представления

$$\nabla\rho(x) = \sigma(x)m(x), \quad G(x) = g(x)m(x).$$

Определим в  $\Omega$  меру  $S$  как сумму двух мер: первая абсолютно непрерывна относительно меры Лебега в  $\Omega$  и имеет плотность  $\sigma(x)g(x)$ , а вторая сосредоточена на  $\Gamma$ , абсолютно непрерывна относительно меры Лебега на  $\Gamma$  и имеет плотность  $[\rho]g(x)$ . Рассмотрим гильбертово пространство  $L_2(\Omega, dS)$ , связанное с определенной выше мерой. Определим оператор  $T$ , действующий из  $W$  в это пространство по правилу: векторному полю  $u$  ставится в соответствие функция, равная  $u(x) \cdot m(x)$  на  $\Omega \setminus \Gamma$ , а на  $\Gamma$  совпадающая с нормальной составляющей поля  $u$  на  $\Gamma$ . Тогда  $\gamma$  выражается через скалярное произведение введенного пространства следующим образом:  $\gamma(u, w) = (Tu, Tw)$ . С помощью нормы этого пространства можно записать удвоенную потенциальную энергию системы в виде

$$\|T(u + \delta \times r)\|^2 - \|T(\delta \times r)\|^2 + \omega(\delta, \delta)$$

Слагаемое, принимающее отрицательные значения, зависит только от  $\delta$ . Поэтому достаточно исследовать на знакоопределенность инфимум этого выражения по  $u$  из  $J_0(\Omega)$ , равный квадратичной форме

$$\omega(\delta, \delta) - \|QT(\delta \times r)\|^2$$

где  $Q$  – ортопроектор в пространстве  $L_2(\Omega, dS)$ , проектирующий на замыкание  $T(J_0(\Omega))$ . Таким образом, неотрицательность формы потенциальной энергии эквивалентна неотрицательности некоторой квадратичной формы, заданной на трехмерном пространстве.

**Замечание.** Неотрицательность формы потенциальной энергии трактуется как устойчивость рассматриваемого положения равновесия (так называемая устойчивость по линейному приближению). Полученный результат, в частности, означает, что возможна ситуация, в которой неустойчивая система становится устойчивой при замерзании жидкости, заполняющей полости. В то же время имеются примеры, в которых функция  $QT(\delta \times r)$  равна нулю при всех  $\delta$  и, следовательно, замерзание жидкости на устойчивость влияния не оказывает.

#### Литература

1. Моисеев Н.Н., Румянцев В.В., Динамика тела с полостями, содержащими жидкость.– Москва: Наука, 1965.– 439 с.
2. Копачевский Н.Д., Крейн С.Г., Нго Зуи Кан, Операторные методы в линейной гидродинамике.– Москва: Наука, 1989.– 416 с.
3. Царьков М.Ю. Об операторной формулировке одного класса задач линейной гидродинамики // В сб. “Динамические системы”.– 1994.– вып. 13.– с. 118-123.
4. Царьков М.Ю. О разрешимости дифференциальных уравнений с операторными коэффициентами // Пятая Международная научная конференция имени академика М.Кравчука. Киев, 16-18 мая 1996 г.: Тезисы докладов / Киев, 1996.– с. 470.
5. Царьков М.Ю. Об асимптотике спектра и собственных векторов одной задачи гидромеханики // В сб. “Динамические системы”.– 1992.– вып. 11.– с.47-51.



## КОЛЕБАНИЯ ПЛОСКОГО МАЯТНИКА С ПОЛОСТЬЮ, ПОЛНОСТЬЮ ЗАПОЛНЕННОЙ ВЯЗКОУПРУГОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Яковлев А. В., аспирант кафедры математического анализа

1. Рассмотрим механическую систему, состоящую из твердого тела с полостью, полностью заполненной вязкоупругой жидкостью. В точке закрепления маятника  $O$ , которая не совпадает с центром масс системы  $C$ , имеется шарнир.

Мы будем исследовать поведение системы в плоском случае; полученные ниже результаты могут быть обобщены на случай сферического маятника, т.е. пространственного движения тела с жидкостью.

Введем подвижную систему координат  $Ox_1 x_2$  и жестко свяжем ее с телом. Будем считать, что в невозмущенном состоянии система покоится, а затем начинает совершать малые движения вокруг точки закрепления.

Линеаризованное уравнение момента количества движения системы имеет вид (см. например, [1, стр. 196]):

$$J_1 \frac{d^2 \delta}{dt^2} + \rho \int_{\Omega} (r \times \frac{\partial^2 w}{dt^2}) d\Omega + \alpha \frac{d \delta}{dt} + m_0 g l \delta = M(t) \quad (1)$$

где  $M(t)$  – момент внешних сил относительно точки  $O$ ,  $0 < J_1 = J_b + J_f$  – компонента тензора инерции твердого тела и жидкости относительно точки  $O$ ,  $w(t, x)$  – поле относительных смещений частиц жидкости,  $x = (x_1, x_2) \in \Omega \subset \mathbf{R}^2$ ,  $m_0 = m_b + \rho \int_{\Omega} d\Omega = m_b + \rho |\Omega|$  – масса всей системы,  $l = |OC|$ ,  $g$  – ускорение силы тяжести,  $\alpha > 0$  – коэффициент трения в подшипнике,  $\delta(t)$  – угол отклонения твердого тела от состояния равновесия.

Уравнение движения вязкоупругой жидкости в неподвижном сосуде описаны в [2]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} &= -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu E_0(t)(\Delta u) + f, \\ \operatorname{div} u &= 0, \\ u &= 0, \\ u(o, x) &= u^0(x) \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\bar{u}(t, x)$  – поле скоростей жидкости,  $\gamma_j \in \mathbf{R}^+$ ,  $\alpha_j > 0$ .

В подвижном маятнике имеются дополнительные переносные члены (см., например, [3], стр. 52). В этом случае взамен (2) приходим к следующему уравнению движения вязкоупругой жидкости:

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial^2 w}{dt^2} + \rho \frac{d^2 \delta}{dt^2} \times r &= -\nabla p + \mu E_0(t)(\Delta \frac{\partial w}{\partial t}) + \rho \bar{f}(t, x), \\ w &= 0, \\ \operatorname{div} w &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

$$E_0(t)v(t, x) = v(t, x) + \sum_{j=1}^m \alpha_j \int_0^t \exp(-\gamma_j(t-s))v(s, x)ds,$$

где  $\mu = \rho\nu$ ,  $\nu$  – кинематическая вязкость.

Для полной постановки начально-краевой задачи введем начальные условия:

$$w(0, x) = w^0(x), \quad \frac{\partial w}{\partial t}(0, x) = u^0(x), \quad \bar{\delta}(0) = \bar{\delta}^0, \quad \frac{d\bar{\delta}}{dt} = \bar{a}^0. \quad (4)$$

Уравнения (1),(3),(4) определяют начально-краевую задачу о малых движениях плоского маятника с полостью, полностью заполненной вязкоупругой жидкостью.

2. При исследовании этой задачи применим операторный подход, описанный например в [1]. Рассмотрим ортогональное разложение пространства векторных функций  $\bar{L}_2(\Omega) = \bar{J}_0(\Omega) \oplus \bar{G}(\Omega)$  от системы уравнений (1), (3) перейдем к дифференциальному уравнению в ортогональной сумме подпространств

$$\hat{H} := \bigoplus_{j=0}^m J_0(\Omega) \oplus C^2.$$

Для этого введем новые искомые функции

$$\begin{aligned} u_0 &:= \frac{dw}{dt}, \\ u_j &:= \mu^{1/2} \alpha_j^{1/2} \int_0^t \exp(-\gamma_j(t-s)) A_0^{1/2} u_0(s) ds, \quad j = 1, m, \\ u_{m+1} &:= \frac{d\bar{\delta}}{dt}, \\ u_{m+2} &:= \bar{\delta}. \end{aligned} \quad (5)$$

где  $A_0$  оператор Стокса, свойства которого широко известны и описаны например в [1].

Если функции  $u_j(t)$  непрерывно дифференцируемы, то

$$\frac{du_j}{dt} = \mu^{1/2} \alpha_j^{1/2} A_0^{1/2} u_0 - \gamma_j u_j, \quad j = 1, m. \quad (6)$$

Применим к уравнению (3) справа оператор  $P_0$  проектирования на подпространство  $\bar{J}_0(\Omega)$ . Тогда, рассматривая совместно проекцию уравнения (3) на подпространство  $\bar{J}_0(\Omega)$ , уравнения (1), (5) и (6), учитывая введенные обозначения, а также соотношение

$$\frac{du_{m+2}}{dt} - u_{m+1} = 0$$

приходим к системе уравнений:

$$\rho \frac{du_0}{dt} + \rho P_0 \left( \frac{du_{m+1}}{dt} \times r \right) + \mu \left[ A_0 u_0 + \sum_{j=1}^m \alpha_j \int_0^t \exp(-\gamma_j(t-s)) A_0 u_0 ds \right] = \rho P_0 f,$$

$$\frac{du_j}{dt} = \mu^{1/2} \alpha_j^{1/2} A_0^{1/2} u_0 - \gamma_j u_j, \quad j = \overline{1, m}. \quad (7)$$

$$J_1 \frac{du_{m+1}}{dt} + \rho \int_{\Omega} (r \times \frac{\partial u_0}{\partial t}) d\Omega + \alpha u_{m+1} + m_0 g l u_{m+2} = M(t),$$

$$m_0 g l \frac{du_{m+2}}{dt} - m_0 g l u_{m+1} = 0.$$

Запишем систему (7) в векторно-матричном виде:

$$\frac{d}{dt} A\hat{u} + B\hat{u} = F(t), \quad \hat{u}(0) = \hat{u}^0, \quad (8)$$

$$A\hat{u} = \begin{pmatrix} \rho u_0 + \rho P_0(u_{m+1} \times \vec{r}) \\ u_1 \\ \dots \\ \rho \int_{\Omega} (\vec{r} \times u_0) d\Omega + J_1 u_{m+1} \end{pmatrix},$$

$$B\hat{u} = \begin{pmatrix} \mu A_0 u_0 + \mu^{1/2} \alpha_1^{1/2} A_0^{1/2} u_1 + \dots + \mu^{1/2} \alpha_m^{1/2} A_0^{1/2} u_m \\ -\mu^{1/2} \alpha_1^{1/2} A_0^{1/2} u_0 + \gamma_1 u_1 \\ \dots \\ \alpha u_{m+1} + m_0 g l u_{m+2} \\ -m_0 g l u_{m+1} \end{pmatrix},$$

$$\hat{u} = (u_0, u_1, \dots, u_{m+2})^t, \quad F(t) = (\rho P_0 f, 0, \dots, M(t), 0)^t.$$

4. Исследуем свойства полученных операторных матриц.

**Лемма 1.** *Оператор A является ограниченным, самосопряженным и положительно определенным в пространстве  $H \wedge$ .*

*Доказательство:* Оператор A представим в матричной форме:

$$A\hat{u} = \begin{pmatrix} A_{00} & 0 & A_{02} \\ 0 & I & 0 \\ A_{02}^* & 0 & A_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_0 \\ \hat{u}_m \\ u_{\sigma} \end{pmatrix},$$

где

$$\hat{u} = (u_1, \dots, u_m)^t, \quad u_{\sigma} = (u_{m+1}, u_{m+2}),$$

$$A_{00} u_0 = \rho u_0, \quad A_{02} u_{m+1} = \rho P_0(u_{m+1} \times r),$$

$$A_{22} u_{\sigma} = \begin{pmatrix} J_1 u_{m+1} & 0 \\ 0 & m_0 g l u_{m+2} \end{pmatrix}.$$

Таким образом, оператор  $A$  можно представить в виде суммы:

$$A = \text{diag}(\rho I, \dots, I, J_1 I, m_0 g I I) + \begin{pmatrix} 0 & 0 & A_{02} \\ 0 & 0 & 0 \\ A_{02}^* & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Очевидно из представления (9), что оператор является положительным. Поскольку  $J_1 > 0$ , а также  $\rho > 0$ ,  $m_0 > 0$ ,  $g > 0$ , то диагональный оператор в (9) положительно определен. Второй оператор является конечномерным.

Таким образом, оператор  $A$  равен сумме положительно определенного и конечномерного, из чего можно сделать вывод, что оператор  $A$  положительно определен. (см. [1, стр. 198]).

Исходя из представления оператора  $A$  и свойств слагаемых заключаем, что оператор обладает свойством ограниченности.

Лемма доказана.

Рассмотрим теперь свойства оператора  $B$  и будем считать сначала, что

$$D(B) = \{\hat{u} : u_0 \in D(A_0)\}.$$

**Лемма 2. Оператор  $-B$  является диссипативным оператором.**

*Доказательство:* Представим оператор  $B$  в виде:

$$B\hat{u} = \begin{pmatrix} B_{00} & B_0 & B_{02} \\ -B_{01}^* & B_\gamma & 0 \\ 0 & 0 & B_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_0 \\ u_m \\ u_\sigma \end{pmatrix},$$

где

$$B_{00} = \mu A_0, B_\gamma = (\gamma_1 I, \dots, \gamma_m I),$$

$$B_{22} = \begin{pmatrix} \alpha I & m_0 g I I \\ -m_0 g I I & 0 \end{pmatrix}.$$

Тогда, исходя из представления оператора  $B$  легко видеть, что  $\text{Re} (B \bar{u}, \bar{u}) \geq 0$ ,  $\text{Re} (B^* \bar{u}, \bar{u}) \geq 0$ .

Лемма доказана.

Для однозначной разрешимости полученной задачи Коши необходимо замкнуть оператор  $B$ . Поскольку оператор  $B_{22}: C^2 \rightarrow C^2$  ограничен, то для замыкания оператора  $B$  необходимо замкнуть блок

$$\begin{pmatrix} B_{00} & B_{01} \\ -B_{01}^* & B_\gamma \end{pmatrix}.$$

Аналогичный оператор был рассмотрен в [4], где изучалась задача о малых движениях вязкоупругой жидкости в неподвижном сосуде. Опираясь на результаты этих исследований, приходим к выводу, что замыкание оператора  $B$  имеет вид:

$$B\hat{u} = \begin{pmatrix} A_0^{1/2}(\mu A^{1/2} u_0 + \mu^{1/2} \alpha_1^{1/2} u_1 + \dots + \mu^{1/2} \alpha_1^{1/2} u_m) \\ -\mu^{1/2} \alpha_1^{1/2} A_0^{1/2} u_0 + \gamma_1 u_1 \\ \dots \\ \alpha u_{m+1} + m_0 g l u_{m+2} \\ -m_0 g l u_{m+1} \end{pmatrix},$$

$$D(B) = \{(u_0, u_1, \dots, u_{m+1}, u_{m+2}) : u_0 \in D(A_0), \mu^{1/2} A_0^{1/2} u_0 + \mu^{1/2} \sum_{j=1}^m \alpha_j^{1/2} u_j \in D(A_0^{1/2})\}.$$

Иследуем свойства оператора  $\bar{B}$ .

**Лемма 3.** *Замыкание оператора  $B$  является максимально диссипативным оператором.*

Доказательство этой леммы аналогично доказательству Леммы 2.

**Лемма 4.** *Оператор  $-A^{-1} \bar{B}$  является максимальным диссипативным в пространстве  $\bar{H}_A$ .* *Доказательство:* Введем в пространстве  $\bar{H}$  новое скалярное произведение  $\langle \bar{u}, \bar{v} \rangle = (A \bar{u}, \bar{v})$ . Тогда  $\text{Re} \langle A^{-1} \bar{B} \bar{u}, \bar{u} \rangle = \text{Re} (\bar{B} \bar{u}, \bar{u}) \geq c \|\bar{u}\|^2$ .  $\text{Re} \langle (A^{-1} \bar{B})^* \bar{u}, \bar{u} \rangle = \text{Re} \langle \bar{u}, A^{-1} \bar{B} \bar{u} \rangle =$

$$\text{Re} \langle A^{-1} \bar{u}, \bar{B} \bar{u} \rangle = \text{Re} (\bar{u}, \bar{B} \bar{u}) = \text{Re} (\bar{B} \bar{u}, \bar{u}) \geq c \|\bar{u}\|^2.$$

Таким образом, оператор  $-A^{-1} \bar{B}$  является максимальным диссипативным. Лемма доказана.

Преобразуем уравнение (8), подействовав справа оператором  $A^{-1}$ :

$$\frac{d\hat{u}}{dt} + A^{-1} \bar{B} \hat{u} = A^{-1} F(t), \hat{u}(0) = \hat{u}^0. \quad (10)$$

Из леммы следует, что задача (10) является задачей Коши для дифференциального уравнения первого порядка с максимальным диссипативным оператором. Тогда задача (10) имеет единственное сильное решение, определяемое формулой

$$\hat{u}(t) = \Psi(t) \hat{u}^0 + \int_0^t \Psi(t-s) A^{-1} F(s) ds, \quad (11)$$

где  $\Psi(t)$  – сжимающая полугруппа, отвечающая оператору  $A^{-1} \bar{B}$ . Таким образом, мы пришли к теореме:

**Теорема 1.** *Если в задаче Коши (7)  $\bar{u}^0 \in D(A_0)$ ,  $\bar{f}(t)$  – непрерывно дифференцируемая функция в пространстве  $L_2(\Omega)$ , то задача Коши имеет единственное сильное решение.*

Возвращаясь к исходной задаче, получаем теорему:

**Теорема 2.** *Если  $\bar{u}^0 \in C^2(\Omega)$ ,  $\bar{f}$  – непрерывно дифференцируемая функция со значениями в  $L_2(\Omega)$ , то задача Коши имеет единственное сильное решение.*

Автор благодарит профессора Н.Д. Копачевского за постановку задачи, постоянное внимание и помощь в работе.

**Литература**

1. Копачевский Н.Д., Крейн С.Г., Нго Зуй Кан. Операторные методы в линейной гидродинамике. - М.: Наука, 1989.- 519 с.
2. Орлова Л.Д. Диссертация на соискание научной степени кандидата физ.-мат. Наук.- Симферополь. –1997.-138 с.
3. Kopachevsky N.D., Volodkovich E.D. Small oscillations of a plain pendulum with a cavity wholly filled with a viscous fluid.- Simferopol.- 1994.-250 с.
4. Азизов Т.Я., Копачевский Н.Д., Орлова Л.Д. Эволюционная и спектральная задачи, порожденные проблемой малых движений вязкоупругой жидкости.-СПб.- Труды СПб математического общества,- 1998 (в печати).

## **ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ЛИЧНОСТИ**

*Власенко Ю. А., аспирант*

Человек объективно выступает (и, следовательно, изучается) рядом наук в системе бесконечно многообразных противоречивых качеств. Важнейшее из них – быть субъектом, т.е. творцом своей истории, вершителем (подлинным автором) и преобразователем своего жизненного пути: инициировать и осуществлять изначально практическую деятельность, общение, поведение, познание, созерцание и другие виды специфически человеческой активности. Своими действиями и поступками человек как субъект целенаправленно изменяет внешний мир (природу, общество, культуру), а тем самым и свою жизнь.

Теоретико-методологическим фундаментом нашего исследования складывается из основных положений системно-динамического подхода к анализу жизни личности (Рубинштейн С.Л., Абульханова-Славская К.А., Анциферова Л.И., Костюк Г.С.), представлений о человеке как субъекте собственной жизнедеятельности (Узнадзе Д.Н., Брушлинский А.В., Татенко В.О. и др.) и как субъекте исторической активности (Роменец В.А.), результатов исследования человека со стороны «потенциала его бытия» (Манюха И.П.), представлений о роли самосубъектных отношений в процессе организации жизни личности (Калин В.К.).

Опираясь на тезис общей теории психического как процесса, систематически разработанной С.Л. Рубинштейном и его последователями, о том, что психика – прежде всего отражение наиболее изменчивых (динамических) существенных свойств и отношений внешнего мира, и поэтому сама является предельно подвижной, динамичной и лабильной, можно говорить об инновационном потенциале личности как о специфическом процессуальном феномене психики. Одна из главных трудностей при описании инновационного потенциала личности (ИПЛ) заключается в том, чтобы внутреннюю логику развития ИПЛ раскрыть в единстве с системой внешних условий и отношений (политических, социальных, культурных и т.д.), в которых он реализуется как целостная, целесообразным образом скоординированная система, в единстве его различных структурных компонентов и уровней (а соответственно и различных планов анализа).

Реализация системного подхода в описании этого взаимодействия предполагает:

1. Признание возможности целостного описания ИПЛ лишь в сочетании различных аспектов его анализа, как качественно самостоятельной целостности (системы), как элемента в системе взаимодействия человека с миром – с одноуровневыми объектами и в отношениях с системами более высокого уровня.
2. Понимание многомерности этого психологического образования и, соответственно, описание его с помощью разнообразных характеристик.
3. Рассмотрение уровневого строения ИПЛ.
4. Признание ИПЛ как системы разнопорядковых и неоднородных свойств, возникающих в силу множественности связей и отношений человека с ок-

ружающим миром.

5. Понимание системной детерминации ИПЛ как психологического явления, предполагающей множественность воздействий на него, многообразие источников и движущих сил его развития, т.е. выделение не только прямых причинно-следственных связей, но и опосредующих звеньев, их общих и специальных предпосылок, внешних и внутренних факторов при ведущей роли системообразующего фактора – имеющейся у личности ценностно-смысловой теории жизни.
6. Подчеркивание динамического характера ИПЛ, когда его целостность и дифференцированность возникают, формируются, разрушаются и воссоздаются в ходе индивидуального развития человека.

С целью экспериментального изучения ИПЛ нами был создан опросник, который получил название «Психологические особенности проявления инновационного потенциала личности». Конечный вариант опросника включает в себя 36 утверждений (по 18 прямых и обратных), позволяющий диагностировать инновационные потенциалы личности на разных уровнях взаимодействия ее с миром и типы осуществления этих потенциалов. Согласие с предложенными утверждениями испытуемым предлагается оценить по 5-бальной шкале.

Разработка осуществлялась в несколько этапов. На этапе формирования исходной информационной базы принципов перед нами стояли задачи определить методологические позиции исследования ИПЛ, структуру и статус ИПЛ в системе психологических понятий, осуществить поиск системы признаков, адекватно отражающих содержание данного понятия. Требования, которых мы придерживались в осуществлении этой работы: экономность и рациональность описания ИПЛ, четкое структурирование системы признаков.

На втором этапе экспериментального исследования ИПЛ была создана методика, которая проводилась в виде стандартизированного интервью параллельно с использованием опросника. Создание и использование этой методики преследовало следующие цели: эмпирически подтвердить наличие инновационных потенциалов на разных уровнях взаимодействия человека с миром; получить их первичную характеристику; выделить индикативный событийный ряд и соответствующий ему диапазон возможных переживаний для дальнейшей классификации возможных проявлений ИПЛ и модификации первоначального варианта опросника. Испытуемым предлагался ряд вопросов относительно когда-либо испытанного ими нового опыта, фона соответствующего этому опыту переживания, способа разрешения проблемной инновационной ситуации.

В качестве испытуемых выступали студенты 1-3 курсов дневного отделения факультетов психологии и физического воспитания (специальность – физическая реабилитация) СГУ (24 человека), студенты-заочники этих же факультетов, получающие второе высшее образование (32 человека), преподаватели учебных заведений г. Симферополя разных уровней аккредитации (27 человек), служащие госучреждений с высшим образованием (19 человек), безработные, зарегистрированные городской службой занятости (25 человек). Всего было опрошено 126 испытуемых.

Повторное исследование с помощью опросника проводилось через 6-7 недель.



Полученный тест-ретестовый коэффициент 0,83, что является достаточно высоким показателем и свидетельствует про достаточную надежность.

На основе протоколов бесед были выделены 3 группы по признаку выраженности у них инновационного потенциала: в явной, средней и слабой степени выраженности ИПЛ. Были отобраны утверждения относительно природы нового, характеристик инновационного опыта, выделенного испытуемыми ряда новых событий и соответствующих им переживаний, варианты которых наиболее часто встречались у представителей той или иной группы. Протоколы интервью обрабатывались в соответствии с принятыми в психолого-феноменологическом исследовании нормами.

Результаты исследования, полученные с помощью опросника, анализировались в нескольких направлениях (в соответствии с поставленными в ходе исследования задачами).

1 направление. Была поставлена задача проследить особенности функционирования ИПЛ и его структуры в зависимости от степени его представленности в системе взаимодействия человека с миром. Выборка была разделена на две группы по степени выраженности суммарного показателя ИПЛ, определенного в количественном плане суммированием его компонентов, без учета весовой нагрузки каждого.

2 направление. Была поставлена задача проследить возрастную динамику функциональной структуры ИПЛ в процессе жизни личности. Выборка была разделена на три возрастные группы. В первую вошли испытуемые в возрасте от 18 до 25 лет, во вторую и третью – в возрасте 25-40 и 41-60 соответственно.

Анализ полученных результатов свидетельствует, что выделенные группы имеют достаточно ярко выраженные особенности, т.е. разные способы инновационного взаимодействия с миром. Представители разных групп отличаются компонентной структурой ИПЛ, особенностями межструктурных связей. Так в группе с высоким ИПЛ четко прослеживается тенденция к интегрированности и внутренней согласованности в реализации инновационных потенциалов по адекватной оценке новых явлений, к осуществлению инновационной деятельности на разных уровнях инновационного взаимодействия человека с миром: с природой, с социумом, с культурой, по организации собственной жизни, что выражается в наличии статистически достоверных связей между этими компонентами на уровне 0,01. Выявленными в ходе исследования социально-психологическими механизмами реализации ИПЛ являются социальная установка (количество статистически достоверных связей – 4 на однопроцентном, 1 на пятипроцентном уровне достоверности), способность к обнаружению проблемной ситуации (4 однопроцентных и 2 – 5-и процентных связи), способность к формулированию задач по разрешению ПС (5 – однопроцентных и 1 пятипроцентная связь), способность к решению поставленных задач (3 – однопроцентных и 3 пятипроцентных связи).

Существует возрастная динамика функциональной структуры ИПЛ и психологических механизмов его реализации. Специфика этой динамики состоит в следующем:

Интегрированность ИПЛ, о которой мы судим по количеству корреляционных связей между его компонентами с возрастом уменьшается. Если рассматривать структуру ИПЛ в различных возрастных группах в связи с уровнем его развития

(высокий или низкий инновационный потенциал), то обнаруживается, что в группе с высоким уровнем сформированности ИПЛ его интегрированность выше, чем у испытуемых с низким уровнем. Эта тенденция прослеживается во всех возрастных группах. Продуктивным, на наш взгляд, является предположение, что развитие ИПЛ реализуется не через становление его внутрискруктурных новообразований, а через реализацию конкретно выбираемых личностью способов взаимодействия с миром, в укреплении связей инновационных потенциалов с психологическими механизмами их реализации. Такая гипотеза соответствует принципу иерархичности психических явлений – типы осуществления инновационных потенциалов субординированы, т.е. подчинены и управляются ИПЛ, включены в его структуру. ИПЛ опирается на них, но к ним не сводится.

Вышеизложенная гипотеза подтверждается проведенным анализом данных, полученных с помощью разработанных профессором Калиным В.К. опросников по изучению межличностных взаимодействий и самооценке организации собственной жизни.

У лиц с высоким и низким ИПЛ наблюдается различная картина в опоре на такие социально-психологические механизмы как СУ и СС. В группе с низким ИПЛ (независимо от возраста) между показателями социальной установки (СУ) и социального стереотипа (СС) существует статистически достоверная корреляция. Т.е. уровень их сформированности и опора на эти механизмы во взаимодействии с миром сходны. Это говорит, что ни один из этих механизмов не стал основным. В группах с высоким ИПЛ корреляции между СУ и СС нет, более того, показатель СС не коррелирует с показателями компонентов ИП. Т.е. в этой группе испытуемых нет опоры на социально-психологический механизм СС во взаимодействии человек-мир. Четко выделяется преобладающая роль механизма СУ. Показатель сформированности этого механизма имеет множественные корреляционные связи с показателями компонентов ИП. Особенно это выражено в группе молодых испытуемых (до 25 лет). С возрастом таких связей становится меньше. В старшей группе остается статистически достоверная корреляция между СУ и потенцией к осуществлению инновационной деятельности. Эти данные вероятно указывают на то, что в молодом возрасте широкое использование механизма социальной установки лежит в основе активного поиска эффективных способов взаимодействия с миром в самых различных сторонах жизни. А в старшей возрасте такой поиск уже завершен. И остается сформированной и активно используется связь СУ с инновационной деятельностью. В старшей возрастной группе испытуемые в инновационной ситуации опираются на те механизмы, которые уже закрепились в жизни.

Также, развитый ИПЛ показывает высокую корреляцию со способностью определить проблемную ситуацию, превратить ее в задачу и решить. Проблемность ситуации и бытия в целом объективно выступает как возможность открытия новых свойств объекта, создания новых способов деятельности, новых способов преобразования объекта и новых форм общения. Сам субъект выступает как потенциальная возможность нахождения новых способов соотношения с объектом в познании, деятельности, общении и как потенциальная возможность изменения самого себя.

В процессе взаимодействия с миром личность на разных этапах своего станов-

ления решает различные задачи разными по степени эффективности способами, которые закрепляются в форме специфических психологических механизмов, стратегий, обобщенных черт личности, характеризующих ее отношение к миру. На самом деле, взаимодействие человека с миром требует "подвижности", а не "фиксированности" психической деятельности. Проблема в реализации этого взаимодействия заключается в соотношении стереотипного и нового, в возникновении противоречий между готовностью и реальными условиями, открывающимися в процессе разрешения проблемы, в характеристике социальной установки как подвижного мобилизационного механизма реализации ИПЛ для решения возникающих противоречий и готовность к их ликвидации.

Анализ полученных с помощью кластерного анализа данных по разным возрастным выборкам демонстрирует следующую специфику в функционировании структуры ИПЛ и особенностях психологических механизмов, реализующих ИПЛ:

– в возрастной группе до 25 лет к ведущим компонентам, вносящим наибольший вклад в ИПЛ относятся: потенция к адекватной оценке нового явления, которая как правило носит позитивно-дифференцированный характер и потенция к осмысленно-интенсивному поиску новой информации. Проявление ИПЛ на уровне организации собственной жизни в большей степени детерминируется культурой, с которой взаимодействует молодой человек, несколько меньшее, но также значительное влияние оказывает социальное взаимодействие, сильна потенция к инновационному взаимодействию с природой как средой. В следующий по степени выраженности кластер вошли потенция к инновационной деятельности, имеющее преимущественно инициативно-преобразовательный характер, способности к обнаружению проблемной ситуации, формулировке и решению задач по ее разрешению, реализация которых происходит с преимущественной опорой на социальную установку и часто носит конфликтный характер. В отдельный, имеющий наименьшее влияние на успешную реализацию ИПЛ кластер входят: функционально-накопительский, негативно-генерализованный и вынужденно-приспособительский типы реализации инновационных потенциалов, связанные с социальными стереотипами, являющимися в неэффективными при инновационном взаимодействии человека с миром.

– в возрастной группе от 41 до 60 лет значение позитивно-дифференцированного отношения, оценки новых явлений и событий также существенно, но первоочередным уровнем реализации ИПЛ здесь выступает организация личностью собственной жизни.

Этот факт соответствует разработанной в 50-х годах Рубинштейном концепцию личности как субъекта жизни. Способность личности строить свои отношения с миром, выбирать жизненную позицию характеризует ее на высшем уровне ее развития. Личность в качестве субъекта организует и структурирует свою жизнь, регулирует ее ход, выбирает и осуществляет избранное направление.

Детерминирует реализацию ИПЛ на этом уровне осуществление инновационно-преобразовательной деятельности в обнаруженной проблемной ситуации, формулировка задач которой и их разрешение в данной возрастной группе менее затруднительно, чем в предыдущей. Следующим по степени проявления инноваци-

онных потенций уровнем является социальный. На этом уровне инновационные потенции реализуются с преимущественной опорой на социальные установки, оказавшиеся эффективными. Резервной зоной, в которой личность в зависимости от обстоятельств принимает решение или с помощью социальных стереотипов, или с помощью социальных установок, является уровень культурных взаимодействий. Способность к осмысленно-интенсивное восприятию новой информации ярче всего проявляется на уровне инновационного взаимодействия с природой. Наиболее конфликтным и неэффективным оказывается механизм взаимодействия с миром с помощью социальных стереотипов, связь которых с негативно-генерализованным и формально-накопительским типом осуществления инновационных потенций статистически прослеживается.

Проведенный анализ ИПЛ позволяет сделать следующие выводы.

Предмет исследования – ИПЛ – синтетичен по своей природе и онтологически содержателен. Поэтому определение его сущности включает:

1. раскрытие онтологических механизмов существования нового;
2. обоснование психологических способов реализации инновационных потенций;
3. описание социокультурной феноменологии проявления ИПЛ.
4. Как сущностная категория инновационный потенциал характеризует способность человека к осмысленному, дифференцированному восприятию инноваций в образе мира, с которым он взаимодействует. Как динамическая характеристика инновационный потенциал отражает генерализированное свойство личности осуществлять активно-преобразовательный способ взаимодействия с миром, определяя перспективу отношения человека к миру и самому себе.
5. Системное изучение реализации ИПЛ (актуализации инновационных потенций) требует рассмотрения сложного, разнообразного по степени успешности процесса инновационного взаимодействия человека с миром.
6. Процесс реализации ИПЛ можно представить как единство трех актуализируемых личностью в процессе взаимодействия с миром потенций – потенции к обнаружению новой информации, потенции к адекватной оценке нового явления, потенции к инновационной деятельности, на разных уровнях этого взаимодействия – с природой как средой, с социумом, в рамках культуры и в организации человеком собственной жизни.
7. Степень реализации в конкретной инновационной ситуации той или иной актуализируемой потенции и ее вклад в общий интегративный показатель ИПЛ могут быть различными.
8. Можно выделить следующие пары типов актуализации инновационных потенций: осмысленно-интенсивный – формально-накопительский, позитивно-дифференцированный – негативно-генерализованный, инициативно-преобразовательский – вынужденно-приспособительский. Соотношения ведущих типов актуализации инновационных потенций могут стать основанием для выделения типов интегративного показателя ИПЛ.

## СООТНОШЕНИЕ ВРЕМЕНИ РЕАКЦИИ С НЕЙРОДИНАМИЧЕСКИМИ И ИНДИВИДУЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ ЛИЧНОСТИ

*Конарева И. Н., Павленко В. Б., кандидат биологических наук, доцент*

Анализ временных параметров сенсомоторных реакций часто используется в практической психофизиологии и в построении теоретических моделей. Время реакции (ВР) представляет собой гетерогенную сумму длительности различных психофизиологических процессов, связанных как с восприятием сенсорной информации, так и с организацией ответной реакции. Физиолог З.Экснер, впервые употребивший выражение “время реакции” определил его как “время, необходимое для того, чтобы сознательным образом отвечать на какое-нибудь впечатление” [1].

Различные характеристики двигательных реакций используются в основном в двух направлениях. Во-первых, для оценки функционального состояния организма при целенаправленном поведении в условиях различной степени вероятности воздействия среды; во-вторых, для определения признаков индивидуальности, для возможности предсказания индивидуального поведения человека в экстремальной ситуации, успешности обучения и прогнозирования приобретения профессиональных навыков, для оценки типологических особенностей высшей нервной деятельности (ВНД) человека.

В работах первого направления латентный период рассматривается как результирующий показатель сразу нескольких основных свойств нервной системы, обеспечивающий выполнение данного двигательного акта, что не дает оснований считать его показателем отдельных (например, подвижности нервных процессов) типологических особенностей ВНД. Так, не обнаружено различий ВР у флегматиков и сангвиников [2]. В связи с этим некоторые авторы отмечают, что величина латентного периода простой двигательной реакции является показателем текущего функционального состояния организма и служит объективным критерием его оценки [2, 3].

Наиболее противоречивыми являются данные, полученные в работах второго направления. Ряд авторов считают, что латентный период простой реакции детерминирован врожденными особенностями ВНД и поэтому может служить индикатором свойств основных нервных процессов [4]. Например, В.К.Козлов испытуемых со ВР менее 0,20 с условно относил к подвижному типу, свыше 0,20 с – к инертному [2].

На величину ВР влияет сила раздражителей, величина интервала между ними, степень готовности испытуемого к восприятию раздражителя, тренированность [2], различные фармакологические и отравляющие вещества, кислородное голодание, утомление [1].

В ряде работ учитывались не значения скрытого периода, а степень его устойчивости или изменений в различных тестах, что позволяет использовать его в качестве показателя наличия двигательного стереотипа и его переделки.

В последнее время накоплен фактический материал, позволяющий оценить влияние генотипических и средовых факторов на показатели ВР. Авторы, изучающие зависимость ВР от свойств личности, затрагивают в основном ее психобиоло-

гическую основу (свойства нервных процессов, темперамент, нарушения нервной системы). Мы же в своем исследовании поставили цель выявить зависимость между ВР и социально-психологическими особенностями человека, опосредованными средой и культурой, а также рассмотреть зависимость ВР от нейродинамических особенностей личности, проявляющихся в паттерне т.н. когнитивных вызванных потенциалов.

Одним из таких потенциалов является условная негативная волна (УНВ). УНВ – это электрокорковый феномен, отражающий процессы подготовки к выполнению движения. УНВ описан многими авторами как показатель различных психических состояний и процессов: эмоций, решения задач, ожидания, внимания [5]. На характеристики УНВ влияют и временные параметры двигательных реакций человека. Так, в условии пассивного восприятия, когда испытуемый не должен был отвечать никакой двигательной реакцией, амплитуда УНВ резко снижалась [6]. В экспериментальной ситуации, когда поощрялась скорость реакции (моторная установка), сокращалось ВР и амплитуда УНВ росла [7].

Для достижения поставленной цели в работе решали следующие задачи: измерение ВР и его дисперсии, регистрация УНВ, проведение психологического тестирования и выявление корреляций между ВР, дисперсией, УНВ и особенностями личности.

#### **Методика.**

В исследовании приняло участие 75 человек в возрасте 19-35 лет, обоего пола, правшей. Отведение и анализ ВП осуществлялись с помощью автоматизированного комплекса, состоящего из энцефалографа EEG-16S и компьютера IBM PC/AT. Для записи ВП использовали электроды С3 и С4 (левый и правый центральный) по системе 10-20, индифферентные электроды размещали на мастоиде. Усилители биоэлектрической активности имели постоянную времени 10 с и ограничение полосы пропускания – 30 Гц. Рабочая программа ERP (программист Сухинин А.В.), практически совпадающая с классической УНВ-парадигмой, требовала от испытуемого моторной реакции с максимально возможной скоростью после второго в паре стимула.

Звуковые сигналы, на которые реагировали испытуемые, подавали через динамики. В качестве первого (предупреждающего) стимула использовали тональную посылку с частотой заполнения 2000 Гц и длительностью 100 мс. Второй (императивный) стимул был представлен посылкой с частотой 1000 Гц и прерывался нажатием на кнопку. Пары сигналов подавали с интервалом 5-15 с. Вероятность предъявления императивного сигнала составляла 0,7.

Испытуемый находился в удобном кресле в затемненной камере. Через 1 с после предъявления императивного стимула на специальном светодиодном табло появлялся сигнал обратной связи. Он был представлен вертикальной чертой, если испытуемый уложился в промежуток стандартного ВР (меньше 180 мс), горизонтальной – если его ВР было больше этой величины. Табло, с помощью которого предъявляли сигнал обратной связи, находилось на уровне глаз на расстоянии 1,5 м.

В эксперименте регистрировали ВР и его дисперсию (разброс единичных реализаций ВР для каждого испытуемого), амплитуду УНВ. Психологическое тестиро-

вание включало применение опросника темперамента Стреляу, теста Айзенка, опросника структуры темперамента (ОСТ) Русалова, опросника Кеттела 16 PF. Для анализа взаимозависимости ВР, УНВ и психологических особенностей личности испытуемых использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

**Результаты и обсуждение.**

Для всех испытуемых, а также отдельно для выборки женщин и мужчин, были подсчитаны средние значения ВР и дисперсии (табл. 1).

Таблица 1. Средние значения ВР(мс), дисперсии (Д) и амплитуды УНВ (мкВ).

	Количество испытуемых	Средние значения	Миним. значения	Максим. значения	Стандартная ошибка среднего
ВР	75	209,8	147,7	458,4	6,8
Д		2370,1	189,8	7408,4	207,0
ВР	55	216,1	149,6	458,4	8,8
Д	женщин	2611,8	272,0	7408,4	260,9
ВР	20	193,8	147,7	294,3	7,9
Д	мужчин	1772,1	189,8	4032,7	282,1
УНВ левого полушария	75	-6,7	-18,8	7,4	0,7
УНВ правого полушария	75	-5,8	-16,3	5,0	0,6

ВР в группе составило  $209,8 \pm 6,8$  мс (среднее значение  $\pm$  ошибка среднего), дисперсия  $2370,1 \pm 207,0$  мс. Распределение ВР в группе испытуемых представлено на гистограмме (рис. 1, Б). Многие авторы отмечают факт более замедленного ВР женщин по сравнению с мужчинами [1] и в нашем исследовании среднее ВР женщин составило  $216,1 \pm 8,8$  мс, мужчин  $193,8 \pm 7,9$  мс.

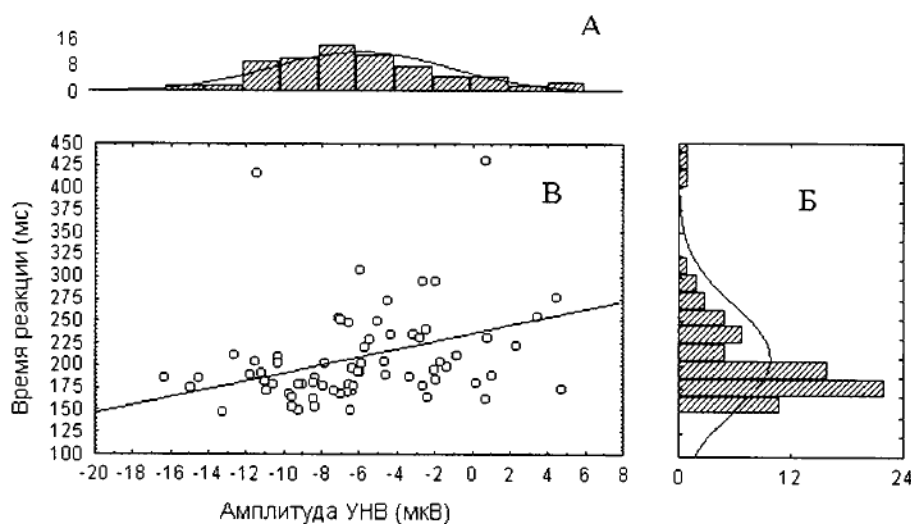


Рис.1. Распределение показателей амплитуд УНВ (А), времени реакции (Б), и их соотношение (В) у 75 испытуемых.

Обнаружено преобладание выраженности УНВ в левом полушарии (коэффициент Вилкоксона  $Z=2,7$  при  $p=0,006$ ). Ее амплитуда составила  $-6,7 \pm 0,7$  мкВ против  $5,8 \pm 0,6$  мкВ в правом полушарии.

Время реакции было тесно связано с УНВ, предшествующей движению (Рис. 1. В). Выявлена отрицательная корреляция между величиной ее амплитуды и временем реакции (величина коэффициента корреляции для левого и правого полушария составила соответственно  $r=0,29$  при  $p=0,012$  и  $r=0,39$  при  $p=0,001$ ). Таким образом, чем более выражена у данного испытуемого УНВ, тем быстрее он выполняет задание. Наши данные согласуются с результатами других исследователей, показавших, что самому быстрому движению у отдельного испытуемого предшествует наиболее негативная УНВ [8, 9].

Для выявления связей между ВР, дисперсией и результатами психологического тестирования был произведен анализ по коэффициенту ранговой корреляции Спирмена. Значимые коэффициенты корреляции представлены в таблице 2. Полученная отрицательная корреляция ВР ( $r=-0,27$  при  $p=0,017$ ) и дисперсии ( $r=-0,34$  при  $p=0,005$ ) со шкалой сила возбуждения нервных процессов опросника Стреляу подтверждает тезис о том, что “скрытый период, т.е. время, протекающее от подачи раздражения до начала ответной реакции, может быть принято в качестве меры или показателя возбудимости действующих нервных путей” [1, С. 369]. Нарастание стойкости корковых очагов возбуждения, т.е. упрочение условных связей, ведет к уменьшению ВР.

Взаимосвязь величины дисперсии ВР ( $r=-0,36$  при  $p=0,003$ ) и силы торможения опросника Стреляу показывает влияние на возбудимость нервных путей следовых процессов, остаточного возбуждения или торможения, с которыми встречается всякий новый импульс, поступающий в данную функциональную систему.

Установлена положительная корреляция дисперсии ( $r=0,25$  при  $p=0,044$ ) со шкалой нейротизма опросника Айзенка. Высокие значения по этой шкале характеризуют человека как напряженного, тревожного, ригидного, со сверхчувствительными реакциями. А так как эмоциональное состояние человека включает в себя комплекс психофизиологических характеристик, которые отражаются как субъективными – результаты самооценки, данные психологических тестов, так и объективными – вегетативными и электрофизиологическими показателями, то это нашло отражение и в таких параметрах деятельности как ВР. ВР связано и с осуществлением сложной корковой деятельности. В течение примерно  $1/7$  секунды от момента подачи раздражителя до ответа движением должны развернуться многие процессы: проведение возбуждения, принятие решения, организация и передача команды в моторную кору и т.д. По-видимому, у лиц с высоким нейротизмом эта когнитивная деятельность затруднена в силу физиологических причин. Известно, что всякий новый раздражитель сначала вызывает более или менее обширную и длительную иррадиацию возбудительного процесса по коре полушарий, которое сменяется затем фазой концентрирования.



Таблица 2.

Коэффициенты корреляций времени реакции, дисперсии и показателей психологического тестирования.

Шкалы тестов	ВР	Дисперсия ВР
сила возбуждения нервных процессов (по Стреляу)	-0,27 p=0,017	-0,34 p=0,005
сила торможения нервных процессов (по Стреляу)		-0,36 p=0,003
нейротизм (по Айзенку)		0,25 p=0,044
фактор Н (по Кеттелу) “робкий-смелый”	-0,22 p=0,057	
фактор Q1 (по Кеттелу) “ригидный-гибкий”	-0,24 p=0,039	

Взаимосвязь ВР с интеллектуальными особенностями личности прослеживается в установленной отрицательной корреляции ВР ( $r=-0,241$  при  $p=0,039$ ) с фактором Q1 опросника Кеттела (ригидность – гибкость). Человек с большим ВР имеет низкие оценки по данному фактору и характеризуется консервативностью, устойчивостью к традиционным представлениям, с сомнением относится к новым идеям, противится переменам и не интересуется интеллектуальными соображениями. Человек с меньшим ВР имеет высокие оценки по фактору – это человек экспериментирующий, аналитически мыслящий, спокойно воспринимающий перемены и новые взгляды.

Отрицательно коррелирует ВР ( $r=-0,22$  при  $p=0,057$ ) с фактором Н опросника Кеттела (робкий – смелый), относящимся к блоку факторов “коммуникативные свойства и особенности межличностного взаимодействия человека”. Увеличению ВР соответствуют низкие показатели по фактору, характеризующие человека как застенчивого, неуверенного в своих силах, социально робкого. Уменьшению ВР – высокие показатели по фактору (склонность человека к риску, коммуникативность). Таким образом, по величине ВР можно охарактеризовать человека; в определенной степени предсказать не только его психобиологические, но и психосоциальные особенности.

Подводя итоги исследования, можно сказать, что величина и стабильность ВР связана не только со свойствами нервных процессов, но и с когнитивными и психосоциальными особенностями личности.

**Литература**

1. Бойко Е.И. Время реакции человека. – М.: Изд-во “Медицина”, 1964. – 440 с.
2. Макаренко Н.В. Психофизиологические функции человека и операторский труд. – К.: Наукова Думка, 1991. – 216 с.
3. Лоскутова Т.Д. Оценка функционального состояния центральной нервной системы человека по параметрам простой двигательной реакции. //Физиологический журнал СССР. – 1975. – Т. 51. – № 1. – С. 3-11.
4. Заглядский В.П., Сулимо-Самуйло З.К. Методы исследования в физиологии труда. – Л.: Изд-во Наука, 1976. – 95 с.
5. Шагас Ч. Вызванные потенциалы в норме и патологии. – М.: Изд-во "Мир", 1975. – 314 с.
6. Суворов Н.Ф., Таиров О.П. Психофизиологические механизмы избирательного внимания. – Л.: Изд-во Наука, 1985. – 287 с.
7. Loveless N. E., Sanford A. J. The CNV baseline: considerations of interval consistency of data. //EEG and Clin. Neurophysiol. – 1973. – v. 33. – P. 19.
8. Rockstron B., Elbert T., Lutzenberger W., Birbaumer N. The effects of slow cortical potentials on response speed. //Psychophysiology. – 1982. – v.19. – P. 211-217.
9. Birbaumer N., Elbert T., Canavan A., Rockstron B. Slow potentials of the cerebral cortex and behavior. //Physiological reviews. – 1990. – v.70. – No.1. – P. 1-41.

## КУЛЬТУРНЫЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ МЕЖЭТНИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ

*Коростелина К. В., доцент кафедры психологии, кандидат психологических наук*

Вопрос, почему у любого индивидуума развивается "культурное поведение", является одним из важнейших в этнопсихологии. Анализ культурных детерминант позволит выявить не только динамику поведения в рамках одной культуры, но и решить проблему кросс-культурных отношений.

Можно выделить десять особенностей, которыми культуры отличаются друг от друга: национальный характер / основная индивидуальность, восприятие, концепции времени, концепции пространства, мышление, язык, невербальная коммуникация, ценности, поведения и социальные группы и отношения.

Каждая из этих особенностей связана с другими и влияет на них. Каждое изменение отдельной особенности может привести к изменениям в других.

Наиболее объемлющим из всех социокультурных измерений является измерение коллективизм-индивидуализм. Обычно его связывают с дихотомией Запад-Восток. Триандис (1998) назвал такие типы культуры аллоцентрической и идиоцентрической. Демографические показатели, особенно социальные классы оказывают большое влияние на эту размерность. Как показали исследования, у поляков с высшим образованием более выражен индивидуализм, чем у их соотечественников со средним; у горожан больше, чем у проживающих в деревнях; у мужчин больше, чем у женщин; у молодежи больше, чем у лиц пожилого возраста (Daab, 1991). Норикс (Noricks, 1987) показал, что американцы старше 56 склонны ориентироваться на социальный контекст и других людей при принятии решения. Люди, живущие в других странах, обучающиеся в зарубежных Вузах так же могут изменять свои установки. Так, японец, проживший несколько лет в США и закончивший Гарвард, будет более индивидуалистичен, чем японцы, не выезжавшие за пределы Японии.

Было выделено две разновидности этой размерности: горизонтальная и вертикальная. (Singelis, 1994). Горизонтальный коллективизм характеризуется оценкой себя как части коллектива, при этом все члены коллектива оцениваются как равные. Вертикальный коллективизм так же характеризуется включением себя в коллектив, однако равенство между людьми отрицается. Горизонтальный индивидуализм объединяет концепцию автономности индивида и равенства людей. Вертикальный индивидуализм включает концепцию автономности индивида и отрицает равные права и возможности людей.

Индивидуализм – коллективизм включает так же другие параметры. Например Т. Парсонс выделил параметр, характеризующийся “само-ориентированным поведением, направленным на “преследование личных интересов” и “коллективно-ориентированным” поведением, направленным на “общие интересы коллектива” (Parsons, 1951). Другой параметр – “избегание неопределенности” был выделен Дж. Хофстедом. Как показали исследования, в культурах с высоким уровнем избегания неопределенности сильна тенденция к групповому согласию и ниже уровень толерантности по отношению к чужому.

Исследования показывают различное отношение представителей коллективистских культур к членам своей и чужой групп. В коллективистских культурах существует внутреннее противоречие между декларируемыми нормами и их реальным воплощением в действиях. Представители таких культур должны бы реализовывать в групповом контексте групповые нормы коллективного внутрикультурного взаимо-

действия. Но, с другой стороны, высокая степень дифференциации между “своими” и “чужими” приводит к дифференциации поведения- внутригруппового, внутриэтнического, традиционного, и особого внешнего по отношению к другим этносам. Так, Г. Триандис и В. Василиу показали, что греки, характеризующиеся внутригрупповой близостью, проявили больше подозрительности к представителям других групп (Triandis, Vassiliou, 1967). В индивидуалистических культурах члены одинаково относятся к представителям своей и чужой культуры.

Еще одним параметром является дистанция по отношению к власти. Высокая дистанция по отношению к власти свойственна культурам, где власть воспринимается как особая, базовая часть общества, имеющая принудительный характер и отдаленная от народа. Экспериментальные данные показали, что самая высокая дистанция с властью соответствует высоким показателям коллективизма. (Hofstede, 1983). Ценностями являются послушание, конформизм, авторитарность, жесткое руководство, используется насилие и подавление.

Г. У. Солдатова, разработав методику определения размерности индивидуализм- коллективизм, провела исследование среди населения титульных республик: в Осетии, Татарстане, Туве и Якутии. Она выделила четыре параметра: ориентация на себя – на группу, направленность на взаимодействие, отношение к переменам и социальный контроль.

Проведенные нами пилотажные исследования стереотипов, моделей ситуаций, потребностно-мотивационной сферы позволили сделать предположение о существовании еще одной культурной размерности. У славян межличностные отношения опосредованы деятельностью, ее условия и закономерности являются определяющими в отношениях между людьми. У крымских татар межличностные отношения являются ведущими по отношению к деятельности. Мы назвали эту размерность вектором опосредования. Различие в векторах опосредования приводит к непониманию между представителями данных этносов и осложнениям в межэтнических отношениях.

Исследования подтвердили наше предположение.

1. Действительно, рассказы крымских татар об этнических конфликтах касаются только ситуаций межличностного общения, когда как славяне описывают ситуации, связанные непосредственно с деятельностью и деятельностными качествами крымских татар.

2. Славяне часто описывают крымских татар как инициаторов взаимодействия, которое проявляется “некстати” без связи с деятельностью и это раздражает славян. Крымские татары, ориентированные на отношения, не соотносят свои обращения с выполняемой в данный момент деятельностью. Фиксированность крымских татар на отношениях воспринимается славянами как навязчивость, хитрость, угодничество.

3. Славяне больше описывают социальных действий и практически не используют описания эмоциональных состояний татар, не фиксируя на них внимания. Крымские татары в своих рассказах упоминают большое количество эмоциональных состояний славян, а основной категорией социального действия славян для них является категория “мнение”.

4. Результаты исследования реакций на фрустрацию с помощью теста Розенцвейга показывают, что наиболее часто встречающимися у славянских мужчин является интропунитивная разрешающая и импунитивная самозащитная реакции.

Женщинам славянкам наиболее свойственны интропунитивная разрешающая и защитная реакции. В целом славянам, в отличие от крымских татар, свойственны разрешающие реакции, что подтверждает свойственное им деятельностное опосредование межличностными отношениями.

5. Исследование, проведенное с помощью “Теста руки” показало, что у славян наиболее часто встречающимися оказались описания, связанные с деятельностью. Только у женщин они разделили первое место с актами коммуникации. Еще раз подтверждается деятельностное опосредование межличностных отношений. У крымских татар наиболее часто встречаются действия, связанные с коммуникацией и указаниями. Предположение, что у крымских татар межличностные отношения опосредуют деятельность, подтвердилось.

Мы провели исследование выраженности культурных размерностей среди крымских татар и славян. Было опрошено 239 испытуемых, из них 143 славянина и 96 крымских татар в возрасте от 19 до 46 лет с разным уровнем образования. Исследования проводились с помощью методики “Культурно- ценностный дифференциал” Г.У. Солдатовой, методики SINDCOL (субъективный коллективизм и индивидуализм) Триандиса и созданной нами методики для определения вектора опосредованности. Методика Триандиса в настоящий момент проходит заключительную стадию адаптации.

И/ Методика Культурно-ценностный дифференциал включает 4 шкалы:

1. ориентация на группу(1А)- ориентация на себя (1Б)
2. открытость переменам(2А) -сопротивление переменам(2Б)
3. направленность на взаимодействие(3А) – отвержение взаимодействия(3Б)
4. сильный социальный контроль(4А)- слабый социальный контроль(4Б)

Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Выраженность параметров индивидуализма-коллективизма в %

этнос	Объект оценивания	1А	1Б	2А	2Б	3А	3Б	4А	4Б
славяне	славяне	62	38	58	42	79	21	43	57
	крымские татары	81	19	49	51	40	60	44	56
	я	66	34	65	35	90	10	54	46
крымские татары	славяне	8	92	100	0	74	26	25	75
	крымские татары	100	0	8	92	41	59	55	45
	я	56	44	75	25	81	19	44	56

Славяне себя и свой этнос оценивают как ориентированных на группу, однако признают, что такая ориентированность сильнее выражена у крымских татар. Крымские татары безоговорочно признают ориентированность своего народа на группу, однако считают славян индивидуалистами. Интересно, что при оценке крымскими татарами себя тенденция ориентированности на группу уменьшается. Это требует дальнейшего уточнения.

У славян оценка открытости переменам не показывает значимых различий, хотя наблюдается некоторая тенденция приписывать своему этносу и себе (в большей степени) открытость переменам. Крымские татары однозначно считают славян открытыми переменам, а себя- ориентированными на прошлое и традиции.

Славяне считают свой народ направленным на взаимодействие, в отличие от крымских татар. Себе они приписывают высокую направленность на взаимодейст-

вие. Интересно, что крымские татары согласны в этом со славянами (их оценки почти совпадают), однако лично себя оценивают как направленных на взаимодействие.

Славяне считают, что направленность на сильный социальный контроль не свойственна обоим этносам, однако себя оценивают как людей законопослушных. Крымские татары оценивают славян как гораздо более своевольных, анархичных и не доверяющих власти, чем этнос крымских татар, однако свое поведение соотносят скорее с поведением славян.

В целом, славяне приписывают своему этносу высокую выраженность параметров: ориентация на группу и направленность на взаимодействие, а так же низкую выраженность параметров: открытость переменам и слабый социальный контроль. Себя лично славяне оценивают как более выраженных коллективистов: кроме индивидуалистической направленности на перемены и на взаимодействие, по всем остальным параметрам получены более высокие коллективистские оценки, чем при оценке своего этноса. Крымские татары оценивают славян как высоко индивидуалистичную культуру.

В целом, крымские татары оценивают свою культуру как коллективистскую. Славяне приписывают крымским татарам высокую ориентированность на группу, закрытость переменам и, в тоже время, низкие оценки по параметрам направленности на взаимодействие и социальному контролю. Здесь подтверждаются выводы Триандиса (см. выше) о том, что высокая ориентированность на группу ведет к уменьшению направленности на взаимодействие с другими этносами.

Направленность на взаимодействие оказывается характеристикой не аллоцентристской, а идиоцентристской культуры, так как высокая ориентированность на группу и закрытость переменам приводят к более высокой агрессивности, закрытости по отношению к представителям других этносов.

Результаты, полученные с помощью методика определения субъективного индивидуализма- коллективизма Г. Триандиса показали следующее:

Славяне: индивидуализм: 55%	Крымские татары: индивидуализм : 28%
Коллективизм : 45%	Коллективизм : 72%

Данные в целом подтверждают полученные выше результаты по оценкам этносов.

Результаты диагностики размерности “вектор опосредования” показали, что у славян, как и предполагалось, выявилось преобладание размерности “деятельностной детерминации межличностных отношений” (69%). У крымских татар по предварительным данным резко преобладает детерминированность деятельности межличностными отношениями.

Корреляционный анализ методики SINDCOL и “вектора детерминированности” показывает отсутствие связи между этими двумя размерностями. ( $r = 0,19$ ). Поэтому можно сделать предварительный вывод о том, что вектор детерминированности является социокультурной размерностью наряду с индивидуализмом-коллективизмом. Однако необходим так же подсчет коэффициентов сопряженности и связанности.

Выводы: Оценка коллективизма-индивидуализма может проводиться только при сравнении двух взаимодействующих этносов, нет смысла оценивать эту размерность безотносительно к системе межэтнических отношений. Аллоцентристская (по результатам многих исследований) культура славян оценивается как идиоцентристская более алоцентристски ориентированными крымскими татарами. Эти культурные различия отражаются, например, в процессах стереотипизации. Так,

славяне, с более высоким идиоцентризмом, не принимают и не понимают коллективистской направленности крымских татар и считают их хитрыми и лицемерными, а крымские татары оценивают славян как пренебрежительных и жадных.

Большая направленность славян на взаимодействие выражается в положительной окраске гетеростереотипов, наличии положительных оценок крымских татар в рассказах об этнических встречах и т.д. Обратная тенденция наблюдается у крымских татар.

Различие в аллоцентристской и идиоцентристской ориентации проявляются и в различиях в оценке этнической аффилиции. Большинство славян (56%) показали высокие антиаффилятивные тенденции, т. е. у них низко выражена потребность в этнической принадлежности и они не склонны следовать правилам, нормам и целям своей этнической группы. У крымских татар мы наблюдаем обратную картину: этноаффилятивные тенденции наблюдаются у 69% испытуемых. Ориентация на группу у крымских татар определяет и преобладание у них потребности в семейной идентичности, тогда как у славян среди категории идентичности преобладает профессия. У славян гораздо ниже тенденции к оценке превосходства своей этнической группы, делению на своих и чужих, нежеланию вступать во взаимодействия с другими этносами, чем у крымских татар (8% и 28% соответственно), и выше этническая индифферентность (44% и 21% соответственно), что определяется меньшей ориентированностью на группу у славян и их высокой направленностью на взаимодействие.

Культурная размерность “вектор опосредования” так же отличается у представителей крымско-татарского и славянского этносов и влияет на межэтнические отношения.

#### Литература

1. Солдатова Г.У Психология межэтнической напряженности. М, 1998
2. Berry J.W., Poortinga Y. H., Segall M.H., Dazen P.R. Cross-cultural psychology: Research and applications Cambridge, 1992
3. Bochner S. The social psychology of cross-cultural relations \ Culture in contact. Oxford, 1982
4. Brislin R.W., Cushner K., Cherrie C., Yong M. Intercultural interactions: A practical guide. Beverly Hills, 1986
5. Diggs N., Nurphy B/ Japanese adjustment to american communities: The case of Japanese in the Dayton area \ Inter.J. Intercultural Relations, 1991. Vol.15
6. Furnham A., Bochner S. Culture shock: Psychological reactions to unfamiliar environments. L., 1986.
7. Kim Y.Y. Communication and cross- cultural adaptation. Philadelphia, 1988.
8. Kohls L.R. Four traditional approaches to developing cross-cultural preparedness in adults. \ Inter.J. Intercultural Relations, 1987. Vol 11
9. Oberg K. Cultural shock: Adjustment to new cultural environments. Practical Anthropology. 1960. Vol.7
10. Taft R. The psychological adaptation of Soviet immigrants in Australia. \ Cross- cultural adaptation : Current approaches. Newbury Park, 1987.
11. Triandis H.C. Cultural training, cognitive complexity and interpersonal attitudes \ Cross- cultural perspectives on learning. N.Y., 1975.
12. Triandis H.C. Interpersonal Behavior. Monterey, 1977.

Исследования выполнены в рамках конкурса индивидуальных проектов фонда К. и Д. Макаруров.

## **КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЙ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ**

*Петрасик Л. А., Радомский политехнический университет,  
Симферопольский государственный университет*

Одно из фундаментальных положений биологии характеризует корреляционные взаимосвязи между функциями и структурами организма как общую закономерность живых систем разной степени сложности. Еще в работах Ж.Б.Ламарка [1] нашла свое выражение идея взаимосвязи, существующей между органами и их деятельностью. Дальнейшее развитие биологии и, особенно, эволюционной биологии характеризовалось признанием исключительной роли корреляционных взаимосвязей в жизнедеятельности организмов и прогрессивном развитии жизни [2]. Выяснение того, что «более тесная связь между морфогенетическими процессами становится в процессе эволюции условием для нормального течения всего онтогенеза»<sup>1</sup>, казалось бы, должно было стать ведущим положением в целом комплексе наук, изучающих организм человека в условиях нормы и патологии. К сожалению, это не произошло, и идея корреляционных взаимосвязей, разработанная в биологии, не получила должного развития даже в физиологии человека и, особенно, там, где учение о корреляциях могло бы прояснить многие процессы жизнедеятельности организма – в физиологии мышечной деятельности, труда и спорта. Если учесть, что во всех этих разделах физиологии основным механизмом функциональных изменений являются моторно-висцеральные рефлексы, отражающие причинно-следственные отношения между двигательной деятельностью и многообразными изменениями функций, т.е., по существу, корреляционные взаимосвязи организма, то такой подход представляется не только оправданным, но и перспективным.

Задачей наших исследований было изучение корреляционных взаимосвязей реализующихся «внутри» самой основы мышечной деятельности человека – двигательного акта – в процессе утомления. Мы стремились нашими исследованиями ответить на вопрос: существуют ли в самой двигательной активности человека взаимосвязи между отдельными ее параметрами? Иначе говоря, представляет ли собой мышечная деятельность определенную функциональную систему, или же быть может, являясь фактором своеобразной дестабилизации функций, она представляет собой влияние, лишь нарушающее гомеостаз и, вследствие этого, не является определенной системой взаимосвязанных функций? Последнее предположение является вполне возможным, если учесть, что физическая нагрузка, особенно интенсивная, представляет собой «значительное физико-химическое потрясение в организме» [3], в процессе которого многие параметры состояния мышц и внутренней среды существенно и по-разному отклоняются от состояния гомеостаза, а некоторые, – например, частота сердечных сокращений и показатели газообмена – даже «зашкаливают», проявляясь в нарушении соответствия между величиной и длительностью восстановления реакции сердца [4-6] и формировании кислородного долга [7].

<sup>1</sup> И.И.Шмальгаузен. Пути и закономерности эволюционного процесса. Избранные труды. М.: Наука, 1983. - С. 52.



Мышечная деятельность в процессе выполнения физических нагрузок регистрировалась при помощи кистевого эргографа конструкции И.В.Муравова и сотр. [8]. Изучались следующие показатели, характеризующие динамику изменений двигательной функции: общая величина произведенной работы (в кгм), выраженность (в процентах от исходной величины эргографических сокращений) и длительность (в секундах работы) периода вработывания, относительная длительность периода стабильной работоспособности по отношению ко всему периоду работы в процентах, сопротивляемость утомлению (в процентах отношения величины последних сокращений эргографической кривой к величине наибольших сокращений) и восстанавливающее действие отдыха, оцениваемое соотношением работы, выполненной после одностороннего перерыва к исходной работе, выполнявшейся до утомления, в процентах. Показатели двигательной функции регистрировались в первой из эргографических кривых. Использовалась работа в трех вариантах интенсивности нагрузок: малой, средней и большой интенсивности. Дозировка интенсивности нагрузок производилась по соотношению величины поднимаемого груза к показателю динамометрии работающей руки; при малой интенсивности величина груза составляла 1/12, при средней – 1/8 и при большой – 1/6 показателя динамометрии. Исследования проведены на 18 практически здоровых и нетренированных мужчинах в возрасте 20-24 лет.

Таблица 1

**Основные параметры мышечной работоспособности при выполнении физических нагрузок разной интенсивности,  $M \pm m$**

Интенсивность работы	Величина работы, кгм	Вработывание		Период стабильной работы, %	Сопротивляемость утомлению, %	Восстанавливающее действие отдыха, %	
		выраженность, %	длительность, с				
Малая (А)	84,5 ± 4,2	9,2 ± 0,8	4,1 ± 0,3	84,2 ± 9,3	60,8 ± 5,4	42,7 ± 1,3	
Средняя (В)	106,3 ± 5,3	12,7 ± 1,0	6,3 ± 0,5	56,7 ± 6,4	45,2 ± 4,1	51,0 ± 1,7	
Большая (С)	96,4 ± 4,8	16,0 ± 1,5	6,0 ± 0,7	28,3 ± 3,7	32,7 ± 4,0	48,3 ± 1,9	
Достоверность различий, t и p, между	А и В	3,22 < 0,01	2,73 < 0,025	3,77 < 0,005	2,44 < 0,05	2,30 < 0,05	3,88 < 0,005
	А и С	1,87 > 0,05	4,00 < 0,001	2,49 < 0,01	5,58 < 0,001	4,18 < 0,001	2,43 < 0,05
	В и С	1,38 > 0,1	1,83 > 0,05	0,34 > 0,5	3,84 < 0,005	2,18 < 0,05	1,06 > 0,3

Результаты проведенных исследований обнаружили существенные отличия в основных параметрах, характеризующих мышечную работоспособность, при разной интенсивности утомительной деятельности (табл. 1). Как видно из приведенной таблицы, далеко не все показатели мышечной работоспособности при увеличении интенсивности нагрузок изменяются однозначно. Так, величина выполняемой рабо-

ты, длительность вработывания и восстанавливающее действие отдыха оказываются наибольшими при средней интенсивности нагрузок; выраженность вработывания возрастает, тогда как относительная продолжительность стабильной работы и сопротивляемость утомлению снижаются с увеличением интенсивности нагрузок. В отличие от этого показатели линейной корреляции между всеми параметрами мышечной деятельности обнаруживают гораздо более закономерные соотношения – все они при увеличении интенсивности физической нагрузки изменяются однонаправленно (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты линейной корреляции, характеризующие взаимосвязи между различными показателями мышечной деятельности при различной интенсивности физической нагрузки, r

Показатели мышечной работоспособности		Интенсивность нагрузки	Показатели мышечной работоспособности				
			Вработывание		Период стабильной работы	Сопротивляемость утомлению	Восстанавливающее действие отдыха
			выраженность	длительность			
Величина работы		малая	0,48	0,63	0,74	0,34	- 0,16
		средняя	0,34	0,52	0,54	- 0,11	- 0,35
		большая	0,20	0,33	0,31	- 0,25	- 0,62
Вработывание	Выраженность	малая	–	0,17	0,25	0,37	0,21
		средняя	–	0,43	0,38	0,48	0,43
		большая	–	0,57	0,73	0,54	0,62
	Длительность	малая	–	–	- 0,27	0,47	0,18
		средняя	–	–	0,15	0,35	0,37
		большая	–	–	0,46	0,14	0,44
Период стабильной работы		малая	–	–	–	0,23	0,21
		средняя	–	–	–	0,58	- 0,36
		большая	–	–	–	0,84	- 0,47
Сопротивляемость утомлению		малая	–	–	–	–	0,42
		средняя	–	–	–	–	0,28
		большая	–	–	–	–	- 0,15

Результаты корреляционного анализа свидетельствуют о том, что мышечная деятельность любой интенсивности представляет собой функциональную систему, объединяющую качественные особенности двигательной функции человека. Эти особенности не являются независимыми друг от друга, а, напротив, находятся в определенной взаимосвязи. Изменения интенсивности физической нагрузки сопровождаются определенными, закономерно развивающимися изменениями элементов функциональной системы. Таким образом, интенсивность нагрузки является не только фактором, который определяет скорость развития утомления и величину выполняемой при этом работы, как это было известно ранее [5, 7, 9, 10], но и фактором, координирующим внутреннюю структуру двигательной деятельности. Опреде-

ляя характер функциональной взаимосвязи элементов этой деятельности, интенсивность физической нагрузки, как видно из результатов наших исследований, оптимизирует мышечную деятельность человека, подчиняя все элементы ее выполнению определенной двигательной задачи. Если учесть, что выполнение мышечной деятельности при разной интенсивности нагрузок обеспечивается сложным соотношением различных энергетических ресурсов, которые в свою очередь определенным образом сопряжены между собой [4, 11-14], то становится ясно, что функциональная система двигательной функции представляет собой комплекс скоррелированных двигательных, химических и энергетических свойств.

Отсюда следует, что, изменяя интенсивность физических нагрузок, представляется возможным направленно влиять не только на функциональные свойства мышц, но и на их энергетику и гистохимические особенности.

Наши наблюдения также указывают на то, что описанные выше функциональные корреляции отмечаются лишь в таких условиях, при которых нагрузки выполняются в меру возможностей человека, т.е. не являются запредельными, выполняемыми «через силу». В последнем случае имеет место, как свидетельствуют наши исследования, дезинтеграция тех функциональных проявлений мышечной деятельности, которые при сильных нагрузках разной интенсивности оставались тесно взаимосвязанными. Есть основания предполагать, что дезинтеграция вегетативных функций организма при перенапряжении и перетренировке [15], равно как и развитие при этом патологических процессов в организме, способных, несмотря на достижение высокой мышечной работоспособности, сокращать жизнь [16] имеют в своей основе первичную дезинтеграцию двигательной функции.

Результаты проведенных нами исследований свидетельствуют о перспективности использования корреляционного анализа как метода, способного выявить существенные взаимосвязи в сложных биологических объектах. Особое значение корреляционный анализ приобретает в изучении оздоровительных влияний. Современное понимание здоровья, в котором важнейшую роль играют процессы интеграции взаимосвязанных функций и структур [17-19], определяет исключительные возможности корреляционного анализа в изучении любых форм жизнедеятельности человека, так как каждая из них, а особенно, мышечная деятельность, непосредственно связана со здоровьем, его расходом и восстановлением.

#### Литература

1. Lamarck J.B. Philosophie Zoologique. Paris, 1809.
2. Шмальгаузен И.И. Организм как целое в индивидуальном и историческом развитии. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1938. - 144 с.
3. Орбели Л.А. Предисловие к книге Ф.А.Бейнбридж «Физиология мышечной деятельности». М.-Л.: Биомедгиз, 1935. - С.5.
4. Яковлев Н.Н. Биохимия спорта. - М.: Физкультура и спорт, 1974. - 228 с.
5. Hollmann W., Hettinger T. Sportmedizin Arbeits- und Trainingsgrundlagen. - Stuttgart-New York. - 1980. - 773 s.
6. Карпман В.Л., Любина Б.Г. Динамика кровообращения у спортсменов. М.: Физкультура и спорт, 1982. - 135 с.

7. Astrand P.-O., Rodahl K. Textbook of work physiology: Physiological bases of exercise. - New York: St. Louis: McGraw-Hill. - 1977. - 682.
8. Муравов И.В., Сукачев Н.С., Романенко Д.И. К методике эргографии // Физиол. журнал СССР. - 1957. - 43, 12. - С. 1202-1204.
9. Зимкин Н.В. Формирование двигательного акта // Физиология мышечной деятельности. труда и спорта: Руководство по физиологии. - Л.: Наука, 1969. - С. 164-185.
10. Зимкин Н.В. Физиологическая характеристика особенностей адаптации двигательного аппарата к разным видам деятельности // IV Всесоюзный симпозиум по физиологическим проблемам адаптации (Таллин, 1984). - Тарту: Минвуз СССР, 1984. - С. 73-76.
11. Barnard R.J., Edgerton V.R., Peter J.B. Effect of exercise on skeletal muscle. I. Biochemical and histochemical properties // J.Appl. Physiol. - 1970. - V. 28, № 6. - P. 762-766.
12. Howald H. Auswirkungen sportlicher aktivität auf deu stoffwechsel // Schweiz. Med. Wschr. - 1974. - Bd. 104. - S. 1535-1536.
13. Jansson E., Kaiser L. Muscle adaptation to extreme endurance training in man // Acta physiol. Scand. - 1977. - V. 100. - P. 315-324.
14. Kinderman W., Simen G., Keul J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training // Europ. J. Appl. Physiol. - 1979. - V. 42. - P. 25.
15. Душанин С.А. Системная и межсистемная дезинтеграция при перетренированности // Спортивная медицина и управление тренировочным процессом. - М.: Медицина. 1978. - С. 212.
16. Муравов И.В. Физическая культура и компенсаторно-приспособительные реакции при старении // Теория и практика физ. культуры. - 1964. - № 3. - С. 57-63.
17. Булич Э.Г., Муравов И.В., Муравов О.И., Таха А.Г. Новая концепция здоровья: биологическая организация функций и их энергетическое обеспечение // Здоров'я і освіта: I Всеукраїнська науково-практична конференція. Частина I. Львів, 1993. - С. 44-48.
18. Антомонов Ю.Г., Котова А.Б. Здоровье. Система определений. // Научная конференция «Здоровье человека: технология формирования здравостроителя в системах образования и здравоохранения Украины»: Сборник научных трудов. Вып. 2. Днепропетровск, 1995. - С. 3-4.
19. Антомонов Ю.Г., Котова А.Б., Пустовойт О.Г. Здоровье. Система оценок. // Научная конференция «Здоровье человека: технология формирования здравостроителя в системах образования и здравоохранения Украины»: Сборник научных трудов. Вып. 2. Днепропетровск, 1995. - С. 5-6.

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АНАЛИЗАТОРНЫХ СИСТЕМ  
В ФИЗИОЛОГИЧЕСКОМ МЕХАНИЗМЕ ДИНАМИЧЕСКОГО  
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОЗЫ СТОЯНИЯ**

*Новак С. З., Симферопольский государственный университет*

Важнейшим условием взаимодействия человека с внешней средой является способность сохранять равновесие. Переход к прямостоянию в свое время стал для вида *Homo sapiens* событием огромного преобразовательного значения, фактически открыв путь антропогенеза. Не меньшее значение имеет возможность сохранения равновесия в процессе онтогенеза, определяя возможность каждому из нас передвигаться, оберегая себя от падений и связанных с ними повреждений, возможность выполнять необходимые двигательные навыки, трудиться.

Уже а priori понятно, что сохранение устойчивой вертикальной позы в условиях разнообразных движений рук, ног, головы и туловища представляет собой сложнейшую задачу. Подвижная биомеханическая структура, состоящая из нескольких сотен костей, связок и мышц может быть безотказно действующим двигательным аппаратом только при доведенном до высочайшего совершенства управлении состоянием каждого звена этой системы. Основной позицией в этом управлении является возможность стабилизации, несмотря на меняющиеся внешние условия и, главным образом, движения собственного тела, центра его тяжести (ЦТТ).

Вертикальное положение тела, длина которого намного превышает размеры опоры, создает предпосылки неустойчивости, причем каждое движение человека таит в себе опасность нарушения равновесия и падения. Учитывая разнородность «конструкций» человеческого тела и многообразие его движений, задачи удержания устойчивого положения тела, т.е. своеобразного динамического позиционирования центра тяжести тела (ДПЦТТ), выполняемые центральной нервной системой, оказываются исключительно сложными. Если учесть, что организм человека постоянно находится в движениях, то эти задачи намного сложнее, чем те, которые приходилось решать в свое время Эйфелю, конструирующему систему опор своей башни. Эти обстоятельства определяют интерес физиологов к изучению регуляции позы стояния.

Многочисленные электромиографические исследования свидетельствуют, что в позе удобного стояния мышцы находятся в пассивном состоянии либо лишь изредка проявляют незначительную активность [1-6]. Непосредственная регистрация усилий, воспринимаемых площадкой, на которой стоит испытуемый [7], свидетельствует, однако, о том, что даже в удобной позе стояния тело человека совершает небольшие постоянные движения [8]. С появлением компьютерного анализа возможности анализа этих движений многократно возрастают.

Настоящее исследование было направлено на выяснение той роли, которую играет взаимодействие анализаторных систем – в частности зрительного и приприоцептивного анализаторов – в способности к оптимальной стабилизации позы стояния человека. Наше обращение к изучению роли зрительного анализатора в регуляции позы стояния определяется особой ролью его в этом отношении. Хотя

принято считать, что основное значение в стабилизации позы стояния принадлежит вестибулярному аппарату, который многие авторы даже называют «органом равновесия», этот аппарат не является главным в обеспечении равновесия и ориентации тела в пространстве [8-12]. Наряду с проприоцептивной – мышечно-суставной – рецепцией основную роль в стабилизации тела при стоянии играет зрение [8, 13], роль которого не ограничивается способностью «держаться глазами» за окружающую обстановку, как полагают некоторые исследователи [14], а проявляется, помимо визуального контроля за положением тела, в общестимулирующем влиянии света на организм [8, 15]. К сожалению, насколько нам известно, ни в одной из работ, в которых исследовалась роль различных анализаторов, не предпринимались попытки количественной оценки их вклада в стабилизацию позы стояния.

Современные технические возможности – в частности подход, объединяющий тензометрическую платформу с компьютером, – позволяют подойти к изучению физиологического механизма регуляции позы стояния изучая процесс этой регуляции как динамическое позиционирование ЦТТ. В исследованиях использована методика постурографии в модификации, разработанной инж. Я.Олтоном из Военного института летной медицины (Варшава). Постурографический аппарат состоит из тензометрической платформы, датчики которой выведены на компьютер. Чувствительность аппарата характеризуется величиной отклонения ЦТТ 0,1 мм. Заметим, в технических системах – как автоматических, так и автоматизированных – идея динамического позиционирования уже давно успешно используется исследователями [16, 17].

В исследованиях приняли участие 65 женщин и 124 мужчин в возрасте 19-24 лет. Все испытуемые были практически здоровыми студентами и не имели специальной подготовки, которая облегчала бы им выполнение позы стояния в усложненных условиях. Первым разделом работы было выяснение – в количественном выражении – того вклада, который обеспечивает зрительный анализатор в стабилизации оптимальной позы стояния. С этой целью были сравнены показатели, характеризующие разнонаправленные движения ЦТТ в условиях стояния на тензометрической платформе без обуви при открытых или закрытых глазах. Регистрировались следующие показатели: средний радиус поля, вычерчиваемого движениями ЦТТ, в мм; площадь этого поля в мм<sup>2</sup>; общая длина пути, характеризующего передвижение ЦТТ за стандартное время исследования (32 с) в мм и средняя скорость движения ЦТТ за весь период исследования в мм/с.

Наиболее очевидным и самым общим результатом проведенных исследований стало обнаружение того факта, что физиологический механизм ДПЦТТ работает таким образом, чтобы обеспечить не просто достаточно устойчивое положение тела стоящего человека, но наиболее устойчивое. Об этом свидетельствуют результаты исследований испытуемых в ситуации с открытыми и закрытыми глазами. Следует учесть, что площадь опоры у женщин с учетом размеров, определяемых опорными поверхностями стои, составляет не менее 29000 мм<sup>2</sup>, а у мужчин – не менее 33000 мм<sup>2</sup>. Средние же величины площади, описываемой движениями ЦТТ, как показали наши исследования, находятся при открытых глазах в пределах у женщин 220,0±18,5 мм<sup>2</sup> и у мужчин 377,3±23,3 мм<sup>2</sup>, т.е. у женщин в среднем площадь

ДПЦТТ составляет у женщин лишь 1/132, а у мужчин – 1/88 площади опоры. Даже при закрытых глазах, когда единственным ориентиром в отношении положения остается проприоцептивная чувствительность, площадь ДПЦТТ составляет у женщин лишь 1/31, а у мужчин – не более 1/41 площади опоры. Становится ясно, что при любом положении ЦТТ, которое было зарегистрировано в наших исследованиях, ЦТТ не только не выходит за пределы площади опоры тела, но даже не приближается к «опасным» границам. Тем не менее физиологический механизм ДПЦТТ «не удовлетворяется» ситуацией, которая с запасом обеспечивает стабильность позы стояния, а находится в постоянном поиске самого оптимального положения тела.

Ярко выраженный «максимализм» в деятельности физиологического механизма ДПЦТТ свидетельствует о двух важных особенностях, характерных для него. Во-первых, это высочайшая чувствительность этого механизма. Она проявляется в том, что сигналами для рефлекторных движений, обеспечивающих ДПЦТТ, являются настолько незначительные отклонения ЦТТ от идеального положения, причем даже не приближающиеся к пределам зоны абсолютной стабильности, что по всем признакам они, казалось бы, должны быть допороговыми. Во-вторых, существенной особенностью деятельности физиологического механизма ДПЦТТ является его постоянная, безостановочная работа. В отличие от других механизмов рефлекторной регуляции функций организма (например, рефлексов системы дыхания и кровообращения, включающихся лишь при определенных состояниях и бездействующих вне этих состояний – 18-24) поиск оптимальной позиции тела, обеспечиваемый движениями скелетных мышц, не прекращается даже тогда, когда ЦТТ оказывается в идеальном положении.

Беспрестанные движения ЦТТ моментально уведут тело из этого положения для того, чтобы последующими действиями вернуть его – с тем же ущербным результатом – в прежнее состояние. Иначе говоря, достигая идеального положения, ЦТТ не замирает в центре поля, как бильярдный шар в лузе, а проходит через него, начиная сразу же после этого движение в обратную или близкую к обратному положению сторону. Доказательствами существования определенного и сводящегося к минимальной площади – фактически к точке – центра, который определяет движения динамического позиционирования ЦТТ являются лишь два факта. Ими являются своеобразная «кучность», т.е. концентрация движений вокруг некоей центральной точки и ускорение движений тем большее, чем больше они отклоняются от этой точки.

Исследования позволили также выявить вклад зрительного анализатора в стабилизацию позы стояния. Функциональное «выключение» зрительного анализатора в условиях позы стояния при закрытых глазах позволило в количественных показателях конкретизировать роль зрения в ДПЦТТ (табл. 1). Как видно из полученных данных, выключение зрительного анализатора существенно изменяет деятельность механизма, стабилизирующего позу стояния: все показатели, характеризующие отклонение ЦТТ от его оптимального, т.е. наиболее устойчивого положения, при «отключенном» зрении оказываются и у женщин и, особенно, у мужчин намного хуже. Возрастающая неустойчивость позы стояния при отключении зрения характеризуется увеличением общего пути, «проходимого» ЦТТ при закры-

тых глазах по сравнению с нормальными условиями, а также повышением скорости движений ЦТТ, т.е. своеобразной активизацией механизма поиска оптимальной позы стояния. Однако, наиболее значимым показателем нарушения механизма ДПЦТТ является резко выраженное – у женщин на 66,5 %, а у мужчин вдвое большее, т.е. на 115,9 % – увеличение площади, захватываемой движущимся ЦТТ.

Таблица 1

**Характеристика разнонаправленных движений центра тяжести тела у женщин и мужчин при открытых (ОГ) или закрытых (ЗГ) глазах,  $M \pm m$**

Условия	Женщины				Мужчины			
	Радиус отклонений, мм	Площадь поля, мм <sup>2</sup>	Длина пути, мм	Скорость, мм/с	Радиус отклонений, мм	Площадь поля, мм <sup>2</sup>	Длина пути, мм	Скорость, мм/с
ОГ	3,4 ± 0,2	220,0 ± 18,5	208,1 ± 6,7	6,5 ± 0,2	4,1 ± 0,2	377,3 ± 23,3	279,7 ± 7,8	8,7 ± 0,2
ЗГ	3,6 ± 0,1	366,3 ± 37,7	310,9 ± 15,5	9,7 ± 0,5	4,9 ± 0,2	814,6 ± 95,7	460,0 ± 24,1	14,4 ± 0,8
ЗГ/ОГ в %%	5,9	66,5	49,4	49,2	19,5	115,9	64,5	65,5
Достоверн. разл., t и p	0,89 > 0,3	3,48 < 0,001	6,09 < 0,001	5,94 < 0,001	2,83 < 0,01	4,44 < 0,001	7,12 < 0,001	6,91 < 0,001

Таблица 2

**Половые различия в характеристиках разнонаправленных движений центра тяжести тела при открытых или закрытых глазах,  $M \pm m$**

Пол	Исследование при открытых глазах				Исследование при закрытых глазах			
	Радиус отклонений, мм	Площадь поля, мм <sup>2</sup>	Длина пути, мм	Скорость, мм/с	Радиус отклонений, мм	Площадь поля, мм <sup>2</sup>	Длина пути, мм	Скорость, мм/с
Женщины (А)	3,4 ± 0,2	220,0 ± 18,5	208,1 ± 6,7	6,5 ± 0,2	3,6 ± 0,1	366,3 ± 37,7	310,9 ± 15,5	9,7 ± 0,5
Мужчины (В)	4,1 ± 0,2	377,3 ± 23,3	279,7 ± 7,8	8,7 ± 0,5	4,9 ± 0,2	814,6 ± 95,7	460,0 ± 24,1	14,4 ± 0,8
А/В, %%	20,6	71,5	34,4	33,8	36,1	122,4	48,0	48,5
Достоверн. разл., t и p	2,47 < 0,025	5,29 < 0,001	6,96 < 0,001	4,24 < 0,001	5,81 < 0,001	11,52 < 0,001	5,20 < 0,001	4,98 < 0,001

Характерно, что и в обычных условиях, т.е. при взаимодействии обоих – зрительного и проприоцептивного – анализаторов, и в условиях выключения зрения, физиологический механизм ДПЦТТ у женщин работает гораздо эффективнее, чем у мужчин (табл. 2). Сравнение различий в деятельности механизма, обеспечивающего стабилизацию позы стояния, т.е. ее устойчивость, свидетельствует о том, что половые особенности работы этого механизма резко выражены. Так, площадь поля, характери-



зующего степень нестабильности ЦТТ у мужчин при открытых глазах превышает аналогичные показатели у женщин на 71,5%, а при закрытых глазах – даже более чем вдвое – на 122,4% (достоверность различий в обоих случаях  $p < 0,001$ ).

Сходная ситуация отмечается при сравнении и других показателей ДПЦТТ: среднего радиуса отклонений ЦТТ, длины пути, проходимого ЦТТ и скорости движения ЦТТ в процессе динамического позиционирования, направленного на стабилизацию устойчивой позы тела.

Анализ результатов исследований позволяет оценить конкретный вклад зрительного анализатора в регуляцию позы стояния у женщин и мужчин. Наиболее важным показателем в этом отношении является площадь поля, описываемого колебаниями ЦТТ. Если принять площадь этого поля, свойственную ситуации с закрытыми глазами, за 100%, то мы получаем показатель, характеризующий регуляцию позы стояния за счет одной лишь проприоцептивной информации (вторая строка в табл. 1). У женщин этот показатель составляет  $366,3 \pm 37,7 \text{ мм}^2$ , а у мужчин –  $814,6 \pm 95,7 \text{ мм}^2$ . Следовательно, регулирование позы стояния за счет проприоцептивной информации у мужчин осуществляется в 2,2 раза хуже, чем у женщин. Относя степень сокращения площади поля, описываемого колебаниями ЦТТ, к площади поля, свойственного проприоцептивной информации, можно определить относительную величину вклада зрительного анализатора в регуляцию позы стояния. Эта величина составляет у женщин 39,9%, а у мужчин 53,7%. Иначе говоря, «вклад» зрительной информации в стабилизацию позы стояния у женщин значителен, но является вспомогательным; у мужчин же он оказывается основным.

Полученные данные свидетельствуют об ослабленной афферентации с нервно-мышечного аппарата у мужчин по сравнению с женщинами. Из литературных указаний известно, что эфферентная функция нервно-мышечного аппарата, характеризующая двигательные возможности, у мужчин развита лучше, чем у женщин. Полученные данные, помимо познавательного значения, имеют прямое отношение к практике физического воспитания, которая всецело направлена на развитие эфферентных возможностей двигательного аппарата. Если учесть, насколько важна регуляция позы стояния в жизнедеятельности человека, а также в профилактике искривлений позвоночника, ставших массовым явлением, то становится ясно, что направленная тренировка проприорецепции должна стать неотъемлемым элементом физического воспитания молодежи.

#### Литература

1. Joseph J., Nichtingale A. Electromyography of posture leg muscles in males // J. Physiol. - 1952. - 117. - P. 484-489.
2. Smith I.W. The act of standing // Acta orthoped. Scand. - 1953. - 23, № 2. - P. 159-165.
3. Basmajian J.V., Bentzon J.W. An elektromyographic study of certain muscles at the leg and foot in the standing position // Surg. Gynec. and Obst. - 1954. - 98. - P. 662-667.
4. Kawakami K. Electro-myographic study on the functional differentiation of the hand and foot muscles // Japan. J. Physiol. - 1954. - 4, № 1. - P. 1-5.

5. Jonbert G., Gueguen J.-Y. Les tensions elastique et contractile du muscle humain etiré. Leur intervention dans le maintien de la sttion debout // *J. De Physiol. Paris.* - 1956. - 48. - P. 763-770.
6. Жуков Е.К., Захарьянц Ю.З. Электромиографическая характеристика тонуса скелетных мышц человека // Пленум Комиссии по вопросам физиологии спорта: Тезисы докладов. Москва, 1957. - С. 52-54.
7. Бабский Е.Б., Гурфинкель В.С., Ромель Э.Л., Якобсон Я.С. Методика исследования устойчивости стояния // Труды Центр. научно-исследовательского института протезирования и протезостроения. Москва, 1952. - С. 31-35.
8. Гурфинкель В.С., Коц Я.М., Шик М.Л. Регуляция позы человека. Москва: Наука, 1965. - 256 с.
9. Wiggers C.I. *Physiology in health and disease.* Philadelphia, 1945. - 168 p.
10. Lowenstein O. Recording of responses from individual end-organs of the vestibular apparatus // *Proc. Roy. Soc. Med.* - 1952. - 45, 3. - P. 133-138.
11. Armstrong C.R. Space physiology // *J. Brit. Interplan. Soc.* - 1953. - 12. - P. 172-180.
12. Воячек Б.И. Современное состояние вопроса о функции вестибулярного аппарата // Сборник трудов Ленинградского научно-исследовательского института по болезням уха, носа, горла и речи. 1955. - Т. XI. - С. 35-61.
13. Крапивинцева В.П. Изучение рефлекторных механизмов прямостояния и их возрастных изменений у школьников: Автореф. дис.... канд. биол. наук. Москва, 1954. - 28 с.
14. Садчиков Н.Г. К методике исследования статического равновесия // Вопросы авиационной физиологии. - 1938. - IV. - С. 56.
15. Буліч Е.Г., Муравов І.В. Валеологія. Теоретичні основи валеології: Навч посібник. - Київ: ІМЗН, 1997. - 224 с.
16. Лукасік З. Динамічне позиціонування плаваючих монтажних установок за умов перешкод: Автореферат дис... доктора техн. наук, Київ, 1998. - 32 с.
17. Lukasik Z. *Dynamiczne pozycjonowanie ruwaj cych obiektów wiertniczych* Radom: Wydawnictwo WSI, 1988. - 117 s.
18. Хаютин В.М. Сосудодвигательные рефлексы. Москва: Наука, 1964. - 376 с.
19. Шик Л.Л. Кислородный запрос и кровообращение // Кислородный режим организма и его регулирование. Киев: Наукова думка, 1966. - С. 103-108.
20. Guyton A.C., Coleman T.G., Granger H.J. Circulation: Overall regulation // *Ann. Rev. Physiol.* - 1972. - Vol. 34. - P. 13-46.
21. Guyton A.C., Hall J.E., Young D.B., Lechmeier T.E., Jackson T.E., Kastner P.R. A computer and experimental analysis of arterial pressure regulation and hypertension / *Adv. Physiol. Sci., Cardiovascular physiology.* Ed. A.G.B. Kovach et al., Budapest Pergamon Press-Akademiai Kiado, 1981. - Vol. 8. - P. 13-27.
22. Pelletier C.L., Sheperd J.T. Venous responses to stimulation of carotid chemorecepto by hypoxia and hypercapnia // *Am. J. Physiol.* - 1972. - 223, 1. - P. 97-103.
23. Bergofsky E.H. Mechanisms underlying vasomotor regulation of regional pulmonary blood flow in normal and disease states // *Am. J. Med.* - 1974. - 57, 3. - P. 378-394.
24. Гуревич М.И., Бернштейн С.А., Соловьев А.И. Дефицит кислорода в тканях и их кровоснабжение // Успехи физиол. наук. - 1981. - 12, 4. - С. 77-98.

## ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА СОХРАНЕНИЯ НОРМАЛЬНОЙ ОСАНКИ В ПРОЦЕССЕ ВОЗРАСТНОГО РАЗВИТИЯ

Тузинец С. Я., Радомский политехнический университет,  
Симферопольский государственный университет

Хотя изучение осанки и ее нарушений насчитывает более ста лет, успехи в этой области более чем скромны. Число детей, страдающих сколиозом, по данным статистических исследований, проводимых в разных странах, не уменьшается, а эффективность лечебных мероприятий остается низкой [1,2]. Эти соображения заставляют задуматься: не является ли ошибочным сам традиционно сложившийся подход к проблеме сколиоза, при котором основное внимание обращается на формирующуюся патологию и методы борьбы с ней, вместо того, чтобы выяснить механизмы, противодействующие ей в естественных условиях. Следует учесть, что всякое заболевание является не нарушением «в чистом виде», а взаимодействием неблагоприятных, т.е. повреждающих, влияний с защитными и компенсаторно-приспособительными реакциями организма, противодействующими повреждению [3,4], причем эта взаимосвязь повреждающих и защитных механизмов свойственна даже такому общераспространенному процессу как старение [5]. Такое понимание обосновывает принципиально иной подход к любому виду патологического процесса – валеологический, направленный на изучение не повреждающего, а защитного звена патологического процесса. Этот подход получил название валеологического [6,7], основанного на идеях учения о здоровье – валеологии [8]. Такой подход мы использовали для выяснения развития предпосылок к формированию сколиоза – сколиотической осанки (СО) у детей.

Целью работы являлось выяснение факторов, благоприятствующих сохранению нормальной, т.е. симметричной, осанки у детей и подростков. Исследованию была подвергнута роль основных компонентов здоровья: энергетического потенциала [9-11] и интеграции функций организма [7].

Выраженность СО определялась по методу И.Ю.Карпюк в мм отклонения лопаток от горизонтальной линии [2]. Энергетический потенциал организма оценивался по показателю максимального потребления кислорода (МПК), определяемому газодиффузионным методом при помощи аппарата «Спиролит-2». Интеграционный компонент здоровья исследовался при помощи теста моторно-кардиальной корреляции (тест МКК – 12). Для оценки роли энергетического и интеграционного факторов здоровья в сохранении нормальной осанки использовался метод изучения корреляционных взаимосвязей между отдельными показателями. В исследованиях приняло участие 82 школьника с разной выраженностью СО: 45 из них в возрасте 7-8 лет и 37 – в возрасте 14-15 лет.

Результаты исследований позволили выяснить конкретный вклад каждого из основных компонентов здоровья в противодействие формированию СО, равно как и возрастные различия этих вкладов. Так, у детей 7-8 лет обнаруживается отчетливо выраженное защитное действие энергетического потенциала и уровня интеграции функций по отношению к нарушениям осанки (табл. 1). Чем выше энергетический потенциал организма и уровень корреляционных взаимосвязей между интенсив-

ностью физической нагрузки, с одной стороны, и реакцией сердца на эту нагрузку, с другой стороны, тем менее выражена у детей 7-8 лет сколиотическая осанка.

Таблица 1

Показатели теста МКК и выраженность сколиотической осанки у мальчиков 7-8 лет с различным уровнем максимального потребления кислорода (МПК),  $M \pm m$

Уровень МПК		Показатель теста МКК, г	Выраженность сколиотической осанки, мм
в качеств. показателе	в мл.кг <sup>-1</sup> .мин <sup>-1</sup>		
Низкий	32,420 ± 0,607	0,807 ± 0,022	8,769 ± 0,579
Высокий	42,927 ± 0,502	0,891 ± 0,013	5,067 ± 0,605
Достоверность различий, t и p	13,34 < 0,001	3,29 < 0,005	4,42 < 0,001

Иные соотношения отмечаются в группе подростков 14-15 лет. Значительное увеличение энергетического потенциала в этой группе сопровождается слабо выраженной (достоверность различий по показателю t в пределах 0,25-0,96;  $p > 0,3-0,5$ ) тенденцией к снижению степени СО. Несколько более выражено – хотя тоже находится вне пределов достоверности различий – увеличение показателя теста МКК (табл. 2). Иначе говоря, в подростковом возрасте энергетический компонент здоровья теряет свое значение в качестве защитного фактора, противодействующего нарушению осанки.

Таблица 2

Показатели теста МКК и выраженность сколиотической осанки у подростков 14-15 лет с различным уровнем максимального потребления кислорода (МПК),  $M \pm m$

Уровень МПК		Показатель теста МКК, г	Выраженность сколиотической осанки, мм
в качеств. показателе	в мл.кг <sup>-1</sup> .мин <sup>-1</sup>		
Низкий	36,945 ± 0,603	0,873 ± 0,023	13,273 ± 1,940
Высокий	46,579 ± 0,502	0,914 ± 0,015	11,500 ± 1,467
Достоверность различий, t и p	12,28 < 0,001	1,59 > 0,1	0,73 > 0,4

В том, что это действительно так, можно убедиться, сопоставив показатели характеризующие уровень корреляционных взаимосвязей между тремя регистрированными показателями (табл. 3). Как видно из приведенных в этой таблице данных, высокий уровень отрицательных корреляционных взаимосвязей между выраженностью сколиотической осанки и уровнем МПК у детей 7-8 лет к 14-15 годам снижается в такой мере, что у подростков с низким энергетическим потенциалом такая взаимосвязь вообще исчезает ( $r = - 0,057$ ), и лишь у подростков с высокой энергетикой отмечается едва заметная взаимосвязь ( $r = - 0,143$ ). Сходное, правда несколько менее выраженное снижение уровня корреляционных взаимосвязей обнаруживается и между степенью СО и показателями теста МКК. Коэффициент ли

нейной корреляции снижается с уровня - 0,750 - -0,732 в возрасте 7-8 лет до - 0,270 - -0,194 в возрасте 14-15 лет.

Таблица 3

Уровень корреляционных взаимосвязей между выраженностью сколиотической осанки, максимальным потреблением кислорода (МПК) и показателем теста МКК, г

Энергетический потенциал организма, выраженный в показателе МПК, в возрастной группе, годы			Уровень корреляционных взаимосвязей, между	
			выраженностью сколиотической осанки и МПК	выраженностью сколиот. осанки и тестом МКК
Низкий	7-8	32,42 ± 0,61	- 0,529	- 0,750
	14-15	36,95 ± 0,60	- 0,057	- 0,270
Высокий	7-8	42,93 ± 0,50	- 0,413	- 0,732
	14-15	46,58 ± 0,50	- 0,143	- 0,914

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в механизме формирования СО существенное значение принадлежит ослаблению защитной роли двух основных компонентов здоровья: энергетики и интеграции функций. Своеобразный «отказ» этих механизмов позволяет формироваться СО. На основании обнаруженных фактов представляется возможным пересмотреть понимание об «идиопатическом» развитии сколиоза [1, и др.]. Ослабление выраженности СО у детей при значительном энергетическом потенциале и высокой функциональной интеграции указывает на существование в детском возрасте физиологических механизмов, противодействующих нарушениями осанки. Есть все основания считать, что ослабление этих естественных механизмов и формирует сколиоз. Первым из них с возрастом «капитулирует», как видно из наших данных, энергетический фактор – в 14-15 лет происходит своеобразное «разобщение» энергетики и симметрии. Работами последнего времени выяснено, что хотя оба основных фактора здоровья – энергетика и интеграция функций – теснейшим образом взаимосвязаны [7], однако в определенных условиях – например, при перетренировке – эта взаимосвязь может нарушаться [13]. Можно предположить, что при формировании СО происходит нечто подобное: даже высокий энергетический потенциал, если он расходуется на «внешние» цели (например, на спортивную деятельность), не предотвращает развитие своеобразных функциональных «перекосов», проявляющихся в дезинтеграции функций и структур и, в частности, в формировании СО, а затем и сколиоза. Указанные соображения свидетельствуют о важности не просто развития двигательных качеств – силы, скорости и выносливости – как основной цели физического воспитания [14], а прежде и более всего – всестороннего и гармонического развития самого организма человека – его двигательного аппарата. Если учесть, что благодаря моторно-висцеральным рефлексам [15] двигательный аппарат управляет функцией внутренних органов, причем каждое изменение структуры движений сопровождается соответствующими изменениями вегетатики [16], то становится ясной важность использования в физическом воспитании таких упражнений, которые в наибольшей мере могли бы способствовать гармоническому развитию организма.

Наиболее важным результатом проведенных исследований является выяснение

существования защитных механизмов, противодействующих развитию нарушений нормальной осанки, – энергетического потенциала и интеграции функций организма. Так как каждый из них открыт для внешних оздоровительных воздействий [6, 7, 16], то это открывает возможность направленного использования средств физической культуры для первичной профилактики нарушений осанки в процессе возрастного развития.

#### **Литература**

1. Чаплин В.Д., Абальмасова Е.А. Сколиоз и кифозы. Москва: Медицина, 1973. - 273 с.
2. Карпюк И.Ю. Принципы подбора и методика использования корригирующих упражнений в физическом воспитании школьников младших классов: Автореферат дис.... канд. пед. наук, Киев, 1990. - 24 с.
3. Давыдовский И.В. Проблемы причинности в медицине. Этиология. - М: Медгиз, 1962. - 176 с.
4. Петленко В.П. Эволюция здоровья и болезней человека // Общество и здоровье человека. Москва: Медицина, 1973. - С. 43-72.
5. Фролькис В.В. Старение и увеличение продолжительности жизни. Л.: Наука, 1988. - 239 с.
6. Муравов И.В. Энергетика и организация функций в обеспечении высокой жизнеспособности организма // Валеология: Диагностика, средства и практика обеспечения здоровья: Международный сборник научных трудов. Вып. 2. Владивосток: Дальнаука, 1995. С. 67-78.
7. Булич Е.Г., Муравов И.В. Валеологія. Теоретичні основи валеології. Київ:ІЗМН, 1997. - 224 с.
8. Брехман И.И. Введение в валеологию - науку о здоровье. Ленинград: Наука, 1987. - 125 с.
9. Andersen K.-L., Rutenfranz J., Masironi R. et al. Habitual physical activity and health. Copenhagen: WHO. - 1978. - 199 p.
10. Blaire S.N., Kohl H.W., Raffenberger R.S. et al. Physical fitness and all-cause mortality: A perspective study of health men and women // JAMA. - 1989. - 262, 17. - P. 2395-2401.
11. Апанасенко Г.Л. Эволюция биоэнергетики и здоровье человека. СПб: МГП, 1992. - 123 с.
12. Muravov I., Bulich E., Muravov O. Test of motor-cardiac correlation: control, prognosis and the evaluation of the effectivity of the influences in preventive cardiology // The Canadian Journal of Cardiology. - 1997. - Vol. 13, Suppl. B. - P. 247.
13. Bulich E., Chrominski Z., Muravov I. Health, physical activity and sport // Sport Kinetics'95: Proceedings of 4<sup>th</sup> Internat. Scientific Conference. Prague, 1996. - P. 112-116.
14. Зацюрский В.М. Физические качества спортсмена (основы теории и методики воспитания). 2-е изд. - Москва: Физкультура и спорт, 1980. - 200 с.
15. Могендович М.Р. Рефлекторное взаимодействие локомоторной и висцеральной систем. Москва: Медгиз, 1957. - 380 с.
16. Муравов И.В. Оздоровительные эффекты физической культуры и спорта. К.: Здоров'я, 1989. - 272 с.

## ТКАНЕВОЙ И СОСУДИСТЫЙ КОМПОНЕНТЫ АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМА К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ И ИХ ИЗМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ТРЕНИРОВКИ

*Кобза М. Т., Симферопольский государственный университет*

Восстановление функций организма после физических нагрузок представляет собой процесс, обеспечиваемый не только реакциями кровообращения и дыхания [1-5], но и, прежде всего, восстановительными процессами в самих тканях. В том, что это так, можно убедиться на утомленной электрическими стимулами изолированной мышце лягушки: через некоторое время, находясь в физиологическом растворе, она возобновляет способность сокращаться.

Известно, что физическая тренировка является мощным стимулятором восстановительных процессов [6-12]. Однако, в доступной литературе мы не нашли работ, в которых было бы выяснено, в какой мере стимуляция процессов функционального восстановления при занятиях физическими упражнениями связана с усилением – а, может быть, и улучшением – кардиореспираторной функции, и в какой мере – с улучшением восстановительных процессов в самих тканях.

Для ответа на этот вопрос были предприняты исследования, составившие содержание настоящей работы. В исследованиях на 17 молодых практически здоровых мужчинах в возрасте 20-24 лет изучалось влияние занятий физическими упражнениями на тканевый и сосудистый факторы восстановительных процессов при мышечной деятельности. Нагрузки с весом в 1/8 от показателя динамометрии кисти у испытуемых выполнялись на кистевом эргографе конструкции И.В.Муравова и сотр. [13], причем работа выполнялась в ритме 60 сокращений в минуту до утомления. После одноминутного перерыва работа продолжалась. С целью выделения тканевого фактора восстановления в период отдыха блокировался при помощи сфигмоманометрической манжеты кровотока в сосудах плеча по методу Веландера [14]. Сопоставление восстанавливающего действия отдыха, рассчитываемого как отношение работы, выполненной после отдыха, к исходной работе, в условиях нормального и выключенного кровотока позволяло количественно оценить вклад тканевого и сосудистого факторов восстановления до и после месячного периода физической тренировки, которая осуществлялась в виде ежедневной работы на кистевом эргографе (5 периодов работы до утомления с одноминутными перерывами). Для оценки «сердечной стоимости» работы при помощи электрокардиографической регистрации частоты сердечных сокращений (чсс) по методу Нэба-Бутченко [15] определялся прирост сердечных сокращений за период работы и минуты последующего отдыха. Относя рабочую надбавку к величине выполненной работы в кгм, мы оценивали «сердечную стоимость» работы в показателе чсс/кгм.

Результаты исследований позволили оценить относительную величину тканевого фактора восстановления во всем реституционном процессе. Если в обычных условиях, т.е. при ненарушенном во время отдыха кровотоке, восстанавливающее действие отдыха составляет 66,79%, а при заблокированном кровотоке – 46,14 %, то это значит, что собственно на сосудистый фактор восстановления во время минут-

ного отдыха приходится 20,65 %, т.е. около 1/5 доли всего восстановления, которое реализуется в этом периоде (табл. 1). Такая сравнительно небольшая величина вклада сосудистого фактора находит свое объяснение в том, что кровообращение в утомленных мышцах блокируется лишь в периоде отдыха, причем после такого блокирования – как показано И.В.Муравовым [6] – развивается реактивная гиперемия. Реализующаяся на ее фоне работа оказывается в условиях лучшего кровоснабжения мышц [16], что в какой-то мере «нейтрализует» неблагоприятное влияние отключающегося кровотока.

Таблица 1

Показатели работоспособности и восстанавливающего действия отдыха в условиях нормального и блокированного кровообращения до и после физической тренировки, М ± m

Период	Условия нормального кровообращения			Условия блокированного кровообращения		
	Работа до отдыха, кгм	Работа после отдыха, кгм	Восстан. действие отдыха, %	Работа до отдыха, кгм	Работа после отдыха, кгм	Восстан. действие отдыха, %
До тренировки	106,24 ± 3,08	71,76 ± 4,41	66,79 ± 3,22	105,82 ± 3,04	49,94 ± 3,63	46,14 ± 2,70
После тренировки	117,29 ± 3,44	87,06 ± 4,73	73,64 ± 3,05	118,18 ± 3,88	68,65 ± 3,77	56,36 ± 2,64
Достоверность различий, t и p	2,39 < 0,025	3,23 < 0,005	1,54 > 0,2	2,51 < 0,025	2,81 < 0,01	2,71 < 0,01

Полученные результаты свидетельствуют также об увеличении относительного вклада тканевого фактора восстановления в процесс функциональной реституции после физической нагрузки под влиянием физической тренировки. Так, если до физической тренировки восстанавливающее действие отдыха при блокировании кровообращения в периоде минутного отдыха после физической нагрузки снижалось с  $66,79 \pm 3,22$  до  $46,14 \pm 2,70$  %, т.е. на 20,65 % или на 30,9 % от исходной величины этого показателя, то после физической тренировки соответствующее уменьшение – с  $73,64 \pm 3,05$  до  $56,36 \pm 2,64$  % – составило лишь 17,28 %, т.е. снижалось лишь на 23,5 % от исходной величины восстанавливающего действия отдыха. Если отнести величину экономизации этого показателя в условиях блокирования кровообращения после тренировки к соответствующему показателю до тренировки, то становится ясно, что тренировка уменьшает неблагоприятное влияние выключения сосудистого фактора на 23,9 % ( $30,9 - 23,5/30,9$ , т.е. 23,9 %).

Проведенные исследования позволили также с иной стороны оценить роль сосудистого фактора в обеспечении функциональной реституции после физических нагрузок. Так, «сердечная стоимость» одного кгм работы после отдыха при переходе от нормальных условий к условиям блокированного кровообращения возрастает с  $2,48 \pm 0,11$  до  $2,94 \pm 0,14$  час/кгм (t различий 2,52; p < 0,025), т.е. на 18,5 % (табл. 2).

Иначе говоря, и при оценке «сердечной стоимости» работы, как проявления «внетканевых» факторов поддержания работоспособности и реституции, так и в условиях блокирования кровотока обнаруживаются близкие показатели «вклада»



этих факторов в реституционный процесс - в пределах 18,5-20,7 % суммарной величины восстанавливающего действия отдыха.

Таблица 2

«Сердечная стоимость» одного кгм работы в условиях нормального и блокированного кровообращения до и после физической тренировки, чсс/кгм,  $M \pm m$

Период исследования	Условия нормального кровообращения		Условия блокированного кровообращения	
	до отдыха	после отдыха	до отдыха	после отдыха
До тренировки	2,24 $\pm 0,08$	2,48 $\pm 0,11$	2,25 $\pm 0,08$	2,94 $\pm 0,14$
После тренировки	1,97 $\pm 0,06$	2,20 $\pm 0,08$	2,01 $\pm 0,06$	2,52 $\pm 0,11$
Достоверность различий, t и p	2,70 < 0,025	2,06 < 0,05	2,40 < 0,025	2,35 < 0,025

Как было показано выше (табл. 1), физическая тренировка приводит к стимуляции тканевого фактора восстановления. Это проявляется в некотором «освобождении» восстановительного процесса от зависимости со стороны сосудистого обеспечения реституции. В иной форме такое «освобождение» выявляется в показателях «сердечной стоимости» работы: «сердечная стоимость» работы под влиянием тренировки существенно снижается, причем это снижение свойственно нагрузкам, выполняемым в условиях и нормального, и блокированного кровоснабжения мышц.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что тканевый и сосудистый факторы восстановления теснейшим образом взаимосвязаны. Нет сомнения в том, что усиление восстановительных процессов в тканях, обеспечиваемое стимуляцией процессов метаболизма [17-20], ослабляет запросы к кардиореспираторной системе. Как видно из наших исследований, работа сердца при этом облегчается в среднем на 10,2-14,3 %, т.е. примерно на 1/8. Основное значение во всей совокупности формирующихся под влиянием физической тренировки процессов, по-видимому, принадлежит тканевому фактору. Об этом свидетельствуют как преобладающий вклад этого фактора в поддержание мышечной работоспособности, так и более выраженные изменения его под влиянием физической тренировки. Очевидно, основной «мишенью» воздействия физической тренировки на организм являются изменения, происходящие на клеточном и тканевом уровне, а экономизация кардиореспираторной функции [1, 3, 7, 8, 10, 11, 19, 20] является в значительной мере следствием снижающихся тканевых запросов.

Результаты проведенных исследований позволяют объяснить ряд явлений, описанных специалистами физиологии спорта и спортивной медицины. Становится ясно, что спортивная брадикардия, как и гипотония у спортсменов [3, 5, 7, 19, 20], являются следствием первичных изменений в тканях, снижающих потребности в их гемодинамическом обеспечении. С этой же точки зрения развитие гипертензии и гипертонического типа реакций у спортсменов можно, по-видимому, оценить как результат увеличения запросов к сосудистому фактору восстановления в результате первичного ослабления трофики в тканях вследствие чрезмерных физических нагрузок.

**Литература**

1. Astrand P.-O., Rodahl K. Textbook of work physiology: Physiological bases of exercise. New York: St. Louis: McGraw-Hill, 1977. - 681 p.
2. Бреслав И.С., Исаев Г.Г., Миняев В.И. О механизмах регуляции дыхания при мышечной деятельности // Успехи физиол. наук. - 1979. - 10, 3. - С. 87-104.
3. Карпман В.Л., Любина Б.Г. Динамика кровообращения у спортсменов. М.: Физкультура и спорт, 1982. - 135 с.
4. Озолинь П.П. Адаптация сосудистой системы к спортивным нагрузкам. Рига: Зинатне, 1984. - 134 с.
5. Муравов І.В., Хромінський З. Вплив фізичних навантажень на організм // Лікувальна фізкультура та спортивна медицина / Підручник для студентів вищих навчальних медичних закладів. Київ: Здоров'я, 1995. - С. 14-29.
6. Муравов И.В. Физиологический анализ регуляции мышечной работоспособности при старении организма // Вопросы геронтологии и гериатрии. Т. 2. Киев, 1962. - С. 88-98.
7. Муравов И.В. Оздоровительные эффекты физической культуры и спорта. - К.: Здоровья, 1989. - 272 с.
8. Булич Э.Г. Физическая культура и здоровье. М.: Знание, 1981. - 64 с.
9. Булич Е.Г. Медико-біологічні засоби відновлення під час оздоровчого тренування і в сучасному спорті // Лікувальна фізкультура та спортивна медицина. / Підручник для студентів вищих навчальних медичних закладів. Київ: Здоров'я, 1995. - С. 76-89.
10. Nadel E. Physiological adaptation to aerobic training // Amer. Scientist. - 1985. - 73, 4. - P. 334-343.
11. Saltin B. Physiological adaptation to physical conditioning // Acta Med. Scand. - 1986. - V. 220. - Suppl. 711. - P. 11-24.
12. Kielak D., Konieczny M., Kosmol A., Perkowski K., Siwko F., Skowro ski W., Soza ski H., Iedziewski D. Wybrane elementy treningu sportowego. Pod red. H. Soza skiego. Warszawa: RSW ZG, 1987. - 216 s.
13. Муравов И.В., Сукачев Н.С., Романенко Д.И. К методике эргографии // Физиол. журнал СССР. - 1957. 43, 12. - С. 1202-1204.
14. Velander E. Einige Versuche für das Physiologische Praktikum // Scand. Arch. Physiol. - 1910. - B. 23. - S. 431-437.
15. Бутченко Л.А. Новое в методике электрокардиографического исследования спортсменов // Теория и практика физ. культуры. - 1957. - 20, 5. - С. 360-365.
16. Хаютин В.М. Функциональная гиперемия скелетных мышц // Физиология человека и животных. Итоги науки и техники. М.: ВИНТИ. 1979. - С. 46-106.
17. Karlson J.B., Diamant B., Saltin B. Muscle metabolism during submaximal and maximal exercise in man // Scand J. clin. lab. Invest. - 1970. - V. 26, № 4. - P. 385-394.
18. Hermansen L. Muscle metabolism during exercise. - New York: Plenum, 1971. - P. 401-407.
19. Hollmann W., Hettinger T. Sportmedizin Arbeits- und Trainingsgrundlagen. - Stuttgart-New York. - 1986. - 773 s.
20. Мищенко В.С. Функциональные возможности спортсменов. К.: Здоровья, 1990. - 200 с.

## ДВУХВОЛОКОННАЯ РАЗВЕТВЛЯЮЩАЯ СТРУКТУРА ДЛЯ ДЛИН ВОЛН 1,31 И 1,55 МКМ

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

В настоящее время в ВОЛС широко используют второе и третье окна прозрачности кварцевых одномодовых волокон, располагающиеся в области длин волн 1,3 мкм и 1,55 мкм. Для ответвления канализируемых волокном световых потоков, в равных для обеих длин волн долях, требуются разветвители, коэффициент ответвления  $C_R$  которых не зависел бы от длины волны света. Такие разветвители должны легко и с незначительными оптическими потерями согласовываться с волоконно-оптическими компонентами линий связи. Последнее качество присуще одному из наиболее дешевых в изготовлении и надежных в эксплуатации разветвителей на основе биконического сужения двух сплавленных боковыми поверхностями на определенном протяжении стандартных одномодовых волокон с идентичными геометрическими и оптическими параметрами. Однако обычным сплавлением таких волокон без введения дополнительных технологических операций, приводящих к изменению постоянной распространения одного из волокон в биконическом сужении, не удастся добиться равенства коэффициентов ответвления на длинах волн, разнесенных более чем на 20 - 30 нм. Изготовленные из идентичных световодов разветвители являются спектрально зависимыми. Так, по данным [1, 2] деление по каналам разветвителя с  $C_R = 3$  дБ (50:50) со сплавным биконическим сужением может изменяться на величину от 0,1 %/нм до 0,3 %/нм в зависимости от типа волокна, конфигурации сплавленной области, степени ее проплавления и длины волны проходящего света. Такое отклонение от заданного деления приемлемо лишь для линий связи, в которых допускаются изменения рабочей длины волны в пределах  $\pm 10$  нм.

При определенных режимах сплавления, длине растяжения, угле наклона конусов в биконическом сужении, возможно получение двухволнового 3-децибельного разветвителя из идентичных волокон [2]. Для этого процесс сплавления и растяжения должен быть остановлен тогда, когда кривые биений мощности на выходе разветвителя, соответствующие  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , пересекаются на 50 %-ной отметке деления. Авторы [2] отмечают, что у такого разветвителя при отклонении длины волны проходящего света от номинала на  $\pm 10$  нм отношение связи изменяется на  $\pm 6$  %/нм. Это неприемлемо для реальных сетей связи, так как длины волн устанавливаемых источников света могут отличаться от номинала на  $\pm 20$  нм [3].

В ряде работ в таких, например, как [1, 4, 5, 6] были предложены и исследованы различные способы достижения неравенства постоянных распространения волокон в биконическом сужении разветвителя. Эти способы условно можно разделить на две группы. К первой относятся те из них, в основе которых лежит использование световодов с исходно отличающимися геометрическими и оптическими параметрами [5, 6]; ко второй – где используются исходно идентичные световоды, в одном из которых с помощью технологических приемов изменяют постоянную распространения при формировании биконического сужения [1, 4].

На наш взгляд, способы, относящиеся ко второй группе, более перспективны, так как обеспечивают большую степень унификации волоконных портов разветвителя.

Для изменения постоянной распространения в одном из свариваемых идентичных волокон в [1, 4] участок для сопряжения с другим волокном предварительно разогревали и перетягивали для уменьшения его диаметра. Причем в случае [4] волокна сплавляли в скрученном друг с другом состоянии. Отметим, что с помощью определенных технологических приемов этот способ позволяет добиться и обратного эффекта – т.е. получать спектрально-селективные разветвители. Так, в [7] описан спектрально-селективный разветвитель, делящий световой поток с двумя длинами волн на два отдельных, соответствующих этим длинам волн, потока. Здесь тонкое волокно с определенным шагом накручивалось на толстое, место скрутки разогревалось и растягивалось в процессе сплавления.

В настоящей работе мы исследовали возможность подавления спектральной зависимости биконического сплавного разветвителя, выполненного из пары номинально идентичных волокон, у одного из которых на участке, сопрягаемом с другим волокном, предварительно стравливалась часть кварцевой оболочки. Хорошо отработанный и контролируемый процесс травления оболочки позволял получать волокна с наперед заданными геометрическими параметрами. Перед сплавлением волокна по аналогии с [4, 6] определенным образом скручивались друг с другом, сплавлялись и растягивались для получения адиабатического биконического перехода.

В процессе сплавления и растяжения сплавленного оболочками участка сопряженных волокон осуществляется контроль за качеством процесса сплавления посредством отслеживания хода перекачки мощности из возбужденного излучателем волокна в ответвление. На рис. 1 схематически представлена структура биконического сужения разветвителя, где  $P_0$  – мощность излучения во входном волокне, 1 – входное волокно, 2 – прямоточное выходное волокно, 3 – выходное волокно-ответвление.



Рис. 1. Структура биконического сужения разветвителя

Как известно, например [8], мощности на выходе прямоточного волокна  $P_2$  и волокна ответвления  $P_3$  по мере растяжения области сплавления волокон изменяются по закону:

$$P_2 = P_0 \sin^2(c), \quad P_3 = P_0 \cos^2(c), \quad (1)$$

где  $c \approx 0,5|\varphi_e - \varphi_0|$ ,  $|\varphi_e - \varphi_0|$  - фазовый сдвиг между симметричной и антисимметричной модами в определенный момент растяжения в том сечении расширяющегося конуса, где моды вновь преобразуются в собственные моды исходных одномодовых волокон.

При изготовлении одноволнового разветвителя этот процесс контролируется на рабочей длине волны разветвителя. Процесс останавливается в момент достижения необходимого коэффициента связи  $C_R$  между волокнами, определяемого по формуле:

$$C_R = 10 \lg \frac{P_2}{P_2 + P_3}, \quad (2)$$

При изготовлении двухволновых разветвителей в процессе исследований контролировались выходные мощности на обеих рабочих длинах волн.

В данном случае, поскольку деление по каналам 2 и 3 на обеих длинах волн при равных  $P_0$  должны совпадать, т.е.  $P_2\lambda_1 = P_2\lambda_2$  и  $P_3\lambda_1 = P_3\lambda_2$ , то очевидно, что необходимо добиться того, чтобы в какой-то момент растяжения области сплавления волокон фазовые сдвиги симметричной и антисимметричной мод на обеих длинах волн совпадали.

На рис. 2а приведены полученные в наших экспериментах кривые изменения мощности на выходе прямого канала разветвителя в процессе растяжения области сплавления с совпадающими по внешнему диаметру в этой области волокнами. На рисунке обозначены пересечения кривых в точках А, В и С. Отметим, что кривые на рис. 2 аналогичны полученным в работе [4] и согласуются с соотношениями (2). При наличии определенных технических возможностей остановка процесса растяжения в точке, соответствующей заданному коэффициенту деления, позволила бы получить необходимый разветвитель. Однако на практике это оказывается трудно достижимым по двум основным причинам. Во-первых, из-за не совсем полного совпадения параметров номинально идентичных волокон практически невозможно обеспечить повторяемость взаимоположения кривых, а, следовательно, и получение заранее ожидаемого результата. Во-вторых, механизмы, осуществляющие растяжение, нагревательное устройство, схема контроля обладают определенными точностными ограничениями в воспроизведении технологических операций. А, как мы видим, в точках пересечения В и С кривые обладают значительной крутизной, и незначительные неточности, в данном случае в отслеживании и фиксации момента остановки растяжения, приведут к значительному расхождению с требуемым результатом.

Перечисленные факторы препятствуют реализации существующей теоретической возможности получения разветвителя с равными коэффициентами деления на обеих длинах волн.

Анализ приведенных кривых показывает, что для гарантированного получения разветвителя с заданными параметрами необходимо:

1. Уменьшение соотношения  $\Delta R/\Delta L$  в точке пересечения;

2. Обеспечение повторяемости местоположения пересечения кривых в соответствии с заданным  $C_R$ .

Очевидно, что наиболее благоприятным для выполнения этих условий является пересечение в пределах первого биения кривых. Причем наиболее привлекательными являются участки их перегиба (точки А на рис. 2), т.е. окрестности точек, со-

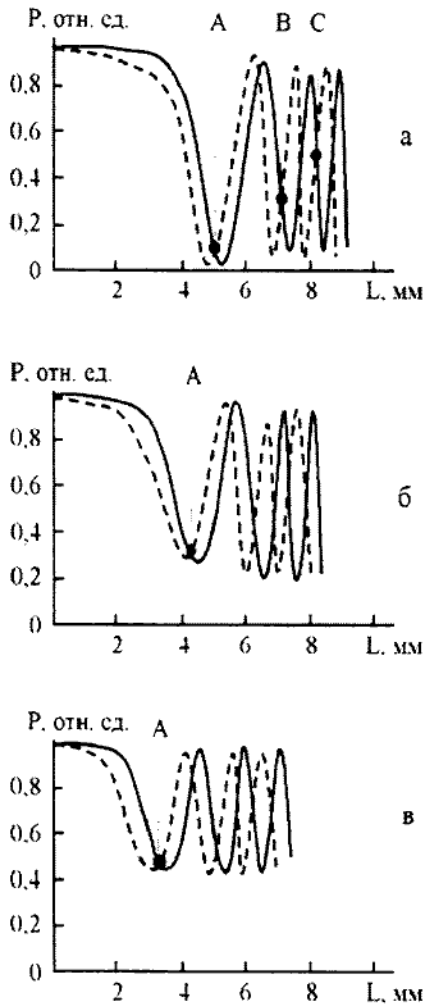


Рис. 2. Изменение мощности на выходе разветвителя в процессе его изготовления

$$-\lambda_1 = 1,31 \text{ мкм}, \text{ -- } \lambda_2 = 1,55 \text{ мкм}$$

ответствующих  $\frac{dP}{dL} = 0$ . При этом необходимо добиться того, чтобы соотношение  $P_3 : P_4$  (на обеих длинах волн) соответствовало заданной величине. Это возможно только при условии, когда  $|\varphi_e - \varphi_0| \neq n\pi$  в этих точках на обеих длинах волн. Причем для обеспечения повторяемости соотношения  $P_3 : P_2$  должны быть созданы технологические условия, которые определенно могли бы задавать необходимое фазовое отставание взаимодействующих друг с другом мод на  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  и легко контролировались. Такими контролируемыми параметрами в наших экспериментах являлись длина  $l$  и диаметр  $d$  протравленного участка одного из сплавляемых друг с другом световодов и шаг скрутки протравленного световода с непотравленным. Последний параметр и определяет фазовое отставание и обуславливается параметрами  $l$  и, в большей степени,  $d$ . В наших экспериментах  $l$  задается конструкцией оборудования для травления и во всех опытах оставалась неизменной. Шаг скручивания определялся конструктивными особенностями сварочного оборудования и также оставался неизменным. Варьировался лишь параметр  $d$ , который при идентичности всех технологических условий, связанных со сплавлением и растяжением сплавляемых волокон в конечном итоге и определял шаг скручивания  $\delta$ .

На рис. 2б и 2в приведены кривые изменения мощностей  $P_{2\lambda_1}$  и  $P_{2\lambda_2}$ , со-

ответственно, для длин волн 1,31 мкм и 1,55 мкм по мере растяжения области сплавления волокон  $L$ . Кривая на рис. 2б соответствует разветвителю с протравленным

световодом до диаметра  $d = 115$  мкм, а рис.2в – до  $d = 110$  мкм. Точками А на обоих рисунках обозначены пересечения кривых  $P_{2\lambda_1}(L)$  и  $P_{2\lambda_2}(L)$  на выходе прямого световода. В сравнении с кривыми на рис.2а, наблюдаются более пологие изгибы в первом их пересечении, что упрощает технологическую задачу прекращения растяжения в момент пересечения кривых. Вместе с тем мы видим, что положение первых максимумов перекачки (минимумы кривых) наряду с общим уровнем остальных максимумов перекачки мощности в смежный световод с изменением  $d$  изменяется. Уменьшение  $d$  ведет к уменьшению уровня перекачиваемой мощности. Это свидетельствует о возможности получения разветвителя с необходимым соотношением  $P_3:P_2$  путем подбора соответствующего значения  $d$ .

Таким образом, экспериментальные исследования метода сплавления разветвителя из идентичных световодов, оболочка одного из которых вдоль участка сопряжения с другим световодом частично стравлена, показали реальную возможность использования метода для получения разветвителей с совпадающими соотношениями деления мощности по выходным каналам для двух заданных рабочих длин волн.

#### Литература

1. Пат. 4798438 США, МКИ G 02 В 6/42. Method of making a single-mode evanescent-wave coupler having reduced wavelength dependence / Moore D., Marcus M. – Оpubл. 17.01.89.
2. Moore D., Tekippe V. Wavelength-dependent coupling in single-mode fused biconical taper couplers // SPIE. – 1986. – Vol. 722. – P. 11-18.
3. Dahlmeyer D. Messungen an LWL-Komponenten bei verschiedenen Wellenlängen // NTZ Informationstechn.+ Telecommun. – 1998. – Т. 51, N 8. – S. 50-53.
4. Mortimore D.B. Wavelength-flattened fused couplers // Electron. Lett. – 1985. – Vol. 21, N 17. – P. 742-743.
5. Пат. ЕПВ 0293289 А2, МКИ G 02 В 6/28. Wavelength independent coupler and method of manufacture thereof / Sweeny K., Corke M., Schmidt K. – Оpubл. 30.11.88, Bull. 88/48.
6. Takeuche Y., Node J. Novel fiber coupler tapering process using a microheater // IEE Photonics Technology Letters. – 1992. – Vol. 4, N 5. – P. 465-467.
7. Пат. Великобрит. 2191597 А, МКИ G 02 В 6/26. Interwined monomode fibre-optic coupler / Stewart W. – Оpubл. 12.1987.
8. Payne F.P. Fused single-mode optical fibre couplers // J. Inst. Electronics and Telecom. Engrs. – 1986. – Vol. 32, N 4. – P. 319-326.

## УСТОЙЧИВОСТЬ К СИНУСОИДАЛЬНЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ ПЛОСКОЙ ДОМЕННОЙ ГРАНИЦЫ

Вилесов Ю. Ф., к.т.н., в.н.с., Грошенко Н. А., к.х.н., профессор

Периодические доменные структуры находят широкое применение в качестве перестраиваемых магнитооптических дифракционных решеток в оптоэлектронике: в магнитооптических дефлекторах, спектроанализаторах, датчиках магнитного поля, магнитоуправляемых лазерах и т.д. [1,2]. Следует ожидать, что доменная решетка с дисклинациями при магнитооптической дифракции будет действовать как магнитная голограмма оптического вихря и преобразовывать фундаментальный гауссов пучок в волну, переносящую угловой момент импульса [3 - 6]. Дисклинации доменной структуры существенно влияют на параметры продифрагировавшего излучения, и от них необходимо либо избавляться (в дефлекторах, спектроанализаторах, лазерах), либо индуцировать их для получения оптических вихрей. Поэтому задача согласования параметров магнитооптических материалов весьма актуальна, и связь магнитных параметров пленки (например, поля анизотропии) с качеством доменной решетки, рассмотренная в данной работе, позволяет оптимизировать технологию синтеза магнитооптических материалов для конкретных технических применений.

В пленках магнитооптического материала с осью анизотропии, перпендикулярной поверхности пленки и фактором качества порядка единицы  $q = \frac{H_k}{4\pi M_s} \geq 1$

при отсутствии внешних магнитных полей и оси анизотропии в плоскости пленки реализуется лабиринтная доменная структура. Возникновение лабиринтной структуры связано с тем, что доменная граница, как аналог проводника с током, неустойчива относительно деформаций изгиба [7, 8]. Магнитное поле, возникшее при малой деформации проводника с током, стремится увеличить эту деформацию. В итоге прямые доменные границы оказываются энергетически невыгодными по сравнению с искривленными, что и приводит к появлению лабиринтной доменной структуры.

В опубликованной к настоящему времени литературе довольно много работ, исследующих стабилизирующее действие на доменную структуру магнитных полей (например, [1, 2, 9, 10]). В настоящей работе исследуется стабилизирующее действие плоскостной составляющей вектора анизотропии в магнитных пленках с анизотропией типа “легкая ось”

Наличие составляющей поля анизотропии в плоскости пленки приводит к тому, что вектор намагниченности в доменах поворачивается под действием этого поля на некоторый угол относительно нормали в направлении плоскостной составляющей вектора анизотропии. Такой поворот вектора намагниченности в доменах уменьшает угол поворота вектора намагниченности в доменных стенках, ориентированных вдоль вектора анизотропии в плоскости пленки. Поэтому энергия доменных стенок, ориентированных вдоль направления анизотропии в плоскости пленки, уменьшает-



ся. Для доменной структуры становится энергетически выгодным ориентироваться вдоль поля анизотропии в плоскости пленки.

Для рассмотрения вопроса об изгибной неустойчивости плоской доменной границы вычислим полную энергию синусоидально возмущенной доменной границы в эффективном магнитном поле с постоянным градиентом (Рис. 1). Поворот доменной границы относительно оси легкого намагничивания приведет к повышению удельной энергии доменной границы, и появлению некоторых компенсирующих сил, стремящихся вернуть границу в исходное состояние. Эти упругие силы можно интерпретировать как результат действия некоторого эффективного градиентного магнитного поля. Величина этих сил, и, соответственно, эффективного градиентного магнитного поля, для синусоидально возмущенной границы пропорциональна отношению:  $H_z \sim 2B_s / \Lambda_s$ , где  $B_s$  - амплитуда синусоидального возмущения доменной границы,  $\Lambda_s$  - период синусоидального возмущения.

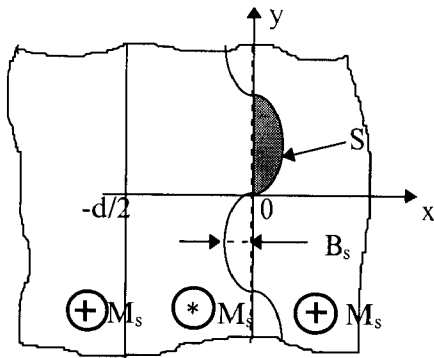


Рис. 1. Полосовой домен с одной плоской и одной синусоидально возмущенной границей.

Считаем также, что величина поля одноосной анизотропии много больше плоскостной составляющей поля анизотропии, и вклад плоскостной анизотропии в общую энергию системы полностью учитывается введенным нами эффективным магнитным полем. Будем считать, что эффективное поле направлено перпендикулярно поверхности магнитной пленки, и в исходном (невозмущенном) состоянии плоской доменной границы равно нулю. Для возмущений с постоянным периодом  $\Lambda_s$  поле изменяется вдоль оси  $x$  как:

$$H_z(x) = \alpha x / \Lambda_s \quad (1)$$

где  $\alpha$  - некоторый постоянный коэффициент, зависящий от величины соотношения между плоскостной составляющей поля анизотропии и нормальной к поверхности магнитной пленки. Равновесное положение границы при  $\alpha > 0$  соответствует координате  $x=0$ .

Изменение энергии доменной структуры в введенном нами эффективном магнитном поле, обусловленное изгибом границы:

$$\Delta W_H = 4M_s \frac{\alpha}{\Lambda_s} t \frac{L_y}{\Lambda_s} \int_S x dS \quad (2)$$

где  $t$  - толщина магнитной пленки,  $\frac{L_y}{\Lambda_s}$  - количество изгибов доменной грани-

цы, а интегрирование проводится по площади ее полупериода  $S$  (см. Рис. 1). Интеграл (2) вычисляется следующим образом:

$$\int_S x dS = \int_0^{\frac{\Lambda_s}{2}} dy \int_0^{B_s \sin k_s y} x dx = \frac{\pi B_s^2}{4k_s} \quad (3)$$

где  $k_s = \frac{2\pi}{\Lambda_s}$ . Таким образом,

$$\Delta W_H = \frac{M_s B_s^2 \alpha L_y}{2\Lambda_s} \quad (4)$$

Изменение поверхностной энергии с ее поверхностной плотностью  $\sigma$  характеризуется формулой [9]:

$$\Delta W_s = \sigma \frac{2tL_y}{\Lambda_s} \int_0^{\Lambda_s} dy \left( \sqrt{1 + B_s^2 k_s^2 \cos k_s y} - 1 \right) \approx \frac{\sigma B_s^2 k_s^2 L_y}{4} \quad (5)$$

Изменение магнитостатической энергии синусоидально деформированной границы при  $d = \infty$  определяется выражением:

$$\Delta W_M = -4M_s^2 L_y B_s^2 \left\{ K_0(k_s t) + \gamma - \ln \frac{k_s t}{2} \right\} \quad (6)$$

где  $\gamma = 0,5772$  - постоянная Эйлера,  $K_0$  - функция Макдональда.

Суммируя все виды изменения энергии деформированной границы, получаем:

$$\Delta W_M = 4\pi M_s^2 L_y B_s^2 \left[ \tilde{\Phi}(k_s t) + \frac{\alpha t}{8M_s \Lambda_s} \right] \quad (7)$$

Здесь

$$\tilde{\Phi}(k_s t) = \frac{\sigma(k_s t)^2}{16M_s^2 t} - \gamma - \ln \frac{k_s t}{2} - K_0(k_s t) \quad (8)$$

Анализируя (7) с учетом графической зависимости  $\tilde{\Phi}$  от  $(k_s t)$  (рис. 2), приходим к выводу, что при отсутствии эффективного поля ( $\alpha=0$ ) плоская доменная граница в одноосной ферритгранатовой пленке (в гранатových магнитных пленках, как правило,  $t/d < 1$ ) неустойчива относительно увеличения амплитуды деформации  $B_s$ , так как при этом приращение энергии  $\Delta W$  становится отрицательным. Минимальное значение градиента поля  $\alpha/\Lambda_s$ , при котором плоская доменная граница еще устойчива, находится, очевидно, из условия обращения в нуль приращения энергии  $\Delta W$  при минимально возможном значении функции  $\tilde{\Phi}$ , что определяется соотношениями:

$$\frac{\alpha}{\Lambda_s} = \frac{8M_s}{t} \left[ K_0(k_s t) + \ln \frac{k_s t}{2} + \gamma - \frac{\sigma k_s^2}{16M_s} \right] \quad (9)$$

$$\frac{\sigma k_s^2}{16M_s^2} - \frac{1}{k_s t} + K_1(k_s t) = 0 \quad (10)$$

где  $K_1$  - функция Макдональда. Уравнение (10) определяет период возникающих возмущений.

Из анализа выражения (7) и рис. 2 видно, что при положительных значениях функции  $\tilde{\Phi}$  в магнитной пленке устанавливается спонтанная параллельная периодическая доменная структура с полосовыми доменами. Однако большинство практически используемых ферритгранатовых пленок обладают соотношением толщины к периоду доменной структуры меньше единицы, что соответствует отрицательному значению функции  $\tilde{\Phi}$ . Поэтому в ферритгранатовых пленках, как правило, реализуется лабиринтная доменная структура. Реализующаяся в некоторых образцах магнитных пленок периодическая полосовая доменная структура может быть обусловлена рассмотренным нами вкладом поля плоскостной анизотропии в общую энергию магнитной пленки. Отрицательные значения функции  $\tilde{\Phi}$  частично компенсируются положительными значениями энергии плоскостного поля анизотропии, что приводит к возникновению положительных значений  $\Delta W$  при  $t/d$  близком к нулю (дополнительная энергия, обусловленная вкладом поля плоскостной анизотропии,

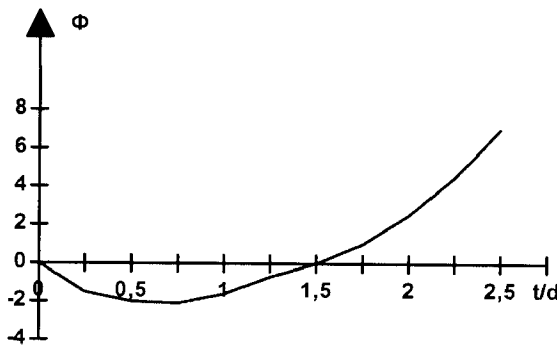


Рис. 2. Качественное поведение функции  $\tilde{\Phi}(k_s t)$ ,

“сместит” кривую на рис. 2 вверх). Именно наличием плоскостной составляющей поля анизотропии можно объяснить наблюдающееся в некоторых образцах магнитных пленок образование спонтанной плоскопараллельной доменной структуры при отношении  $t/d \ll 1$ .

Проведенное нами рассмотрение поведения полосовых доменов в магнитных пленках с плоскостной составляющей поля анизотропии, несмотря на свой приближенный характер, определяет условия стабильности плоской доменной грани-

цы относительно изгибных деформаций и объясняет наблюдающуюся в некоторых образцах магнитных пленок плоскопараллельную доменную структуру.

#### Литература

1. Балбашов А.М., Червоненкис А.Я. Магнитные материалы для микроэлектроники//М. “Энергия” 1979. с. 21 - 65.

2. Вилесов Ю.Ф. Грошенко Н.А. Магнитная оптоэлектроника/Симферополь, "Таврия" 1995, 230 с.
3. J.F. Nye. Polarization effects in the diffraction of electromagnetic waves: the role of disclinations. // Proc.R.Soc.Yond, 1983,v.A387, p.105-132.
4. Н.А. Грошенко, А.В. Воляр, Т.А. Фадеева, Векторное рассеяние света на профилированных доменных решетках/Письма в ЖТФ,1996, в. 15, с. 37-41.
5. N. Groshenko, T. Fadeyeva, A. Volyar, Optical vortex diffraction from the magnetic domain structure. /Nonlinear Optics of Liquid and Photorefractive Crystal, SPIE 1995. v. 2649, p. 212-215.
6. А.В. Воляр, Т.А. Фадеева, Н.А. Грошенко, Угловой момент импульса полей маломодового волокна: II. Конверсия углового момента. /Письма в ЖТФ,1997, в. 22, с. 58-65.
7. Hagedorn F.B. Instability of an isolated straight magnetic domain wall//J. Appl. Phys. - 1970. - 41, №3. p. 1161 - 1162.
8. Schlomann E. Wall-displacement waves in bubble films//Intern. conf. magnetism, Moscow, August. 1973. P. 22 - 28.
9. Барьяхтар В.Г., Горобец Ю.И. Цилиндрические магнитные домены и их решетки//Киев, "Наукова думка" 1988 с. 133 - 135.
10. Герус С.В., Лисовский Ф.В., Мансветова Е.Г. Магнитооптические дифракционные решетки.//Микроэлектроника, т. 10, В. 6, 1981, С. 506 - 515.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ШУМОВ В ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРАХ

Глумова М. В., Воробьев М. Д.

*Аннотация* - Рассмотрены способы моделирования основных компонент низкочастотного (НЧ) шума, проведено сопоставление результатов моделирования при использовании различных алгоритмов с экспериментальными данными

Как известно, шумовые способы контроля качества электровакуумных приборов /ЭВП/ являются основой для диагностирования состояния наиболее подверженного деградации катодно-подогревательного узла и своевременного выявления содержащихся в нем дефектов. Максимально информативными шумовыми компонентами, измерение и моделирование которых может быть положено в основу создания комплекса неразрушающих методов контроля, являются компоненты низкочастотного шума тока, отбираемого с катода.

Традиционной основой для моделирования шумовых компонент в ЭВП является классическое решение Ленгмюра для токопрохождения в плоском диоде с термокатодом [1]. Как известно, полномасштабное решение с учетом распределения эмиттированных электронов по начальным скоростям требует использования численных методов. Этапы моделирования зависят от вида рассматриваемой шумовой компоненты и включают в себя использование аналитических соотношений, полученных в результате теоретического анализа с рядом упрощающих предположений. Именно по такому принципу созданы модели дробовой и фликкерной компонент НЧ шума в плоском диоде, которые описаны ниже.

С использованием современных вычислительных средств стало возможным достаточно быстрое проведение громоздких вычислений, связанных с реализацией алгоритмов расчета дробового шума, и в том числе с расчетом основной величины, определяющей уровень дробового шума – коэффициента депрессии  $\Gamma^2$ . Следует отметить, что расчеты  $\Gamma^2$ , выполненные с минимальным числом упрощений, требуют больших затрат машинного времени, в то время как занимающие незначительное машинное время расчеты этой же величины по известному упрощенному алгоритму дают мало отличающиеся результаты. Последние, однако, ограничены режимом глубокого пространственного заряда, вследствие чего недоступной для расчета оказывается переходная область к режиму насыщения.

Важной проблемой при моделировании является неоднородность прикатодного электрического поля, для решения которой приходится прибегать к значительным приближениям и упрощениям. Очевидно, что сложности, связанные с расчетами в переходном режиме и при неоднородном электрическом поле, представляют серьезное препятствие на пути развития моделирования в принятом направлении. Дополнительным препятствием служит также значительное расхождение результатов моделирования и экспериментальных значений уровней шума реальных ЭВП (рис.1).

Модель другой компоненты НЧ шума – фликкер- шума катодного тока, также основана на решении Ленгмюра [1]. Хотя расчеты фликкер-шума переходных режимов, в отличие от дробовой компоненты, не требуют больших затрат машинного времени из-за большей чувствительности фликкер-шума к запасу катода по эмис-

сии, проблемы, связанные с учетом неоднородности электрического поля в прикатодной области, сохраняются.

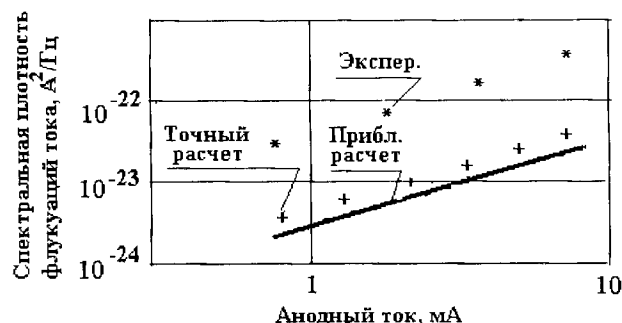


Рис.1. Зависимость шума от анодного тока, рассчитанная с использованием уточненного и приближенного алгоритмов, полученная в результате эксперимента температура катода-970 К, межэлектродное расстояние- 0,04см, площадь катода- 0,113см<sup>2</sup>

Шагом вперед, позволяющим, на наш взгляд, подойти к принципиально иному решению описанных проблем при моделировании НЧ шумов, является использование динамической модели электронного потока. Для создания модели был применен метод крупных частиц [2]. Математическое обоснование разработанной динамической модели, алгоритм и численные методы ее реализации приведены в [3,4].

Достоинствами предлагаемой модели являются ее возможности, явно недоступные при моделировании с использованием аналитических соотношений. Перечислим некоторые из них: расчет характеристик электронных потоков в переходных режимах к насыщению, расчет шумовых характеристик с учетом различного расположения флукутаторов на эмиттирующей поверхности, возможность непосредственного определения демпфирующего влияния на шум прикатодного пространственного заряда, возможность изучения переходных процессов формирования электронного потока при изменении потенциалов электродов, возможность осуществления широкого спектра численных экспериментов в ЭВП со сложной системой электродов.

Исследованию флуктуационных процессов на базе предложенной динамической модели электронного потока должно предшествовать проведение численных экспериментов с целью определения работоспособности и ограничений при использовании. В плане таких экспериментов смоделированы ВАХ плоских диодов, имеющих одинаковую площадь эмиттирующей поверхности катода и различные площади анода и катодной поверхности (рис.2). Случай а - соответствует равным площадям катода, анода и эмиттирующей поверхности, в случае б - площадь эмиттирующей поверхности значительно меньше, чем площади катода и анода.

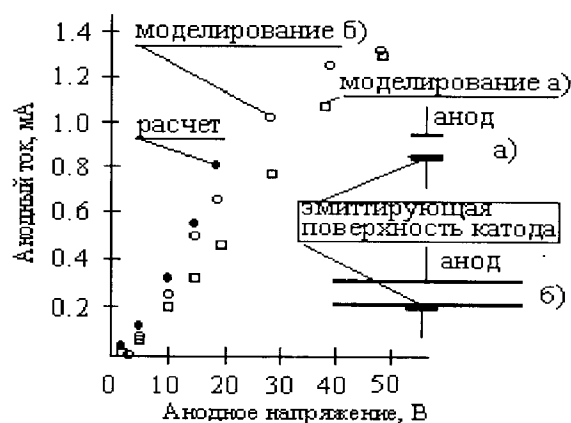


Рис.2. Вольт-амперные характеристики плоских диодов, имеющих одинаковую площадь эмиттирующей поверхности катода и различные площади анода и катодной поверхности (случай а и б)

Здесь же приведена ВАХ, рассчитанная с учетом начальных скоростей электронов по известным аналитическим соотношениям [1] для идеального диода. Из сопоставления полученных данных очевидно, что предлагаемая модель обеспечивает формирование непрерывного переходного участка ВАХ. В целом рассчитанные значения токов оказываются завышенными по сравнению с численным экспериментом, причем, как и следовало ожидать, расхождение снижается при подавлении краевых эффектов за счет протяженного катода, но не устраняется полностью.

Таким образом в работе показаны недостатки расчетных моделей, использующих аналитические соотношения, сводящиеся в основном к трудностям описания переходных режимов токопрохождения и приближенному характеру учета неоднородности электрических полей. Предложено использовать для моделирования НЧ шумов динамическую модель электронного потока. Приведены некоторые результаты численных экспериментов.

### Литература

1. Шумы в электронных приборах и устройствах. Под ред Л.Смулина и Г.Хауса. М.1964г. с.47-51
2. А.С.Рошаль Моделирование заряженных пучков М.Атомиздат.1979г. с 497.
3. М.В.Глумова, М.Д.Воробьев Моделирование шумов в электронном потоке //Шумовые и деградиационные процессы в полупроводниковых приборах (метрология, диагностика, технология): Материалы докладов международного науч.-техн. семинара М:1999.с.249-253.
4. М.В.Глумова, А.А.Шадрин Динамическое моделирование электронно-лучевых приборов методом крупных частиц. сб. Динамические системы. вып.13,1994.с.57-60.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ  
В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНКАХ ФЕРРИТ-ГРАНАТОВ  
С РАЗОРИЕНТИРОВАННЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ**

*Дубинко С. В., кандидат физико-математических наук, доцент*

Эпитаксиальные пленки феррит-гранатов (ЭПФГ) имеют сложный характер магнитной анизотропии. В настоящее время разработаны методики измерения констант магнитной анизотропии для ЭПФГ с кристаллографическими ориентациями поверхностей (111) и (110).

В данной работе предлагается методика определения констант магнитной анизотропии  $K_u$  – одноосной,  $K_{ort}$  – ромбической,  $K_1$  – кубической в ЭПФГ с промежуточными ориентациями поверхностей от (111) до (112). В литературе расчетные формулы для определения констант магнитной анизотропии для ЭПФГ с промежуточными ориентациями поверхностей от (111) до (112) не приводятся.

Предлагаемая методика основана на измерении резонансных магнитных полей методом ферромагнитного резонанса (ФМР) [1].

Запишем магнитную энергию ЭПФГ в системе координат, показанной на рис.1, в виде:

$$\begin{aligned}
 U = & HM_s (\sin \theta \sin \varphi \sin \beta + \cos \theta \cos \beta) + 2\pi M_s^2 \cos^2 \theta + \left( -\frac{3}{8} K_{ort} + 6(\eta - \delta) K_{ort} \right) \sin^2 \theta \sin^2 \varphi + \\
 & + \left( K_u - \frac{1}{8} K_{ort} - 6(\delta + \eta) K_{ort} \right) \cos^2 \theta + 6 K_{ort} (\delta \sin^2 \theta + \chi \sin \varphi \cos 2\theta) + \\
 & + K_1 \left[ \frac{\sin^4 \theta \cos^4 \varphi}{4} + \left( \frac{7}{32} + \frac{\eta - \delta}{2} \right) \sin^4 \theta \sin^4 \varphi + \left( \frac{7}{32} + \frac{\eta + \delta}{2} \right) \cos^4 \theta + \right. \\
 & + \left( \frac{1}{16} + \frac{3\delta}{4} \right) \sin^4 \theta \sin^2 2\varphi + \left( \frac{1}{16} - \frac{3\delta}{4} \right) \sin^2 2\theta \cos^2 \varphi + \lambda \sqrt{2} \sin^3 \theta \cos \theta \cos^2 \varphi \sin \varphi - \\
 & \left. - \frac{\lambda + \nu}{\sqrt{18}} \sin^3 \theta \cos \theta \sin^3 \varphi + \frac{\nu - \lambda}{\sqrt{18}} \sin \theta \cos^3 \theta \sin \varphi + \left( \frac{7}{64} - \frac{3}{4} \eta \right) \sin^2 2\theta \sin^2 \varphi \right]
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\delta = \frac{\cos 2\alpha}{12} - \frac{\sin 2\alpha}{\sqrt{18}}; \quad \eta = \frac{7 \cos 4\alpha}{48} + \frac{\sin 4\alpha}{2\sqrt{18}};$$

$$\chi = \frac{\cos 2\alpha - \cos 4\alpha}{2\sqrt{18}} + \frac{2 \sin 2\alpha + 7 \sin 4\alpha}{48};$$

$$\lambda = \cos 2\alpha + \frac{\sqrt{18}}{12} \sin 2\alpha; \quad \nu = \cos 4\alpha - \frac{7\sqrt{18}}{24} \sin 4\alpha.$$

Расчет констант магнитной анизотропии проводился по методу Смита-Сула [1]. Резонансное соотношение этого метода записано ниже:



$$\omega/\gamma = (d^2E/d\theta^2 \cdot d^2E/d\varphi^2 - d^2E/d\theta d\varphi)^{1/2} / M_0 \sin\theta, \quad (2)$$

где  $\omega$  - частота ФМР,  $\gamma$  - гиромагнитное отношение.

Равновесное положение вектора  $\vec{M}$  определялось из выражения:

$$dE/d\theta = dE/d\varphi = 0. \quad (3)$$

Равенство  $dE/d\theta = 0$  справедливо при  $\varphi = \pi/2$ , из этого следует, что вектор  $\vec{M}$  при положении поля  $\vec{H}$  в плоскости  $(\bar{1}10)$  не выходит из этой плоскости. Следовательно, для ФМР-измерений эффективно применять именно эту кристаллографическую плоскость. Выражения для  $dE/d\theta = 0$  при  $\varphi = \pi/2$ ,  $d^2E/d\theta^2$ ,  $d^2E/d\varphi^2$ ,  $d^2E/d\theta d\varphi$  не приводятся, так как имеют достаточно громоздкий вид.

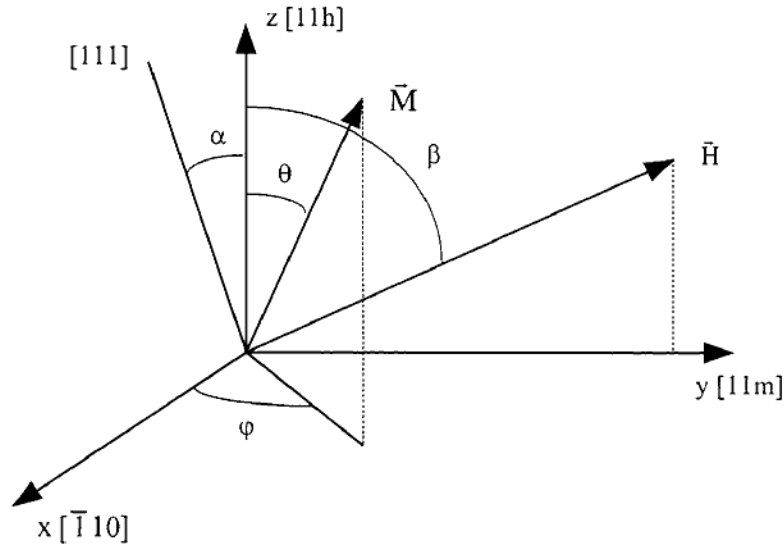


Рис. 1. Система координат, связанная с поверхностью ЭПФГ с ориентацией (11h)  
 $\alpha$  - угол разориентации поверхности ЭПФГ от ориентации (111)

При выводе выражения (4) предполагалось, что разность  $(\theta-\beta)$  мала, тогда  $\cos(\theta-\beta) \approx 1$ . Для определения степени отклонения вектора  $\vec{M}$  от вектора  $\vec{H}$  во время измерения резонансного магнитного поля, было использовано выражение  $dE/d\theta = 0$  при  $\varphi = \pi/2$ , что позволило при условии  $\cos(\theta-\beta) \approx 1$  получить формулу (1), в которую угол  $\beta$  не входит. Тогда резонансное соотношение Смита-Сула имеет вид:

$$\left(\frac{\omega}{\gamma}\right)^2 = \left\{ H - \left( 4\pi M_s + \frac{2K_u}{M_s} + \frac{1}{2} \frac{K_{ort}}{M_s} - 12 \frac{K_{ort}}{M_s} (\delta + 2\eta) \right) \cos 2\theta - \frac{24K_{ort}}{M_s} \chi \sin 2\theta + \right. \\ \left. + \frac{2K_l}{M_s} \left[ 6 \sin^2 \theta \cos^2 \theta (x_1 + x_2) - 2x_1 \sin^4 \theta - 2x_2 \cos^4 \theta + 2 \frac{\lambda - 4\nu}{\sqrt{18}} \sin \theta \cos^3 \theta + \right. \right. \\ \left. \left. + 2 \frac{\lambda - 4\nu}{\sqrt{18}} \sin \theta \cos^3 \theta + 2 \frac{\lambda + 4\nu}{\sqrt{18}} \sin^3 \theta + 4x_5 \cos 4\theta \right] \right\} \cdot \left\{ H - \left( 4\pi M_s + \frac{2K_u}{M_s} + \frac{1}{2} \frac{K_{ort}}{M_s} - \right. \right. \quad (4) \\ \left. \left. - 12 \frac{K_{ort}}{M_s} (\delta + 2\eta) \right) \cos^2 \theta + \frac{3}{4} \frac{K_{ort}}{M_s} + 12 \frac{K_{ort}}{M_s} (\delta - \eta) - 12 \frac{K_{ort}}{M_s} \chi \sin 2\theta + \frac{2K_l}{M_s} \left[ - 2x_1 \sin^4 \theta - \right. \right. \\ \left. \left. - 2x_2 \cos^4 \theta + 4x_3 \sin^2 \theta + 4x_4 \cos^2 \theta + \frac{\lambda + \nu}{2\sqrt{18}} \sin^3 \theta \cos \theta + \frac{\lambda - 7\nu}{2\sqrt{18}} \sin \theta \cos^3 \theta + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{5\lambda + 3\nu}{4} \sqrt{2} \sin 2\theta - 2x_5 \sin^2 2\theta \right] \right\},$$

$$\text{где } x_1 = \frac{7}{32} + \frac{\eta - \delta}{2}; \quad x_2 = \frac{7}{32} + \frac{\eta + \delta}{2}; \quad x_3 = \frac{1}{16} + \frac{3\delta}{4}; \quad x_4 = \frac{1}{16} - \frac{3\delta}{4}; \\ x_5 = \frac{7}{64} - \frac{3\eta}{4}.$$

Порядок определения  $K_w$ ,  $K_{ort}$ ,  $K_l$ ,  $g$ -фактора принимался следующий.

1. Измерялась зависимость поля ферромагнитного резонанса  $H_{рез}$  от  $\theta$ .
2. Численным методом по формуле (4) производился расчет параметров ЭПРФГ. Алгоритм вычислений построен таким образом, чтобы с ее помощью можно было вычислить  $H_{рез.теор.}$  по произвольно заданным  $K_w$ ,  $K_{ort}$ ,  $K_l$  и  $g$ -фактора при известном значении намагниченности насыщения  $4\pi M_s$ .
3. Вычислялось средне квадратичное отклонение  $S = [\sum \Delta H_{hip}^2 / N(N-1)]^{1/2}$

где  $\Delta H_{рез.} = H_{рез.эк.} - H_{рез.теор.}$ , где  $H_{рез.эк.}$  - резонансное поле, полученное экспериментально, а  $H_{рез.теор.}$  - получено из (4).  $H_{рез.эк.}$  и  $H_{рез.теор.}$  сравнивались для одинаковых  $\theta$ .

4. Материальными константами считались величины  $K_w$ ,  $K_{ort}$ ,  $K_l$  и  $g$ -фактора, при которых  $S$  достигало минимального значения. На рис. 2 показана типичная зависимость  $H_{рез.эк.}$  (сплошная линия) и  $H_{рез.теор.}$  (пунктирная линия) от  $\theta$ .

С помощью предлагаемой методики были определены константы магнитной анизотропии ЭПФГ с составами близкими к  $(Bi, Lu)_3 Fe_5 O_{12}$  с разбавлением ионной подрешетки ионами галлия. Полученные результаты приведены в таблице 1. Намагниченность насыщения  $4\pi M_s$  измерялась вибромагнитометром.

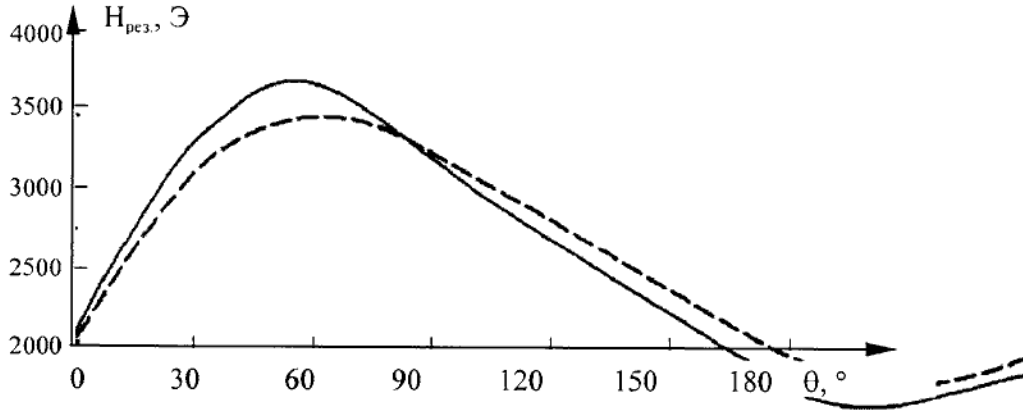


Рис. 2. Зависимость поля ферромагнитного резонанса  $H_{рез.}$  от  $\theta$

Таблица 1

Магнитные параметры ЭПФГ

$\alpha, ^\circ$	$4\pi M_s, \text{ Гс}$	$K_u \cdot 10^4, \text{ эрг/см}^3$	$K_u/2\pi M_s^2$	$K_{орт} \cdot 10^4, \text{ эрг/см}^3$	$K_{орт}/2\pi M_s^2$	$K_1 \cdot 10^4, \text{ эрг/см}^3$
0	410	32,185	0,30	0	0	1,23
4,1	380	80,047	0,88	27,93	0,31	6,65
8,3	400	47,060	0,47	17,98	0,18	10,10
11,2	650	35,880	0,14	19,66	0,07	20,80
15,3	350	18,865	0,25	9,80	0,13	16,80
19,4	370	2,812	0,03	4,80	0,06	15,54

Разработанная в данной работе методика определения параметров ЭПФГ, включающая в себя резонансное соотношение (4) и способ аппроксимации экспериментальной зависимости  $H_{рез.эк.}$  от  $\theta$  позволяет с большой степенью достоверности определять константы магнитной анизотропии пленки.

#### Литература

Гуревич А.С. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. – М.: Наука, 1973. – 591 с.

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Козелков С. В., кандидат технических наук, Пашков Д. П., Коваль И. Н.

Прежде всего определим и кратко охарактеризуем наиболее предпочтительные варианты и оптимальные (или квазиоптимальные) принципы построения сверхскоростных и/или широкополосных систем передачи информации по каналам СВЧ и КВЧ диапазонов, в которых используются спутники – ретрансляторы. Результаты исследования позволяют представить следующие рекомендации [1 – 6]:

а) тип канала – ретрансляционный (иногда и широкоэмиттерный) канал коллективного пользования с приоритетной, как правило, дисциплиной обслуживания и территориально разнесенным приемом на стационарные и/или подвижные (автомобильные, корабельные или самолетные) приемные терминалы, при этом использование информационной или решающей обратных связей практически нецелесообразно [2];

б) способ передачи – цифровой, с коммутацией и объединением пакетов сообщений [6];

в) тип космического аппарата – ретранслятора:

– высокоорбитальный или, предпочтительнее, геостационарный;

– многоцелевые и максимально тяжелые (для упрощения земных станций);

– с трехосной стабилизацией с точностью удержания  $\leq 0,5^\circ$  (в перспективе до  $0,1^\circ$ ) [2];

– с регенерацией цифрового сигнала и преобразованием вида модуляции (это обуславливает потерю прозрачности ретрансляционного канала к виду модуляции; избежать это возможно, если предусмотреть блокировку соответствующих блоков ретранслятора-регенератора [1]);

– с поствольным способом построения (один широкополосный канал на один отдельный ствол ретранслятора [2]);

г) метод ретрансляции – в реальном масштабе времени или, реже, задержанная ретрансляция с “запоминанием” информации на высокоскоростные цифровые магнитофоны или, в перспективе, на быстродействующие ОЗУ на цифровых магнитных дисках [2];

д) способ разделения каналов – частотное и, реже, временное разделение каналов (последнее связано с необходимостью запоминания и оперативного считывания достаточно больших объемов информации) [2];

е) метод доступа – многостанционный доступ с частотным (МДЧР) и/или временным (МДВР) разделением каналов – включая разновидность последнего: МДВР с коммутацией сигналов (МДВР - КС) с помощью многолучевой или сканирующей антенны (в случае с МДЧР целесообразно использовать принцип “один канал – одна несущая” [3]);

ж) вид передаваемого сигнала – ИКМ, дискретный, узкополосный (по отношению к несущей частоте с цифровой модуляцией обычно одно или двух (реже трех) параметров дискретного сигнала, с искусственной дисперсией спектра

сигналов на основе применения многоуровневых (троичных, квазитроичных или в форме сигналов вестевого отклика) сигналов [3];

Для высокоскоростных систем цифровой связи представляется целесообразным использовать квазикогерентные методы приема и обработки высокоскоростных информационных потоков, характеризующихся повышенной устойчивостью к влиянию флуктуаций, помех и изменений характеристик каналов передачи дискретных сообщений [6]. Для повышения энергии сигналов последние должны быть, безусловно, дискретными, а предпочтительным для высокоскоростной связи является прием этих сигналов методом стробирования, так как выигрыш в значении отношения сигнал-шум составляет (3 ... 6 дБ) [4].

Следует применять ретрансляторы с обработкой сигналов, обеспечивающие энергетический выигрыш порядка 5,6 дБ уже при однократной ретрансляции [6]. Однако необходимо учитывать, что современный уровень развития радиоэлементной базы СВЧ и КВЧ диапазонов волн и сверхбыстродействующей техники не позволяет, как правило, осуществить практическую реализацию ретрансляторов с обработкой дискретных сигналов для канальных (ствольных) скоростей передачи цифровой информации  $R > 10^8$  бит/с [6]. Необходимо использовать методы помехоустойчивого кодирования и соответствующие коды, в первую очередь высокоскоростные ( $R \geq 4/5 \div 8/9$ ) самоортогональные сверточные коды с минимальной избыточностью, допускающие сравнительно просто аппаратно реализуемое пороговое (мажоритарное) декодирование. Применение кодов указанного типа позволяет получить ЭВК порядка (2...3) дБ и более при сравнительно низких требованиях к качеству используемых каналов и минимальном уровне (и глубине) дополнительных МСИ. Кроме того не нужна блочная синхронизация, а также обеспечивается возможность безызыбыточного контроля циклового фазирования и достаточного оперативного контроля цифрового синхронизма.

При анализе специфики прохождения сверхширокополосных сигналов необходимо различать две основные группы задач:

- радиофизические;
- электродинамические.

Необходимость подобной классификации обусловлена прежде всего тем, что если исследования радиофизических аспектов прохождения сверхширокополосных сигналов имеет практический смысл лишь для линий связи с атмосферным участком, то вопрос электродинамики сверхширокополосных сигналов (как правило сверхкоротких импульсов) необходимо рассматривать во всех случаях, когда имеет место прием и передача этих сигналов с помощью антенных систем. В связи с этим ниже представлены две группы выводов, поставленных по полученным нами результатам изучения указанных выше классов задач.

Отметим, прежде всего, что атмосферные каналы связи имеют конечную частотную полосу пропускания, которая (в соответствии с известной моделью Колмогорова) достаточно быстро убывает при увеличении протяженности этого участка. Кроме того, существенной особенностью атмосферных каналов является значительное различие радиусов когерентности в вертикальном и горизонтальном

направлениях. Это обусловлено, прежде всего тем, что отражающие (аномальные) слои чередуются между собой в вертикальном направлении – обычно в нижних слоях, хотя встречаются и приподнятые (в основном – в период действия антициклонов) аномальные слои. Как правило, появление данных слоев наиболее вероятно в утренние часы, а, с прогреванием воздушных масс под воздействием прямых солнечных лучей, эти слои медленно поднимаются вверх и “рассасываются”. Поэтому состояние между вертикальным и горизонтальным радиусом когерентности не является постоянной величиной и зависит как от времени суток, так и от погодных и природных условий. Отметим также, что в силу определенных географических и геофизических особенностей полосовые свойства атмосферных каналов связи являются функцией взаимного местонахождения приемного и передающего пунктов и, в первую очередь, их широты. В целом, учет радиофизических особенностей прохождения широкополосных радиосигналов по атмосферным каналам (участкам каналов) должен сопровождаться оперативным прогнозом текущего состояния этого канала (участка канала) или, что проще (и удобнее в сложных условиях ... обстановки) влечет за собой введение определенных ограничений на характеристики (прежде всего геометрические) радиолиний. В частности, наземные пункты предпочтительнее размещать в высокоширотных (т.е. северных) и, особенно, в высокогорных районах. Последнее обусловлено тем, что нижние (наиболее плотные) слои атмосферы (до 3-5 км от поверхности Земли) вносят в основном вклад в частотно-селективные эффекты затухания СВЧ радиосигналов. Кроме того, для обеспечения высокой надежности каналов связи пункты приема широкополосных информационных потоков нецелесообразно размещать на плавсредствах, поскольку водная поверхность зачастую способствует возникновению наиболее ярко выраженного частотно-селективного эффекта – многолучевого распространения радиоволн. Многочисленные эксперименты показали (ATS – 5, ATS– 6, COMSTAR [2,5] и т.п.), что для высоконадежной передачи на Землю с космических аппаратов информационных потоков с широкой полосой, сравнимой или превышающей 1 ГГц следует исключить углы места меньше  $15^\circ$ , т.е. в значительной мере сократить активную продолжительность сеансов связи. Экспериментально показано также [4], что максимальная полоса космических (т.е. радиолиний класса “Космос – Земля”) каналов связи не превышает 2–2,5 ГГц и это значение в пределах сантиметрового и миллиметрового диапазонов волн слабо зависит от выбора несущей частоты [5]. Электродинамические особенности распространения сверхширокополосных сигналов связаны, прежде всего с тем, что практически все широкоиспользуемые характеристики антенных систем (диаграмма направленности, КПД, пространственная и поляризационная избирательность и т.п.) являются, по определению, монохроматическими.

В частности, при расширении полосы частот сигнала имеют место расширения главного лепестка монохроматической диаграммы направленности и, кроме того, теряется лепестковый ее характер. Таким образом с повышением скорости передачи сообщений происходит ухудшение характеристик пространственной и, прежде всего, поляризационной избирательности; увеличиваются энергетические затраты на входение и поддержание автосопровождения (например, при использовании мо-

ноимпульсного метода слежения). Сверхширокополосные антенны существенно специфичны по своему построению. Например, антенные решетки применимы практически лишь до полос сигнала  $\leq (50 \div 100)$  ГГц. При более широкополосных сигналах необходимо использовать зеркальные антенны с рупорно-параболическими облучателями, расположенными в ближней зоне основного зеркала. В силу этого сканирование сверхширокополосными антеннами существенно затруднено. Имеется и целый ряд других особенностей построения и функционирования сверхширокополосных антенн спутников-ретрансляторов, которые необходимо учитывать при разработке и эксплуатации высокоскоростных систем передачи информации, обеспечивающих автономность функционирования данных объектов.

#### Литература

- 1.Связь на сверхвысоких частотах / Под ред. С. Енедзавы и Н. Танаха;Пер. с англ. Под ред. В.В.Маркова.- М.: Связь, 1967. – 615с.
- 2.Лившиц И.И., Рожков В.М., Рябов Б.А. Использование ИСЗ для связи в диапазоне миллиметровых волн // Зарубежная радиоэлектроника. - 1987.- №5.-С.41-49.
- 3.Крэснер Г.Н., Михаелс Дж.В. Введение в системы космической связи /пер. с англ. под ред. М.Г.Крошкина и В.В. Маркова.- М.:Связь.1967.-392с.
- 4.Козелков С.В. Вопросы повышения помехоустойчивости антенно-фидерных трактов РТС // Идентификация и моделирование наведения объектов в условиях энергомагнитного воздействия / АН УССР.- К., 1990, С.14.
- 5.Спилкер Дж. Цифровая спутниковая связь / Пер с англ. под ред. В.В. Маркова.- М.: Связь, 1979.- 592с.
- 6.Козелков С.В. Исследование специфики СВЧ и КВЧ радиоканалов.- М.:1989,11с.-Деп. ЦНВТИ МО, вып.№ 7, № 3411,В 1119.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАМАГНИЧЕННОСТИ В ЛЕГКОПЛОСКОСТНЫХ ФЕРРОМАГНЕТИКАХ В ПРОСТРАНСТВЕННО-НЕОДНОРОДНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Михерский Р. М., аспирант, Дубинко С. В., к.ф.-м.н., доцент,  
Бутрим В. И., к.ф.-м.н., Вишневецкий В. Г. к.т.н., доцент

Для визуализации аналогового сигнала, записанного на магнитный носитель информации, наиболее приемлемыми являются магнитооптические преобразователи на основе ЭПФГ с анизотропной плоскостью легкого намагничивания. Как правило, в этом случае датчиками служат однородно намагниченные в своей плоскости пленки. Под действием нормальной компоненты магнитного поля сигнала записанного на носитель информации, магнитный момент выходит из плоскости пленки. Угол его отклонения, в любой точке плоскости, зависит от величины нормальной компоненты внешнего поля в этой точке. Появление компоненты намагниченности в направлении перпендикулярном плоскости пленки фиксируется с помощью эффекта Фарадея. При этом встает вопрос о том, насколько адекватно распределение намагниченности отображает форму внешнего поля.

В работе [1] рассматривался случай большой плоскостной анизотропии. При этом считалось, что на намагниченность пленки действует лишь плоскостная компонента магнитного поля, т.к. магнитный момент не выходит из плоскости пленки. Для этого случая подробно изучено искажение формы поля в зависимости от его амплитуды, периода и параметров пленки.

В данной работе исследуется частный случай: одна компонента внешнего магнитного поля направлена вдоль оси легкого намагничивания (ОЛН) в плоскости образца, а другая нормально к плоскости пленки. Качественно описывается зависимость отображения формы магнитного поля намагниченностью от его периода и амплитуды.

Плотность энергии ЭПФГ с анизотропной плоскостью легкого намагничивания  $XOY$ , в отсутствие внешнего поля  $\vec{H}(x)$ , однородно намагниченную вдоль положительного направления оси  $X$ , имеет вид:

$$w = \frac{\alpha}{2} (\nabla \vec{M})^2 + \frac{\beta}{2} M_z^2 - \frac{\rho}{2} M_x^2 - \vec{M}\vec{H} - \frac{1}{2} \vec{M}\vec{H}^m, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – константа обменного взаимодействия,  $\beta > 0$  – константа легкоплоскостной анизотропии,  $\rho > 0$  – константа одноосной анизотропии в плоскости легкого намагничивания в направлении  $OX$ ,  $\vec{H}^m$  – собственное магнитостатическое поле образца,  $\vec{M}$  – намагниченность насыщения, а

$$H_x = H_0 \cos \frac{2\pi x}{d}, \quad H_z = H_0 \sin \frac{2\pi x}{d}, \quad H_y = 0, \quad (2)$$

$d$  – период поля.



Поскольку внешнее поле является функцией одной координаты, распределение вдоль оси  $Y$  однородно и  $H_y^m = 0$ . Кроме того, для толщин пленки  $h \ll \sqrt{\alpha}$  неоднородность намагниченности по оси  $Z$  значительно меньше, чем по оси  $X$  [2] и  $\vec{H}^m = -4\pi M_x \vec{e}_x$ , а  $\theta$  и  $\varphi$  – функции только от  $x$ .

Уравнения Ландау-Лифшица, минимизирующие (1), имеют решения с  $\sin \varphi = 0$ . Предполагая рассматривать только такие решения, получим следующие уравнения для угла  $\theta$ :

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial \eta^2} + \sin \theta \cos \theta + b \sin \left( \theta \pm \frac{2\pi \eta}{D} \right) = 0, \quad (3)$$

где

$$\eta = \sqrt{\frac{\rho + \beta + 4\pi}{\alpha}} x, \quad D = \sqrt{\frac{\rho + \beta + 4\pi}{\alpha}} d, \quad b = \frac{H_o}{|\vec{M}|(\rho + \beta + 4\pi)},$$

знак “ $\pm$ ” определяется значением  $\varphi = 0, \pi$ .

При решении уравнения (3) граничные условия выбираются таким образом, чтобы в точке нулевой  $z$  компоненты поля намагниченность была направлена вдоль ОЛН в легкой плоскости.

$$\cos \theta(\eta_0) = 0 \quad \text{при} \quad \eta_0 = \frac{D}{4} n, \quad n = \pm 1, 3, \dots \quad (4)$$

Решение уравнения (3) было получено численно методом Рунге-Кутты при этом на начальном этапе расчетов краевая задача сводилась к задаче Коши.

Расчеты показали, что степень искажений внешнего сигнала при фиксированных параметрах пленки зависит как от его амплитуды, так и от периода. На рис. 1 представлено решение, полученное при  $b=0.3, D=10$ ; при этом  $z$ -компонента намагниченности  $M_z(\eta)/|\vec{M}| = \cos \theta(\eta)$  практически повторяет форму  $z$ -компоненты внешнего поля, т.е. имеет вид

$$\cos \theta(\eta) \approx E \cos \frac{2\pi \eta}{D}, \quad (5)$$

причем амплитуда решения  $E = \cos \theta(0)$  зависит от амплитуды внешнего поля и его периода.

На рис. 2 приведены логарифмы отношения первых пяти членов разложения  $z$ -компоненты намагниченности в ряд Фурье по косинусам к первому члену для случаев: 1 –  $b=0.3, D=10$ , при этом первый член разложения  $q_1=0.216$ ; 2 –  $b=0.5, D=10$ , при этом  $q_1=0.364$  и 3 –  $c=0.3, b=0.3, D=20$ , при этом  $q_1=0.28$ .

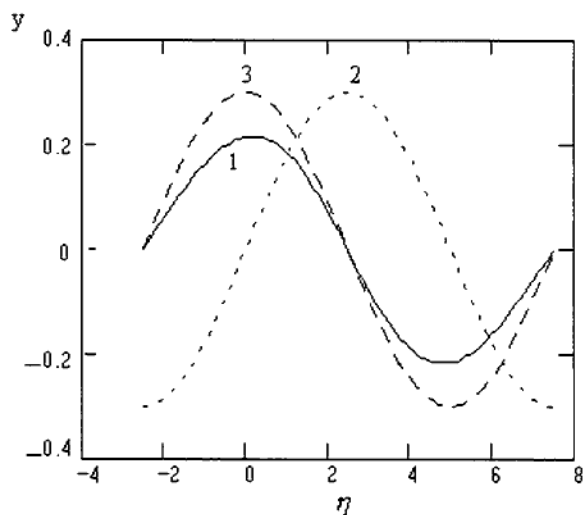


Рис. 1. Зависимость z-компоненты намагниченности от внешнего магнитного поля при  $b=0.3$ ,  $D=10$ : 1 –  $y = \cos \theta(\eta)$ ; 2 –  $y = b \sin \frac{2\pi\eta}{D}$ ; 3 –  $y = b \cos \frac{2\pi\eta}{D}$

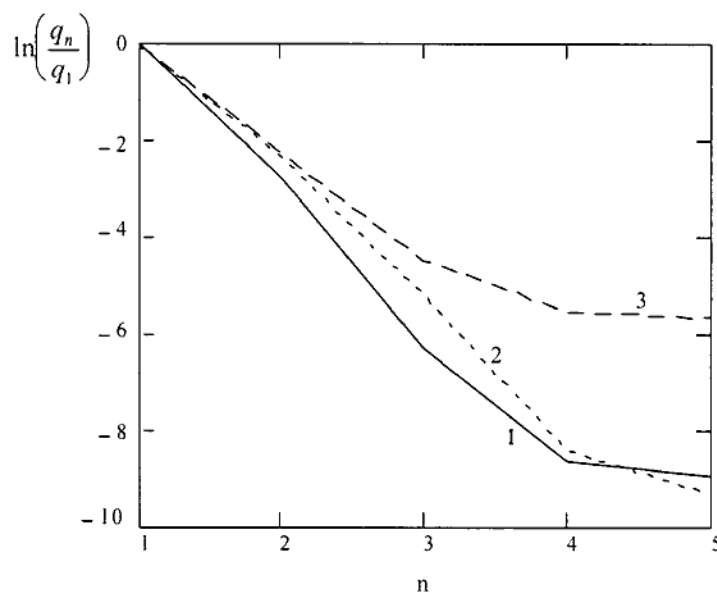


Рис. 2. Логарифмы отношения первых пяти членов разложения z-компоненты намагниченности в ряд Фурье по косинусам к первому члену для случаев: 1 –  $b=0.3$ ,  $D=10$ ; 2 –  $b=0.5$ ,  $D=10$  и 3 –  $b=0.3$ ,  $D=20$

Как видно из представленных зависимостей, при фиксированном приведенном периоде, увеличение компонент безразмерной амплитуды поля, так же, как при фиксированных компонентах безразмерной амплитуды поля увеличение приведенного периода приводит, во-первых, к росту угла выхода намагниченности из плоскости пленки, а во-вторых, к усилению искажения сигнала. Таким образом, верхний предел отображаемых амплитуд и периодов определяется степенью искажения сигнала, а нижний – невозможностью визуализировать с помощью эффекта Фарадея малый выход из плоскости вектора намагниченности. В связи с этим, при решении конкретной задачи визуализации аналогового сигнала необходимо выбирать такие параметры пленки, чтобы выход магнитного момента из ее плоскости был наблюдаем с помощью эффекта Фарадея при минимальном искажении сигнала.

#### Литература

1. Бутрим В.И., Михерский Р.М., Вишневский В.Г., Дубинко С.В. Структура намагниченности легкоплоскостных ферромагнетиков в неоднородных магнитных полях. // Ученые записки Симферопольского государственного университета. – 1998. – №7(46). – С. 122-124.
2. Тарасенко В.В., Ченский Е.В., Дикштейн И.Е. Теория неоднородных магнитных состояний в окрестности фазовых переходов второго рода. // ЖЭТФ. – 1976. – Т. 70, № 6. – С. 2178-2188.

## ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА ДВУХОСНОГО ФЕРРОМАГНЕТИКА И СПЕКТРЫ СВЯЗАННЫХ МАГНИТОУПРУГИХ ВОЛН

Мицай Ю. Н., д.ф.-м.н., профессор, Фридман Ю. А., к.ф.-м.н., доцент,  
Кожемяко О. В., аспирант

В последнее время большой интерес вызывают исследования магнетиков с более сложной, чем одноосная, одноионной анизотропией (ОА), константы которой сравнимы или даже превосходят константу обменного взаимодействия. В таких системах возможна реализация чисто квантовых эффектов [1, 2], наличие которых может оказать существенное влияние как на динамику системы, так и на ее фазовые состояния. В таких системах могут реализовываться фазы с тензорным параметром порядка, так называемые квадрупольные (КУ) фазы (см., например, обзор [3]).

Возникновение КУ фаз в системе связано с инверсией энергетических уровней и изменением основного состояния. Последнее коренным образом зависит от ориентации внешнего магнитного поля относительно кристаллографических осей [3].

Кроме того, магнитоупругое (МУ) взаимодействие может привести к ряду интересных результатов. Например, к кардинальному изменению спектральных свойств в окрестности ориентационных фазовых переходов (ОФП), а именно, к размягчению фононной ветви возбуждений и появлению в спектре магнонов МУ щели [4].

2. В качестве исследуемой системы рассмотрим двухосный гейзенберговский ферромагнетик, помещенный во внешнее магнитное поле  $\vec{H} \parallel OZ$ . Гамильтониан такой системы имеет вид:

$$H = -H \sum_n S_n^z + \frac{\beta_1}{2} \sum_n (S_n^z)^2 + \frac{\beta_2}{2} \sum_n (S_n^y)^2 + \frac{\beta_3}{2} \sum_n (S_n^x)^2 - \frac{1}{2} \sum_{n,n'} J(n-n') \vec{S}_n \vec{S}_{n'} + v_0 \sum_n (S_n^i)^2 u_{ij}(n) + v_1 \sum_n S_n^i S_n^j u_{ij}(n) + \int dr \left\{ \frac{\lambda}{2} \sum_i u_{ii}^2 + \mu \sum_{i,k} u_{ik}^2 \right\}, \quad (1)$$

где  $\beta_i$  - константа ОА;  $J(n-n') > 0$  - обменный интеграл;  $v_i$  - константа МУ связи;  $\lambda, \mu$  - упругие модули.

Вычисления будем проводить в терминах операторов Хаббарда. Для простоты будем считать спин магнитного иона  $S=1$ .

Выделяя в обменной части (1) среднее поле  $\langle S^z \rangle$ , получим одноузельный гамильтониан  $H_0(n)$ :

$$H_0 = \sum_n \left\{ \sum_M A_M H_n^M + \sum_\alpha A_\alpha X_n^\alpha \right\}. \quad (2)$$

Здесь  $X_n^\alpha = X_n^{M'M} = |\psi_n(M')\rangle \langle \psi_n(M)|$  - операторы Хаббарда, описывающие переход магнитного иона из состояния  $M'$  в состояние  $M$ ;  $H_n^M \equiv X_n^{M,M}$ ;  $\alpha$  - корневые векторы;  $\psi_n(M)$  - собственные функции гамильтониана (2).

Энергетические уровни магнитного иона с учетом МУ взаимодействия имеют вид:

$$E_1 = \frac{2\beta_1 + \beta_2 + \beta_3}{4} + \frac{v_0}{2}(u_{xx}^0 + u_{yy}^0 + 2u_{zz}^0) - \frac{\chi}{2}; E_0 = \frac{\beta_2 + \beta_3}{2} + v_0(u_{xx}^0 + u_{yy}^0)$$

$$E_{-1} = \frac{2\beta_1 + \beta_2 + \beta_3}{4} + \frac{v_0}{2}(u_{xx}^0 + u_{yy}^0 + 2u_{zz}^0) + \frac{\chi}{2}, \quad (3)$$

$$\chi^2 = [2\chi_0 - v_0(u_{xx}^0 - u_{yy}^0)\sin 2\theta]^2 + v_0^2(u_{xx}^0 - u_{yy}^0)^2 \cos^2 2\theta, \chi_0^2 = \bar{H}^2 + \tilde{\beta}^2,$$

$$\tilde{\beta} = \frac{\beta_3 - \beta_2}{4}, \cos \theta = -\frac{\tilde{\beta}}{\sqrt{2\chi_0(\chi_0 - \bar{H})}}, \bar{H} = H + J(0)\langle S^z \rangle; \quad (4)$$

Спонтанные деформации  $u_{ij}^0$  определяются из условия минимума плотности свободной энергии.

Связь спиновых операторов с операторами Хаббарда имеет вид:

$$S_n^+ = \sqrt{2} \cos \tilde{\theta} (X_n^{10} - X_n^{0-1}) + \sqrt{2} \sin \tilde{\theta} (X_n^{-10} + X_n^{01}); S_n^- = (S_n^+)^+$$

$$S_n^z = \cos 2\tilde{\theta} (H_n^1 - H_n^{-1}) + \sin 2\tilde{\theta} (X_n^{1-1} + X_n^{-11}); \tilde{\theta} = \theta - \delta; \quad (5)$$

$$\cos \delta = \frac{v_0(u_{xx} - u_{yy}) \cos 2\theta}{\sqrt{2\chi[\chi - 2\chi_0 + 2(u_{xx} - u_{yy}) \sin 2\theta]}}$$

Проквантовав динамическую часть тензора деформаций стандартным образом [5], из (3) получим гамильтониан, описывающий процессы трансформации магновов в фононы и обратно:

$$H_{gr} = \sum_n \left\{ \sum_M \tilde{P}_M Y_n^M + \sum_\alpha \tilde{P}_\alpha Y_n^\alpha \right\} \quad (6)$$

$\tilde{P}_{M(\alpha)} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k,\lambda} (b_{k,\lambda} + b_{-k,\lambda}^+) b_{-k,\lambda}^+ (b_{k,\lambda})$  – операторы рождения (уничтожения) фононов.

3. Из уравнения Ларкина для функции Грина [6], получаем дисперсионное уравнение связанных МУ волн. Необходимо отметить, что это уравнение справедливо во всем температурном интервале, вплоть до температуры Кюри, а также при произвольных значениях материальных констант.

Проанализируем дисперсионное уравнение для наиболее интересного случая, когда волновой вектор  $\vec{k} \parallel OY$ . В такой геометрии отличными от нуля компонентами единичного вектора поляризации фононов являются  $e_1^y, e_1^x, e_1^z$ , а уравнение распадается на два, по отдельности определяющих спектры “продольных” и “поперечных” колебаний, соответственно

Рассмотрим случай низких температур ( $T \ll T_c$ ). При этом можно ограничиться учетом лишь нижайшего энергетического уровня.

Ферромагнитная (ФМ) фаза в которой может находиться исследуемая система устойчива в двух случаях: 1.  $\beta_3 > \beta_1 > \beta_2$ ; 2.  $\beta_1 > \beta_3 > \beta_2$ . Эти два случая соответствуют вращению магнитного поля: в первом случае поле перпендикулярно легкой оси; а во втором – перпендикулярно легкой плоскости. Рассмотрим подробнее эти две ситуации.

Исследуем случай, когда константы ОА связаны соотношением  $\beta_3 > \beta_1 > \beta_2$ . При этом магнитное поле параллельно “средней” оси намагничивания. Решая дисперсионное уравнение, получим спектры “продольных” и “поперечных” ветвей возбуждений:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\parallel}(\mathbf{k}) &= \sqrt{E_{1-1}(E_{1-1} + 2J(\mathbf{k})\sin^2 2\tilde{\theta})}; \\ \omega_{\parallel}^2(\mathbf{k}) &= \omega_1^2(\mathbf{k}) \frac{E_{1-1} + 2J(\mathbf{k})\sin^2 2\tilde{\theta} + 2a_0 \cos^2 2\tilde{\theta}}{E_{1-1} + 2J(\mathbf{k})\sin^2 2\tilde{\theta}}; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\perp}(\mathbf{k}) &= \sqrt{[E_{10} + J(\mathbf{k})(1 + \sin 2\tilde{\theta})][E_{10} + J(\mathbf{k})(1 - \sin 2\tilde{\theta})]}; \\ \omega_{\perp}^2(\mathbf{k}) &= \omega_{\tau}^2(\mathbf{k}) \frac{E_{10} + J(\mathbf{k})(1 - \sin 2\tilde{\theta}) + a_1(1 + \sin 2\tilde{\theta})}{E_{10} + J(\mathbf{k})(1 - \sin 2\tilde{\theta})}; \end{aligned} \quad (9)$$

где  $E_{ij} = E_i - E_j$ , ( $i, j = 1, 0, -1$ );  $a_0 = \frac{v_0^2}{2\mu}$ ,  $a_1 = \frac{v_1^2}{2\mu}$ ,  $\omega_1(\mathbf{k})$  и  $\omega_{\tau}(\mathbf{k})$  - спектры продольно и поперечно поляризованных невзаимодействующих звуковых волн, соответственно.

В случае малой ОА, мы возвращаемся к хорошо изученному случаю слабо анизотропного легкоосного ФМ [1,4].

Наиболее интересной представляется ситуация, когда константы ОА сравнимы или даже превосходят константу обменного взаимодействия.

Аñèè  $\tilde{\beta} > J_0, H$ , среднее значение намагниченности будет меньше максимально возможного значения  $\langle S^z \rangle = 1$ , и определяется выражением:  $\langle S^z \rangle \approx H/\tilde{\beta}$ . Причиной этого уменьшения является вид операторов ОА и МУ-связи в гамильтониане исследуемой системы, связывающие состояния  $|1\rangle$  и  $|-1\rangle$  так, что основное состояние кристалла является их суперпозицией. Чем больше величина  $\tilde{\beta}$ , тем больший вклад вносит состояние  $|-1\rangle$ , что и приводит к уменьшению  $\langle S^z \rangle$ .

Как показывает анализ спектров связанных МУ волн, в этом случае не существует значений магнитного поля, при которых бы квазифононная ветвь размягчалась. Это означает, что система не испытывает ОФП, а  $\langle S^z \rangle$  остается все время параллелен оси OZ и уменьшается по модулю по мере уменьшения величины магнитного поля H.

Рассмотрим второй случай, когда константы ОА связаны соотношением  $\beta_1 > \beta_3 > \beta_2$ . При этом магнитное поле параллельно “тяжелой” оси намагниченности.

Исследуем теперь спектры связанных магнитоупругих волн в сильно анизотропном двухосном ФМ ( $\beta_1 \gg J_0$ ). Как показано в работах [1,2,3], когда энергия одноионной анизотропии сравнивается с обменной энергией, кроме ФМ и квадрупольно-ферромагнитной (КФМ) фаз, возможно появление новых фаз с тензорным параметром порядка (КУ фаз).

Предположим, что при полях  $H_{c2}$  и  $H_{c3}$  происходит ОФП из КУ-фазы в квадрупольно-ферромагнитную (КФМ) (угловую), и из КФМ- в ферромагнитную (ФМ).

Исследуем спектры связанных МУ волн в двух указанных интервалах полей:  $H < H_{c2}$  и  $H > H_{c3}$ .

При  $H > H_{c3}$  средняя намагниченность направлена по полю. Основным состоянием в этом случае является  $\tilde{\Psi}_n(1)$ , а нижайшим энергетическим уровнем -  $E_1$ . Величина среднего магнитного момента  $\langle S \rangle \approx 1$ .

Спектр квазифононов в этой фазе имеет вид:

$$\omega_{\perp}^2(k) = \omega_{\tau}^2(k) \frac{\alpha k^2 + H - H_{c3}}{\alpha k^2 + H - H_{c3} + a_1}, \quad (9)$$

и в длинноволновом пределе при  $H = H_{c3} = \beta = (2\beta_1 - \beta_3 - \beta_2)/4$  - размягчается. В спектре квазимагнонов (при  $H = H_{c3}$ ) появляется МУ щель:

$$\varepsilon_{\perp}(0) = \sqrt{2a_1 I_0 \tilde{\beta} / \beta}. \quad (10)$$

Рассмотрим теперь спектр МУ волн при  $H < H_{c2}$ . В этом случае происходит инверсия энергетических уровней, и как следует из (4), нижайшим уровнем магнитного иона является  $E_0$ , а основное состояние описывается функцией  $\psi_n(0)$ .

Для спектра  $\tau$ - поляризованных квазифононов получаем:

$$\omega_{\perp}^2(k) = \omega_{\tau}^2(k) \frac{\alpha k^2 + H_{c2}^2 - H^2}{\alpha k^2 + H_{c2}^2 - H^2 + \tilde{a}_1}, \quad (11)$$

где:  $\tilde{a}_1 = 2a_1(\beta - \tilde{\beta} - 2I_0)$ ,  $H_{c2} = \sqrt{(\beta + \tilde{\beta} - 2a_1)(\beta - \tilde{\beta} - 2I_0)}$ . При  $H = H_{c2}$  в спектре квазимагнонов появляется МУ щель:  $\varepsilon_{\perp}(0) = \sqrt{2a_1 I_0 \tilde{\beta}(\beta - \tilde{\beta})} / \beta$ .

Как видно из (9), (11), при  $H = H_{c3}$  система претерпевает фазовый переход из ФМ- в угловую (квадрупольно-ферромагнитную (КФМ)) фазу, а при  $H = H_{c2}$  из КУ-фазы в КФМ.

4. Рассмотрим теперь случай ( $\beta_1 > \beta_2 > \beta_3$ ), когда магнитное поле произвольно направлено в плоскости ZOХ иа оаёиі  $\alpha \hat{e} \hat{i}n \hat{e} OZ$ . Предельные случаи такой геометрии рассмотрены выше  $\left( \alpha = 0, \alpha = \frac{\pi}{2} \right)$ . Предполагается, что ОА велика

( $\tilde{\beta} > J_0$ ). Повернем систему координат вокруг оси  $OY$  на угол  $\alpha$  так, чтобы новая ось квантования  $OZ'$  была параллельна вектору намагниченности. В этой локальной системе координат введем новые спиновые операторы  $\tilde{S}_n^x, \tilde{S}_n^y, \tilde{S}_n^z$ , в терминах которых гамильтониан (2) равен:

$$H_0(n) = -\tilde{H}\tilde{S}^z + \frac{B_1}{2}(\tilde{S}^z)^2 + \frac{\beta_2}{2}(\tilde{S}^y)^2 + \frac{B_3}{2}(\tilde{S}^x)^2 + \frac{\beta_3 - \beta_1}{4} \sin 2\alpha (\tilde{S}^z \tilde{S}^x + \tilde{S}^x \tilde{S}^z), \quad (12)$$

$$\text{где } B_1 = \beta_1 \cos^2 \alpha + \beta_3 \sin^2 \alpha; B_3 = \beta_1 \sin^2 \alpha + \beta_3 \cos^2 \alpha. \quad (13)$$

Выражение (12) формально отличается от одноузельного гамильтониана (2) без учета МУ связи наличием последнего слагаемого, пропорционального  $\sin 2\alpha$ , при формальной замене  $\beta_1 \rightarrow B_1$  и  $\beta_3 \rightarrow B_3$ . Фазовая диаграмма системы в рассматриваемом случае при низких температурах ( $T \ll T_c$ ) приведена на рис. 1.

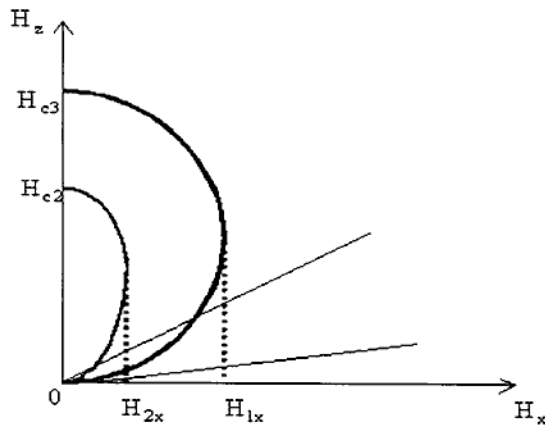


Рис. 1. Фазовая диаграмма двухосного сильно анизотропного ферромагнетика при произвольной ориентации внешнего магнитного поля.

Линия 1 разделяет ФМ и КФМ фазы. Эта линия проходит через точки  $H_{c3}$ ,  $H_{1x} = \frac{4}{9}(H_{c3})^{3/2}$ , а касательная к этой линии в точке  $O$  определяется уравнением:  $\cos 2\alpha = -\frac{J_0}{\beta'}$ , где

$$\beta' = \frac{\beta_1 - \beta_3}{4}. \text{ В случае, когда}$$

$\cos 2\alpha < -\frac{J_0}{\beta'}$  система находится в

ФМ-фазе, и лишь в точке  $O$  переходит в КУ-фазу, причем не путем поворота вектора намагниченности, а уменьшением его модуля до нуля.

Линия 2 разделяет КФМ и КУ фа-

зы. Эта линия проходит через точки  $H_{c2}$ ,

$$H_{2x} = \sqrt{p \left( \frac{\beta_1(1-p) + \beta_3 p - \beta_2}{2} - 4a_1 \right) (\beta'(1-2p) - J_0)}, \quad p = \frac{1}{8} \frac{\beta_1 + \beta_3 - 2\beta_2}{\beta_1 - \beta_2},$$

а уравнение касательной к линии 2 в точке  $O$  имеет вид:

$$\cos 2\alpha = \frac{J_0}{\beta'}. \text{ Если } \alpha \text{ удовлетворяет неравенству } -\frac{J_0}{\beta'} < \cos 2\alpha < \frac{J_0}{\beta'}, \text{ то система}$$

может находиться как в ФМ так и в КФМ фазе, в зависимости от величины внешнего магнитного поля.



Если же  $\cos 2\alpha > \frac{J_0}{\beta'}$ , то система может находиться в любой из трех фаз (ФМ,

КФМ и КУ) в зависимости от величины поля. Необходимо отметить, что на линиях 1 и 2 система испытывает фазовые переходы второго рода, причем “мягкой” модой является поперечно поляризованная квазифононная ветвь, а в квазимагнетонной ветви возбуждений появляется МУ щель.

5. Проведенные исследования показывают, что двухосные ФМ обладают рядом специфических особенностей по сравнению с одноосными. Особый интерес представляет случай сильно анизотропных магнетиков. В этом случае возможна реализация фазы с тензорным параметром порядка. Фазовая диаграмма таких систем не имеет аналогов в одноосных магнетиках. Реализация ФМ, КФМ и КУ фаз, а также величины соответствующих критических параметров зависят от направления внешнего магнитного поля.

#### Литература

1. Мицай Ю.Н., Фридман Ю.А., ФТТ, **32**, 8, 361 (1990).
2. Онуфриева Ф.П., ФТТ, **26**, 1, 3435 (1984).
3. Локтев В.М., Островский В.С., ФНТ, **20**, 10, 983 (1994).
4. Туров Е.А., Шавров В.Г., УФН, **140**, 3, 429 (1983).
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Статистическая физика. М: Наука (1975).
6. Изюмов Ю.А., Скрыбин Ю.Н. Статистическая механика магнитоупорядоченных систем. М.: Наука (1987).

**СПЕКТРЫ СВЯЗАННЫХ МАГНИТОУПРУГИХ ВОЛН И СТАБИЛИЗАЦИЯ  
ДАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОРЯДКА В ХУ-МОДЕЛИ С УЧЕТОМ  
МАГНИТОУПРУГОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

Мицай Ю. Н., профессор, д. ф.-м. н., Фридман Ю. А., доцент, к. ф.-м. н.,  
Спирин Д. В., аспирант

1. В последнее время достигнут существенный технологический прогресс в создании магнитных пленок, толщина которых не превышает нескольких атомных слоев [1,2]. В связи с этим вновь активизировались теоретические исследования моделей низкоразмерных магнетиков. Одной из наиболее популярных моделей таких магнетиков является так называемая ХУ-модель, описываемая гамильтонианом:

$$H = -\frac{1}{2} \sum_{n,n'} J(n-n') \cdot [S_n^x S_{n'}^x + S_n^y S_{n'}^y]$$

где  $J(n-n') > 0$  – гейзенберговский обмен в плоскости ХУ. С помощью этой модели, очевидно, можно описать трехкомпонентные системы со слабым межплоскостным взаимодействием. К таким системам прежде всего относятся  $K_2CuF_4$ ,  $(CH_3NH_3)_2CuCl_4$ ,  $BaCo_2(AsO_4)_2$  и целый ряд других [3]. В изотропной ХУ-модели дальний магнитный порядок (ДМП) отсутствует, что связано с реализацией в системе вихревой структуры, разрушающей ДМП [4,5]. Ранее было показано, что ДМП в двумерных трехкомпонентных системах может стабилизироваться магнитоупругим взаимодействием (МУ) [6,7]. Однако трехкомпонентные системы во многом отличаются от двухкомпонентных, в частности, поведением корреляционной длины [8]. В связи с этим представляет интерес исследование спектров элементарных возбуждений в ХУ-модели с учетом МУ взаимодействия, имея в виду прежде всего стабилизацию ДМП. Для вычисления спектров квазичастиц мы используем технику операторов Хаббарда [9], позволяющую построить микроскопическую теорию, и провести точный учет МУ взаимодействия.

2. Гамильтониан модели представим в виде:

$$H = -\frac{1}{2} \sum_{n,n'} J(n-n') \cdot (S_n^x S_{n'}^x + S_n^z S_{n'}^z) + \lambda u_{xx} \sum_n (S_n^x)^2 + \lambda u_{zz} \sum_n (S_n^z)^2 + \lambda u_{xz} \sum_n (S_n^x S_n^z + S_n^z S_n^x) + \frac{E}{2(1-\sigma^2)} \cdot \int dv (u_{xx}^2 + u_{zz}^2 + 2\sigma u_{xx} u_{zz} + 2(1-\sigma) u_{xz}^2) \quad (1)$$

где  $S_n^i$  – спиновый оператор в узле  $n$ ,  $\lambda$  – константа МУ связи,  $u_{ij}$  – симметричная часть компонент тензора деформаций,  $E$  – модуль Юнга,  $\sigma$  – коэффициент Пуассона. В (1) первое слагаемое описывает магнитную подсистему, последнее – упругую подсистему, оставшиеся три – МУ связь. Для простоты вычислений предполагаем, что спин магнитного иона  $S = 1$ . В отличие от двумерного гейзенберговского ферромагнетика обменная часть (1) содержит только две компоненты оператора спина:  $S_n^x$  и  $S_n^z$ . Энергетические уровни магнитного иона, спонтанные

деформации, связь спиновых операторов с операторами Хаббарда аналогичны случаю, рассмотренному в [7]:

$$E_1 = \frac{\lambda}{2}(u_{xx}^{(0)} + 2u_{zz}^{(0)}) - \chi, E_0 = \lambda u_{xx}^{(0)}, E_{-1} = \frac{\lambda}{2}(u_{xx}^{(0)} + 2u_{zz}^{(0)}) + \chi,$$

$$\chi^2 = J_z^2 + \left(\frac{\lambda}{2}u_{xx}^{(0)}\right)^2, J_z = J_0 \langle S^z \rangle, u_{xx}^{(0)} = -\frac{\lambda}{E} \cdot \frac{1-2\sigma}{2}, u_{zz}^{(0)} = -\frac{\lambda}{E} \cdot \frac{2-\sigma}{2},$$

$$u_{xz}^{(0)} = 0$$

$$\cos \delta = \lambda u_{xx}^{(0)} / 2 \cdot \sqrt{(\chi - J_z)^2 + (\lambda u_{xx}^{(0)} / 2)^2} \quad (2)$$

$$S_n^+ = \sqrt{2} \cos \delta \cdot (X_n^{10} + X_n^{0-1}) + \sqrt{2} \sin \delta \cdot (X_n^{01} - X_n^{-10}), S_n^- = (S_n^+)^+$$

$$S_n^z = \cos 2\delta \cdot (H_n^1 - H_n^{-1}) - \sin 2\delta \cdot (X_n^{1-1} + X_n^{-11})$$

Спектры элементарных возбуждений системы определяются полюсами функции Грина, которую мы определим следующим образом:

$$G^{\alpha\alpha'}(n, \tau; n', \tau') = -\langle \hat{T} X_n^\alpha(\tau) X_{n'}^{\alpha'}(\tau') \rangle,$$

где  $X_n^\alpha(\tau) = e^{H\tau} X_n^\alpha e^{-H\tau}$ ,  $H = H_{int} + H_{tr}$ ,  $\hat{T}$  – оператор Вика, и усреднение проводится с гамильтонианом  $H$ ,  $H_{int}$  – гамильтониан взаимодействия, а гамильтониан  $H_{tr}$  можно получить, применяя к  $u_{xz}$  метод гармонического квантования, описанный, например, в [11].

Двухкомпонентность системы (1) проявляется в записи выражения гамильтониана взаимодействия и, поскольку мы работаем в приближении среднего поля, то

для дальнейших вычислений нам понадобится только его “поперечная” часть  $H_{int}^\perp$ , которая имеет вид:

$$H_{int}^\perp = -\frac{1}{2} \sum_{\substack{n, n' \\ \alpha, \beta}} J_{\alpha\beta}^\perp (n - n') X_n^\alpha X_{n'}^\beta \quad (3)$$

Здесь величина  $J_{\alpha\beta}^\perp (n - n')$  выражается через вектора  $a_i^\alpha$  и  $b_i^\alpha$  следующим образом:

$$J_{\alpha\beta}^\perp (n - n') = a_1^{-\alpha} b_1^\beta + a_2^{-\alpha} b_2^\beta \quad (4)$$

$$\text{где } a_1^{-\alpha} = 4 \cdot \begin{pmatrix} \gamma_{\parallel}(\alpha) \\ 0 \end{pmatrix}, a_2^{-\alpha} = \begin{pmatrix} \gamma_{\perp}(\alpha) + \gamma_{\perp}^*(-\alpha) \\ 0 \end{pmatrix}, b_1^\beta = \begin{pmatrix} \gamma_{\parallel}(\beta) \\ 0 \end{pmatrix}, b_2^\beta = \begin{pmatrix} \gamma_{\perp}(\beta) + \gamma_{\perp}^*(-\beta) \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

причем в нашем случае

$$\gamma_{\parallel}(1-1) = \gamma_{\parallel}(-11) = -\sin 2\delta, \gamma_{\perp}(10) = \gamma_{\perp}(0-1) = \sqrt{2} \cos \delta, \gamma_{\perp}(01) = -\gamma_{\perp}(-10) = \sqrt{2} \sin \delta.$$

Решая дисперсионное уравнение (см. [9]), получаем спектры квазичастиц. Спектры квазимагнонов имеют вид:

$$\omega_1 = 2\chi, \omega_2^2 = (J_0 \langle S^z \rangle + b_0)(b_0 + \alpha k^2) \quad (6)$$

где  $J_0$  – нулевая фурье-компонента обменного интеграла,  $b_0 = \frac{3\lambda^2}{4E}$  – параметр МУ связи  $\langle S^z \rangle \approx \cos 2\delta \approx 1$ ,  $\alpha = J_0 R_0^2$ ,  $R_0$  – радиус взаимодействия. Первая ветвь является высоколежащей,  $\omega_1/\omega_2 \approx 2\sqrt{J_0/b_0}$ , и в дальнейшем, при расчете величины флуктуации магнитного момента, учитываться не будет. Отметим, что в случае, рассмотренном в [7]  $\omega_1/\omega_2 \approx 2J_0/b_0$ . В низколежащей ветви квазимагнонов, как и в случае 2D гейзенберговского ферромагнетика, имеется магнитоупругая щель:

$$A_{xy}^2 = \frac{3\lambda^2}{4E} \cdot \left( J_0 + \frac{3\lambda^2}{4E} \right)$$

которая, однако, в  $\sqrt{J_0/b_0}$  раз больше по сравнению с МУ щелью в трехкомпонентной системе.

Легко также получить спектр квазифононов ( $\vec{k} \parallel OZ$ , t-поляризация):

$$\omega^2(k) = \omega_i^2(k) \left( \frac{E_{10}^2 + a_0 E_{10} + a_0 J_k / E_{10}}{E_{10}^2} \right)$$

(7)

где введены обозначения:

$$|E_{10}| \approx b_0 + J_0, \quad \gamma_q \equiv 1 + \frac{2J_k}{E_{10}}, \quad a_0 = \frac{\lambda^2(1 + \sigma)}{2E},$$

Учет МУ взаимодействия сводится в нашем случае к слабой перенормировке скорости звука.

Чтобы показать, что в системе существует ДМП, рассмотрим тепловые флуктуации магнитного момента, например,  $\langle (S^x)^2 \rangle$ . Для этого представим оператор

$S^x$  через бозевские операторы с помощью метода бозонизации операторов Хаббарда [10].

Используя связь спиновых операторов с операторами Хаббарда (2), получаем

$$\langle (S_n^x)^2 \rangle = \frac{1 - \sin 2\delta}{2} \cdot \langle a_n^+ a_n \rangle + \frac{1 + \sin 2\delta}{2} \quad (8)$$

В (8)  $a_n^+, a_n$  — бозевские операторы рождения и уничтожения квазичастиц. Выражение для средних, входящее в (8) можно представить в следующем виде:

$$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \langle a_n^+ a_n \rangle = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_0^\infty \frac{(u_k^2 + v_k^2) \cdot k dk}{e^{\omega_2(k)/T} - 1}$$

где  $u_k^2$  и  $v_k^2$  — коэффициенты u-v преобразования Боголюбова,  $u_k^2 + v_k^2 \propto 1/\omega_2(k)$ .

Этот интеграл сходится на нижнем пределе, что свидетельствует о стабилизации ДМП в  $\epsilon \rightarrow 0$ . Из условия  $1/N \sum_{n=1}^N \langle (S_n^x)^2 \rangle = 1$  можно определить температуру фазового перехода (температуру Кюри) [5], которая оказывается равной:

$$T_c \approx 4\pi\alpha \left( \ln \frac{4\pi\alpha}{\sqrt{b_0} \cdot (J_0 + b_0)} \right)^{-1}. \quad (9)$$

3. Итак, как и в случае 2D гейзенберговского ферромагнетика, ДМП в XY-модели стабилизируется МУ взаимодействием. Однако, двухкомпонентность системы существенно влияет как на спектры квазимагнонов, так и на величину флуктуаций магнитного момента, что сказывается, в частности, на увеличении температуры Кюри по сравнению с трехкомпонентной двумерной системой. Энергия активации низколежащей ветви квазимагнонов возрастает в  $\sqrt{J_0/b_0}$  раз, в то время, как спектр высоколежащей квазимагнонной ветви остается неизменным.

Необходимо отметить, что в ряде работ, в частности [12], было показано, что учет магнитного дипольного взаимодействия модифицирует закон дисперсии магнонов с линейного на корневой ( $\omega(k) \propto \sqrt{k}$ ), что в свою очередь приводит к стабилизации ДМП. Предлагаемый в данной работе как и в [6,7], механизм стабилизации ДМП иной: он не связан с модификацией спектров, а определяется появлением МУ щели.

### Литература

1. J. J. Krebs, B. T. Jonker, and G. A. Prinz, J. Appl. Phys. **63** (8), 3467, (1988).
2. D. P. Pappas, K. -P. Kamper, and H. Hopster, Phys. Rev. Lett., **64** (26), 3179, (1990)
3. Иванов Б.А., Колежук А.К. ФНТ, **21**, 355, 1995.
4. Березинский В.Л. ЖЭТФ, **61**, 1144, 1971.
5. Kosterlitz J.M., Thouless D.J. J.Phys. **6**, 1181, 1973.
6. Иванов Б.А., Тартаковская Е.В. Письма в ЖЭТФ, **63**, 792, 1996.
7. Мицай Ю.Н., Фридман Ю.А., Спирин Д.В., Алексеев К.Н. Ученые записки СГУ, **7** (46), 139, 1998.
8. Изюмов Ю.А., Скрябин Ю.Н. Статистическая механика магнитоупорядоченных систем. М: Наука, 1987. – 264 с.
9. Мицай Ю.Н., Фридман Ю.А. ТМФ, **89**, 207, 1989.
10. Вальков В.В., Валькова Т.А. Препринт ? 667Ф, Красноярск, 1990. – 40 с
11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Часть 1, М.: Мир, 1976. – 576 с.
12. С. В. Малеев, ЖЭТФ. **70**, 2374 (1976).

## МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ В ПЛЕНКАХ ФЕРРИТ-ГРАНАТОВ С РАЗОРИЕНТИРОВАННЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Прокопов А. Р., Дубинко С. В., кандидат физико-математических наук, доцент,  
Бутрим В. И., кандидат физико-математических наук

Магнитоиндуцированные спин-переориентационные переходы (СПП) в эпитаксиальных феррит-гранатовых пленках (ЭФГП) исследовались ранее теоретически и экспериментально для однослойных ЭФГП с анизотропией "легкая ось" и фактором качества  $Q > 3$ . В работах [1, 2] представлены экспериментальные результаты исследования процессов перемагничивания ЭФГП с анизотропией типа "угловая фаза" и "легкая плоскость", выращенных на подложках гадолиний-галлиевого граната (ГГГ) с ориентацией (111) индуктивно-частотным методом. Показано, что в процессе намагничивания ЭФГП, в тех случаях, когда вектор магнитного поля  $H$  составлял с нормалью к плоскости образца угол  $\theta = 0,3 - 1,5^\circ$ , наблюдалась гигантская аномалия магнитной восприимчивости  $\chi$ , угловой интервал существования которой не превосходил  $20'-40'$ . Была построена фазовая диаграмма магнитостатических состояний ЭПФГ в магнитном поле, согласно которой возможно существование нескольких монокломономерных состояний.

Целью настоящей работы было исследование магнитооптическим методом поведения доменной структуры (ДС) пленок в зависимости от величины и направления постоянного магнитного поля и сопоставление этих данных с поведением  $\chi$  в аналогичных условиях.

Для исследования были выбраны ЭПФГ состава  $(Bi, Lu, Ca)_3(Fe, Ge)_5O_{12}$ , выращенные на подложках ГГГ с различными кристаллографическими ориентациями. Образец № 1 имел ориентацию (111), образец № 2 – (112), образец № 3 – ориентацию, составляющую угол  $4^\circ \pm 0,5^\circ$  с плоскостью (112) в направлении к плоскости (111).

Геометрия эксперимента была такова, что в процессе измерений внешнее магнитное поле прикладывалось под углом  $\theta$  к нормали к поверхности образца, которому, в свою очередь, соответствовал определенный азимутальный угол. При этом азимутальный угол изменялся от 0 до  $360^\circ$ .

Рассмотрим поведение ДС и  $\chi$  во внешнем магнитном поле в образце № 1. На рис. 1 представлены экспериментальные кривые изменения относительной магнитной восприимчивости  $\chi/\chi_0$  под действием внешнего магнитного поля, направленного под углом  $\theta = 0,2^\circ$  ( $\chi_0$  - магнитная восприимчивость ЭПФГ при  $H_0 = 2,5$  кЭ;  $\chi$  - магнитная восприимчивость в полях  $0 - 2,5$  кЭ). Кривая 1 - исходное положение образца; кривая 2 соответствует такой ориентации  $H$ , когда азимутальный угол и угол  $\theta$  изменены на  $180^\circ$ . Хорошо видно, что характер поведения  $\chi/\chi_0$  различается при намагничивании образца внешними магнитными полями противоположного направления.

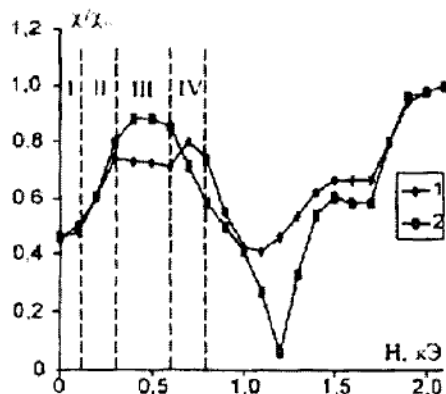


Рис. 1. Зависимость  $\chi/\chi_0$  от  $H$  для образца № 1,  $\theta = 0,2^\circ$



Рис. 2. Доменная структура образца № 1,  $H = 0$

На рис. 2 представлена фотография исходной ДС размагниченной ЭПФГ в нулевом магнитном поле. ДС представляет собой слабоконтрастную полосовую структуру. В полях от 3 до 20 Э возникают доменные границы, разделяющие области с различными периодами и ориентацией ДС (рис. 3а, б). На кривой 1 рис. 1 это соответствует началу подъема зависимости  $\chi/\chi_0$ . При дальнейшем увеличении магнитного поля доменные границы исчезают и ДС фактически превращается в исходную. В полях от 20 до 400 Э происходит слабое изменение контраста и незначительная переориентация ДС. На кривой 1 рис. 1 это соответствует области II. Дальнейшее увеличение магнитного поля приводит к уменьшению магнитооптического контраста и превращению ДС в "пунктирную". В полях выше 400 Э появляется ДС обратной намагниченности. В дальнейшем, при увеличении поля ДС обратной намагниченности становится преобладающей (рис. 3в, г) – область IV на рис. 1.

При намагничивании ЭПФГ магнитным полем другой полярности ДС перестраивается существенно иначе. В магнитных полях от нуля до  $\sim 300$  Э исходная ДС не меняет своей конфигурации, изменяется только магнитооптический контраст (области I и II кривой 2 рис. 1). В полях от 300 до 600 Э образец переходит в монодоменное состояние (область III, кривая 2, рис. 1), а далее при увеличении поля зарождается ДС, показанная на рис. 4, что соответствует участку IV на кривой 2 рис. 1.

Из зависимостей рис. 1 видно, что сложный характер перестройки ДС продолжается в магнитных полях до 2,5 кЭ, однако технические сложности создания магнитных полей таких величин при одновременном наблюдении магнитооптическим методом поведения ДС, не позволили на данном этапе провести эти эксперименты. Показано, что могут наблюдаться следующие ситуации зависимости  $\chi$  от  $H$ . При определенном азимутальном угле ориентации  $H$  и угле  $\theta$  изменение полярности поля на противоположную приводит в обоих случаях к возникновению аномалии  $\chi$ , при этом процесс перемагничивания при одной

полярности  $H$  идет с образованием промежуточного монокломенного состояния, а при противоположной полярности перемангничивание происходит без образования монокломенного состояния.

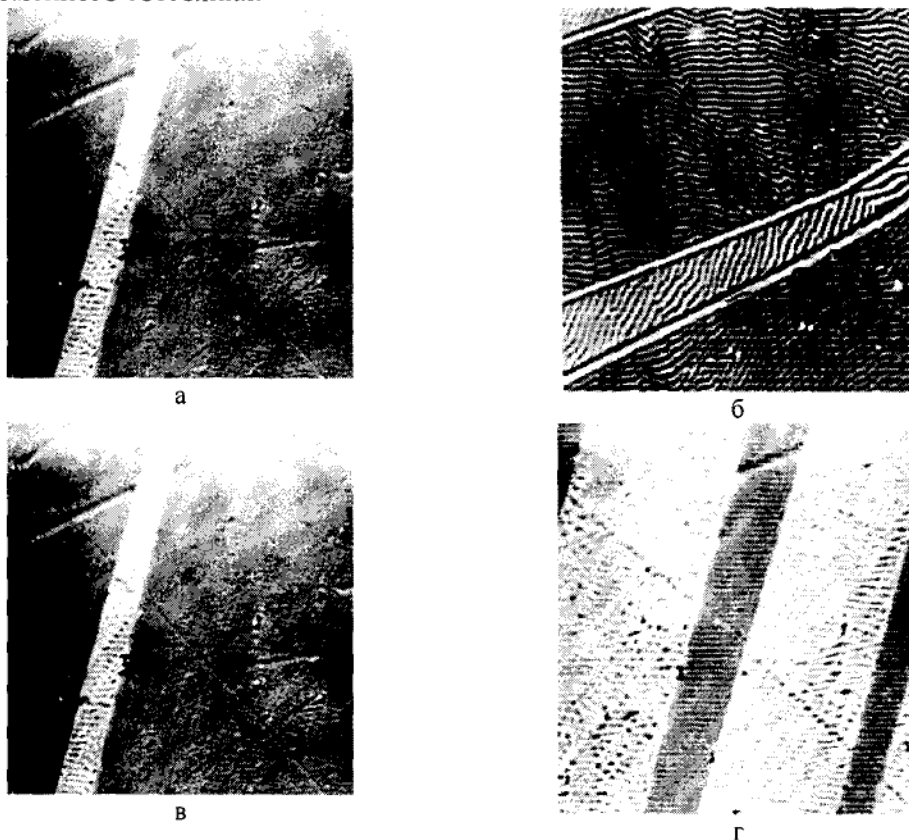


Рис. 3. Доменная структура образца № 1: а -  $H = 10$  Э; б -  $H = 20$  Э; в -  $H = 500$  Э; г -  $H = 600$  Э

Пусть при определенных значениях азимутального угла и угла  $\theta$  ориентации  $H$  наблюдается аномалия  $\chi$ . При изменении  $\theta$  на угол  $(360 - \theta)^\circ$  и азимутального угла – на  $180^\circ$  также может наблюдаться аномалия  $\chi$ . Если рассматривать другие первоначальные значения азимутального угла и угла  $\theta$ , при которых наблюдается аномалия  $\chi$ , то их изменение по схеме, как указано выше, может не приводить к возникновению аномалии  $\chi$ .

Первый случай зависимости  $\chi$  от  $H$  можно характеризовать как симметричную зависимость, второй – как асимметричную.

Исследования поведения ДС и  $\chi$  от  $H$  в образце № 2 и образце № 3 дали следующие результаты. Во всех образцах наблюдалась аномалия  $\chi$ . Характерные кривые показаны на рис. 5 для образца № 3. Зависимости  $\chi$  от  $H$  носят асимметричный характер для обоих образцов. Наблюдения ДС показали, что во всем доступном для магнитооптического наблюдения интервале полей



монодоменное состояние не возникало. Конфигурация ДС была аналогичной показанной на рис. 4.

Таким образом, исследования показали:

- аномалия магнитной восприимчивости наблюдалась для ЭПФГ, выращенных на подложках с кристаллографическими ориентациями от (111) до (112);
- Общим для всех ЭПФГ в которых наблюдалась аномальная магнитная восприимчивость было то, что вектор намагниченности имел равновесную ориентацию близкую к поверхности пленки.
- для ЭПФГ с ориентацией (111) аномалия  $\chi$  может носить как симметричный, так и асимметричный характер;
- для ЭПФГ с ориентациями, отличными от (111) и лежащими в интервале от (111) до (112) аномалия  $\chi$  носит асимметричный характер.



Рис. 4. Доменная структура образца № 1,  $H = -610$  Э

#### Литература

1. Прокопов А.Р., Дубинко С.В., Хребтов А.О., Еремина М.И. Особенности магнитоиндуцированного спин-переориентационного перехода в феррит-гранатовых пленках с анизотропией "угловая фаза" // ФТТ. – 1997. – Т. 39, № 8. – С.1415-1420.
2. Prokopov A.R., Dubinko S.V., Khrebtov A.O., Yeryomina M.I. Anomalous magnetic susceptibility of multilayer epitaxial garnet ferrite films // Frontiers in magnetism of reduced dimension systems. NATO ASI series. 3. High technology. Vol. 49 / V.G. Bar'yakhtar et al. (eds.). – Dordrecht; Boston; London: Kluwer Academic Publishers, 1998. – P. 463-468.

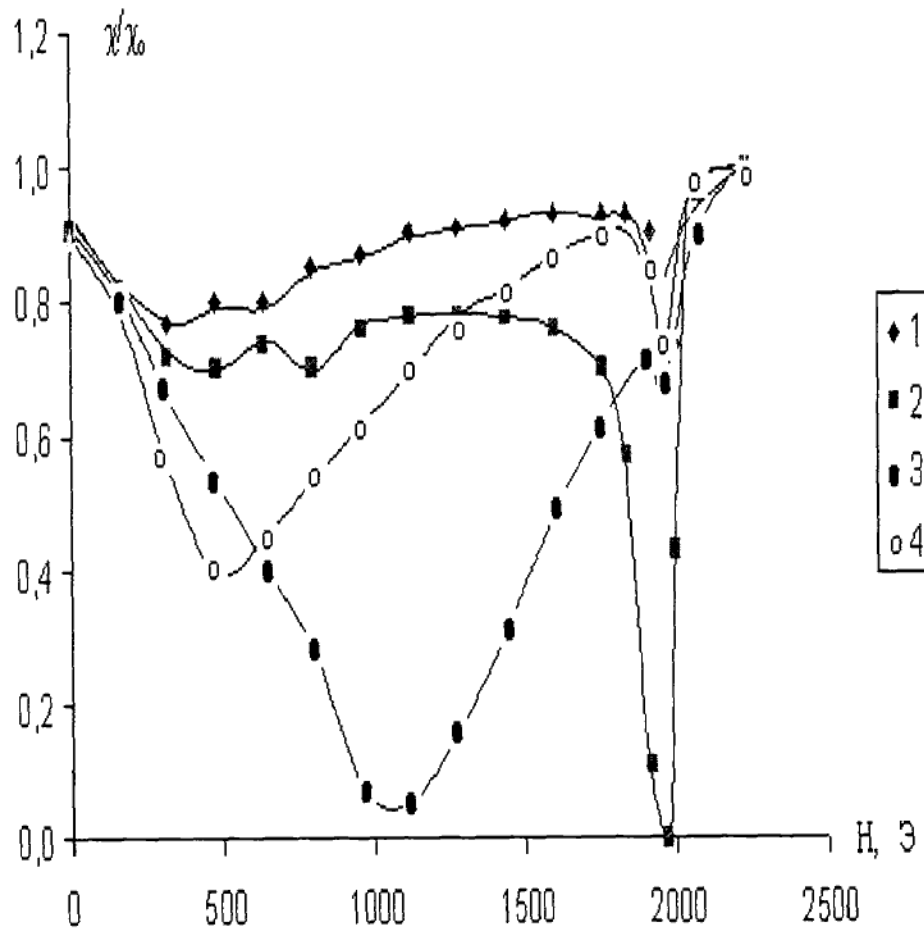


Рис. 5. Зависимость  $\chi/\chi_0$  от  $H$  для образца № 3  
1 -  $\theta = 0,35^\circ$ ; 2 -  $\theta = 0,3^\circ$ ; 3 -  $\theta = 0,2^\circ$ ; 4 -  $\theta = 0,15^\circ$

## ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СТРУН В КРТОВЫХ НОРАХ С ЛОРЕНЦЕВОЙ СИГНАТУРОЙ

*Рощупкин С. Н., кандидат физ.-мат. наук, доцент, Зинченко Е. Н., аспирант*

В последние годы большое внимание уделяется построению струнной космологии. В связи с этим очень актуальным является вопрос о нахождении точных решений уравнений струны во внешних гравитационных полях.

В предлагаемой работе анализируются уравнения движения и кинематические связи для струны в гравитационном поле кротовой норы с лоренцевой сигнатурой [1]. Наряду с решениями, описывающими открытые струны, рассматриваются также решения описывающие замкнутые струны. Случай замкнутых струн особенно важен, так как не для всех искривленных пространств имеют место такие решения.

Если рассматривать только стационарные струны во внешнем стационарном пространстве-времени, то уравнения движения замечательным образом упрощаются. Уравнения движения и связи для бозонной струны, движущейся в псевдоримановом пространстве с метрическим тензором  $g_{\mu\nu}$ , получаются варьированием действия Намбу-Гото [2]

$$\ddot{x}^\mu - x''^\mu + \Gamma_{\rho\sigma}^\mu (\dot{x}^\rho \dot{x}^\sigma - x'^\rho x'^\sigma) = 0, \quad (1)$$

$$g_{\mu\nu} \dot{x}^\mu x'^\nu = 0, \quad g_{\mu\nu} (\dot{x}^\mu \dot{x}^\nu - x'^\mu x'^\nu) = 0, \quad (2)$$

где точка и штрих обозначают производные по  $\tau$  и  $\sigma$  соответственно ( $\tau, \sigma$  – листовые переменные).

Будем искать стационарные решения системы (1), (2) в виде

$$t = \tau, \quad x^i = x^i(\sigma), \quad i = 1, 2, 3. \quad (3)$$

В этом случае уравнения движения (1) и кинематические связи (2) существенно упрощаются и принимают вид:

$$x''^i + 2\Gamma_{jk}^i x'^j x'^k - \Gamma_{00}^i = 0, \quad (4)$$

$$g_{00} + g_{ij} x'^i x'^j = 0, \quad i, j, k = 1, 2, 3, \quad (5)$$

где  $\Gamma$  – символы Кристоффеля внешнего пространства.

Используя явный вид метрического тензора и символов Кристоффеля для лоренцевой кротовой норы, перепишем уравнения (4), (5) в виде:

$$l'' - 2l(\theta')^2 - 2l \sin^2 \theta (\varphi')^2 = 0, \quad (6)$$

$$\theta'' + \frac{2l}{b_0^2 + l^2} \theta l' - 2l \sin \theta \cos \theta (\varphi')^2 = 0, \quad (7)$$

$$\varphi'' + \frac{2l}{b_0^2 + l^2} l' \varphi' + 2 \cdot \operatorname{ctg} \theta \cdot \theta' \varphi' = 0, \quad (8)$$

$$1 - (l')^2 - (b_0^2 + l^2) [(\theta')^2 + \sin^2 \theta \cdot (\varphi')^2] = 0. \quad (9)$$

где  $l, \theta, \varphi$  – радиальные и угловые переменные в сферической системе координат.

Рассмотрим движение струны в плоскости  $\theta = \pi/2$ . В этом случае уравнение (7) выполняется тождественно, а оставшиеся уравнения упростятся. В результате найдем

$$l'' - 2l(\varphi')^2 = 0, \quad (10)$$

$$\varphi'' + \frac{2l}{b_0^2 + l^2} l' \varphi' = 0, \quad (11)$$

$$l - (l')^2 + (b_0^2 + l^2) \varphi'^2 = 0. \quad (12)$$

Уравнение (11) легко интегрируется и мы получаем

$$\varphi' = \frac{C}{b_0^2 + l^2}, \quad (13)$$

где  $C$  – константа интегрирования. Подставляя далее (13) в (12) приходим к уравнению

$$l' = \sqrt{l + \frac{C^2}{b_0^2 + l^2}}. \quad (14)$$

Решение уравнений (13), (14) может быть выражено через эллиптические интегралы. В результате получаем следующее решение:

$$t = \tau, \quad \theta = \frac{\pi}{2}, \quad \varphi - \varphi_0 = kF(\psi, k),$$

$$\sigma - \sigma_0 = F(\psi, k) - \frac{l}{1 - k^2} E(\psi, k) + \frac{l}{b_0(1 - k^2)} \sqrt{\frac{b_0^2 + (1 - k^2)l^2}{b_0^2 + l^2}}, \quad (15)$$

где  $\varphi_0, \sigma_0$  – константы интегрирования, а

$$F(\psi, k) = \int_0^\psi (1 - k^2 \sin^2 t)^{-1/2} dt, \quad E(\psi, k) = \int_0^\psi (1 - k^2 \sin^2 t)^{1/2} dt, \quad (16)$$

$$\psi = \arcsin \frac{l}{\sqrt{b_0^2 + l^2}}, \quad k = \frac{C}{\sqrt{b_0^2 + C^2}}$$

– эллиптические интегралы первого и второго рода соответственно.

Полагая в решении (15)  $C = 0$  получаем следующую простую конфигурацию струны

$$t = \tau, \quad l = b_0(\sigma - \sigma_0), \quad \theta = \frac{\pi}{2}, \quad \varphi = \varphi_0. \quad (17)$$

Приведенное решение описывает прямую струну.

Легко заметить, что уравнения (6)–(9) допускают решение в виде замкнутой струны

$$t = \tau, \quad l = 0, \quad \theta = \frac{\pi}{2}, \quad \varphi = C \cdot \sigma, \quad (18)$$

причем в силу уравнения связи (9)  $C = 1/b_0$ , где  $b_0$  – радиус горловины кротовой

норы. Полученные в работе решения могут служить основой для построения квантовой теории струны в лоренцевых кротовых норах.

В заключение автор выражает глубокую благодарность А.А. Желтухину за обсуждение полученных результатов и критические замечания.

Эта работа поддержана Государственным фондом фундаментальных исследований № Ф4/1751.

#### **Литература**

1. S.W. Hawking. Wormholes in spacetime. Phys. Rev. D., vol 37, № 4, p 904-910, 1998
2. Б.М. Барбашов, В.В. Нестеренко. Модель релятивистской струны в физике адронов. Москва. Энергоатомиздат 1987. 175 стр.

## СЕРИЯ ФЕНЦКЕ И СУЖЕНИЕ ЛИНИИ ЯМР В ТВЁРДЫХ ТЕЛАХ

Рябушкин Д. С., кандидат физико-математических наук, доцент

Серия Фенцке представляет из себя набор трёх импульсов  $90^\circ_x - \tau - 90^\circ_x - 2\tau - 90^\circ_y$ , вызывающих формирование так называемого магического эха, т.е. эха, которое можно наблюдать на временах, больших времени спин-спиновой релаксации  $T_2$ .

Между тем небольшая модификация указанной последовательности позволяет использовать её для решения другой важной задачи магнитного резонанса - сужения линии ЯМР.

Как известно, гамильтониан типичной системы, представляющей интерес для радиоспектроскопии, содержит несколько слагаемых, существенно отличных по своей величине. К наиболее изученным следует отнести диполь-дипольное и квадрупольное взаимодействия, а также химсдвиг, найтовский сдвиг, скалярное и спин-вращательное взаимодействия. Поскольку регистрируемый спектр магнитного резонанса отражает все существующие взаимодействия, то практически невозможно выделить на общем фоне наиболее слабые слагаемые общего гамильтониана. Для того, чтобы преодолеть указанную трудность, ряд авторов предложили использовать специально сконструированные импульсные последовательности, подавляющие нежелательные взаимодействия - как правило, диполь-дипольное и отчасти квадрупольное [1, 2]. Уничтожение наиболее мощных взаимодействий имеет своим попутным результатом уменьшение химического или найтовского сдвигов. Однако последние не усредняются до нуля, что позволяет исследовать особенности этих и других слабых взаимодействий.

В настоящее время предложено довольно много различных импульсных серий, позволяющих сузить линию ЯМР. К наиболее известным относятся четырёх-, восьми- и шестнадцатиимпульсные последовательности, которые к тому же могут сопровождаться вращением образца. Наличие большого числа импульсов позволяет увеличить количество уничтожаемых составляющих гамильтониана, однако при этом возникает проблема с лимитирующим фактором времени спин-спиновой релаксации  $T_2$ . По указанной причине не теряет актуальности задача конструирования относительно простых сужающих серий, состоящих из небольшого количества импульсов. К таковым можно отнести модифицированную серию Фенцке вида

$$90^\circ_x - \tau - 90^\circ_x - \tau - 90^\circ_y - \tau,$$

где наблюдение за сигналом производится в момент времени  $\tau$  после окончания импульса  $90^\circ_y$ .

Исследовалось воздействие сужающей последовательности на систему с преобладающим влиянием диполь-дипольного взаимодействия, описываемого секулярным гамильтонианом

$$H_d = \sum_i \sum_j b_{ij} (I_i \cdot I_j - 3I_{zi} \cdot I_{zj}),$$

$$b_{ij} = \gamma^2 \cdot h \cdot r_{ij}^{-3} \cdot P_2(\cos \theta_{ij}),$$

где  $\gamma$  - гиромагнитное отношение данного сорта ядер,  $h$  - постоянная Планка,  $r_{ij}$  - модуль межъядерного вектора,  $P_2$  - полином Лежандра,  $\theta_{ij}$  - угол между внешним магнитным полем и межъядерным вектором.

В качестве слабого взаимодействия рассматривался гамильтониан химического сдвига

$$H_c = \omega_0 \cdot \sum_i \sigma_{zzi} \cdot I_{zi},$$

где величина  $\sigma_{zzi}$  представляет  $zz$ - компоненту тензора химического сдвига спина  $i$  в лабораторной системе координат, ось которой направлена вдоль внешнего постоянного поля.

Вычисления проводились с помощью метода среднего гамильтониана, в котором "средний" оператор энергии представляется в виде бесконечной суммы типа

$$H = H^{(0)} + H^{(1)} + H^{(2)} + \dots,$$

где

$$H^{(0)} = \int_0^T H(t') dt' / T, \quad (1)$$

$$H^{(1)} = -i \int_0^T dt \int_0^T dt' \cdot [H(t), H(t')] / (2T), \dots$$

В приведённых формулах  $T$  обозначает время цикла - от первого импульса до момента регистрации сигнала (в данном случае  $T = 3\tau$ ).

Подстановка гамильтониана диполь-дипольного взаимодействия в (1) приводит к следующему результату:

$$H^{(0)} = 0,$$

$$H^{(1)} = -i \cdot \tau \cdot [H_x, H_y].$$

Таким образом, предлагаемая сужающая серия уничтожает наибольшее слабое среднего гамильтониана, но при этом сохраняет вклад последующих членов в форму линии магнитного резонанса.

Применение (1) к гамильтониану химического сдвига показывает, что его вклад не усредняется до нуля, а только уменьшается в  $\sqrt{3}$  раз. Следовательно, эксперименты с модифицированной серией Фенке можно использовать для изучения тензора химического экранирования в твёрдых телах.

Если в системе присутствует молекулярная подвижность и при этом распределение случайных полей на ядрах подчиняется закону Гаусса, то легко вычислить отклик в произвольный момент времени  $t$ . В данном случае представляет интерес именно "остаточный" сигнал диполь-дипольного взаимодействия в момент  $3\tau$ :

$$V(t) = \exp\{-\Delta M_2 \tau_c^2 [2\tau/\tau_c - 2 - \exp(-\tau/\tau_c) + 2\exp(-\tau/\tau_c) - \exp(-3\tau/\tau_c)]\},$$

где

$$\langle \omega(t)\omega(t') \rangle = M_2 + \Delta M_2 \exp(-(t - t')/\tau_c),$$

$\tau_c$  – время корреляции (среднее время жизни молекулы в равновесном положении),  $M_2$  - второй момент быстроподвижной системы,  $\Delta M_2$  – разность вторых моментов линий поглощения жёсткой и быстроподвижной систем.

В заключение следует отметить, что импульсная техника сужения линии магнитного резонанса пока не позволяет проводить рутинные измерения химических сдвигов и постоянных спин-спинового взаимодействия. В отдельных случаях удаётся сузить линию ЯМР до нескольких десятков герц, однако для достижения такого результата требуется специальный подбор образца в строго определённой ориентации.

Другой важной проблемой является невозможность уничтожения взаимодействий между ядрами разного сорта. В этом случае предпочтительно использовать технику двойного резонанса.

#### **Литература**

1. Уо Дж., Новые методы ЯМР в твёрдых телах. - Москва: Мир, 1978 - 178 с.
2. Хеберлен У., Меринг М. ЯМР высокого разрешения в твёрдых телах. - Москва: Мир, 1979 - 462 с.



## СПЕКТРЫ ЯМР ПРОТОНОВ ВОДЫ В ПОРОШКАХ ЦЕОЛИТОВ

Сапига А. В., ассистент,

Полулях С.Н., кандидат физико-математических наук, доцент

В твердых телах с внутренней подвижностью особый интерес представляет *переходная область температур*, в которой частота молекулярной подвижности сравнима с шириной спектра магнитного резонанса. Именно в этой области экспериментально наблюдаются существенные отличия спектров ЯМР твердых тел от вязких жидкостей, для которых экспериментально наблюдаемое влияние температуры на форму спектра магнитного резонанса хорошо описывается в рамках существующих теорий [1].

При исследовании сигналов ЯМР от протонов молекул воды в монокристаллическом натролите в переходной области температур нами наблюдались сложные спектры [2], представляющие собой суперпозицию пейковских дублетов жесткой решетки и узкой линии в центре спектра, традиционно приписываемой молекулам воды с более высокой подвижностью. Интерпретировать эти спектры в рамках известных подходов не представлялось возможным в [2], так как узкая центральная линия наблюдалась при одних, и отсутствовала при других ориентациях кристалла в магнитном поле при одной и той же температуре.

Для анализа температурной модификации спектров ЯМР в работе [2] предложен подход, состоящий в том, что при любой температуре молекулярная подвижность представляет собой диффузию молекул воды по регулярным положениям решетки так, что время жизни молекулы в состоянии с фиксированным пространственным положением есть случайная величина с гауссовым распределением. Среднее значение этого распределения – время корреляции  $\tau_c$ . В результате компьютерного моделирования получено [2], что при большой дисперсии распределения, сравнимой со средним значением, воспроизводятся известные ранее результаты [1]. При меньших значениях дисперсии распределения, то есть при более однородном характере поведения молекул воды, воспроизводятся суперпозиционные спектры, экспериментально наблюдаемые в натролите.

Целью настоящей работы является развитие подхода, предложенного в работе [2], для анализа спектров ЯМР протонов воды в порошках цеолитов. Экспериментально наблюдаемые спектры ЯМР протонов воды в порошке натролита приведены на рис.1а, а в порошке шабазита – на рис.1б. Оба минерала относятся к группе цеолитов. Структурные особенности цеолитов таковы, что молекулы воды занимают в каналах цеолита положения с фиксированной ориентацией при низкой температуре и могут легко перемещаться между этими позициями при высокой температуре. Наиболее простая модель подвижности может быть использована для натролита, так как в этом случае при произвольной ориентации магнитного поля имеется только четыре неэквивалентных положения молекул воды, различающихся величиной пейковского расщепления.

Следуя подходу работы [2], непосредственно рассчитывался одноимпульсный сигнал свободной индукции. Спектр ЯМР получался как результат Фурье-преобразования сигнала индукции. Ориентация каждой из частиц порошка относи-

тельно магнитного поля задавалась углами  $\varphi$  и  $\theta$ . При моделировании методом Монте Карло полагалось, что полярный угол  $\varphi$  есть случайная величина с равномерным распределением из диапазона  $[0, 2\pi]$ . Условие равновероятной вероятной ориентации для азимутального угла состояло в том, что  $\cos\theta$  есть случайная величина с равномерным распределением из диапазона  $[-1, 1]$ . Угол, который составляет межпротонный вектор молекулы воды с полем до и после скачка, определяется кристаллической решеткой.

Время корреляции  $\tau_c$  определяется глубиной потенциальной ямы для молекулы воды в решетке цеолита и, при фиксированной температуре  $T$ , может быть определено из закона Аррениуса  $\tau_c = \tau_0 \exp\{E / k T\}$ . Для натролита энергия активации  $E = 14$  ккал/моль,  $\tau_0 = 10^{-12}$  сек [3].

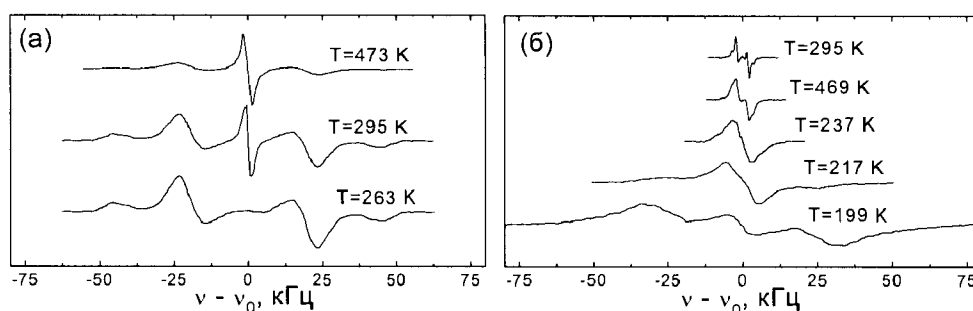


Рис. 1. Спектры ЯМР протонов молекул воды в порошке натролита (а) и шабазита (б).

$\nu_0$  – центральная частота.

Расчетные спектры ЯМР протонов молекул воды в натролите при различных температурах приведены на рис.2. Приведенные спектры получены при дисперсии времени жизни  $\sigma_c = 0.35\tau_c$ . Основная особенность экспериментально наблюдаемых спектров ЯМР в цеолитах состоит в том, что переход от спектра жесткой решетки к спектру, суженному молекулярной подвижностью, происходит так, что в переходной области температур наблюдается суперпозиционный спектр (рис.1). В рамках предлагаемого подхода представляется возможным путем компьютерного моделирования воспроизвести экспериментально наблюдаемые особенности (рис.2). Уширение спектральных линий в расчетных спектрах меньше, чем в экспериментальных вследствие того, что при расчетах не учитывались межмолекулярные взаимодействия. Кроме того, температурный диапазон существования суперпозиционного спектра в расчетных спектрах  $\Delta T \approx 40$  К, что примерно вдвое больше экспериментального значения для натролита и примерно соответствует температурному диапазону переходной области в шабазите.

В рамках предлагаемого подхода спектры в переходной области температур объясняются *одним временем корреляции* в отличие от предлагавшегося ранее широкого асимметричного распределения времен корреляции [4]. Предположение об

однородном характере подвижности молекул воды в цеолитах хорошо согласуется с другими экспериментами, например, с исследованиями дегидратации цеолитов [4].

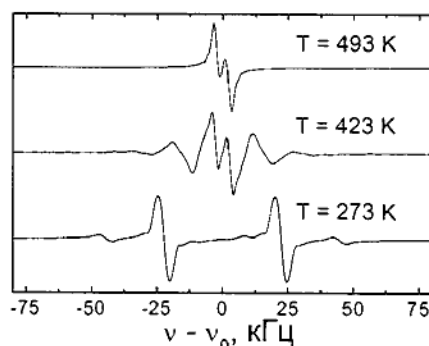


Рис. 2. Расчетный спектр ЯМР протонов молекул воды в порошке натролита.

Суперпозиционные спектры в переходной области температур наблюдаются не только в цеолитах, но и в ряде кристаллогидратов, твердых электролитов и некоторых ионных кристаллов, в которых имеет место диффузия молекул по регулярным позициям кристаллической решетки. Однако, вопрос о том, является ли предлагаемая модель универсальной для всех твердых тел, или она применима только в частном случае цеолитов, остается открытым и требует дальнейших исследований.

#### Литература

1. Сликтер Ч. Основы теории магнитного резонанса. М.: МИР, 1981.
2. Polulyakh S. N., Sapiga N.A. Simulation of Influence of Water Molecules Motion on Proton NMR spectra in Natrolite. // Proceedings of the Joint 29<sup>th</sup> AMPERE - 13<sup>th</sup> ISMAR International Conference. Berlin, 1998, v.2, p. 650 - 651.
3. Thompson R.T., Knispel R.R., Petch H.E. NMR study of the molecular motion of the water in natrolite. Can. J. Phys. **52**, 2164 - 2173, 1974.
4. Resing H.A. Apparent phase-transition effect in NMR spin-spin relaxation time caused by a distribution of correlation time. J.chem.phis., **43**, №2, 669-678, 1965
5. Peng C.J. Termal analysis study of the natroline group. Am. Minerolog. **40**, 834-839, 1955

## О ПРИРОДЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МАГНИТОАКУСТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В БОРАТЕ ЖЕЛЕЗА

Стругацкий М. Б., к.ф.-м.н., доцент, Скибинский К. М., аспирант

В работах [1,2] (рис. 1b) и [3] (рис. 1a, 1c) исследовался магнитоакустический эффект в борате железа. Суть явления состоит в следующем [4]: при распространении поперечного звука вдоль оси третьего порядка кристалла одна из линейно поляризованных мод не взаимодействует с магнитной подсистемой (немагнитная мода), вторая – весьма существенно взаимодействует с ней (магнитная мода). Это взаимодействие определяется добавками к модулю упругости, которые возникают, в том числе, и из-за магнитоэлектрических слагаемых типа  $\lambda_i \mu_j \nu_k$  в термодинамическом потенциале кристалла. Скорость звука магнитной моды зависит от магнитного поля, что приводит к сдвигу фаз между модами. В результате магнитного двупреломления линейно поляризованная акустическая волна на входе в кристалл преобразуется в эллиптически поляризованную на выходе. Осцилляции эллиптичности, возникающие при изменении  $H$ , приводят к осцилляциям амплитуды звука, регистрируемым приемным пьезоэлементом. Такие осцилляции звука в антиферромагнетике получили название осцилляций Гакеля – Турова (ОГТ) по имени их первых исследователей.

Кривые ОГТ для бората железа [1,2] имеют ряд особенностей, не укладывающихся в теорию Турова [4]. Одна из этих особенностей видна из сравнения экспериментальной (рис. 1b) и теоретической [3] (рис. 1a) кривых. Эти кривые существенно различны. В соответствии с теорией амплитуда ОГТ не должна зависеть от магнитного поля  $H$  и ее период должен быть значительно меньше, чем в эксперименте. Как следует из работы [3] экспериментальная кривая может быть описана в рамках следующей модели. На поверхности кристалла существуют экспериментальные граничные условия, которые ведут к неоднородным деформациям образца. Эти деформации, в свою очередь, вызывают неоднородную магнитную анизотропию в базисной плоскости. Таким образом, под воздействием внешнего магнитного поля намагниченность распределяется в кристалле неоднородно. В рамках этой модели удалось довольно хорошо объяснить эксперимент [3] (рис. 1c). Теория же Турова описывает однородный изотропный кристалл.

Вторая особенность состоит в существовании тонкой структуры ОГТ для бората железа [2] (рис. 2). Дело в том, что кривая ОГТ на рис.1b приведена после фильтрации наблюдавшихся в эксперименте шумов. Амплитуда шумов на порядок меньше амплитуды основного сигнала. Отметим, что этот шум не является шумом в истинном смысле слова, поскольку остановка протяжки магнитного поля сопровождается его исчезновением, а повторные записи  $\Delta A(H)$  коррелируют между собой. Речь, таким образом, идет о тонкой структуре кривой ОГТ.

В качестве возможных механизмов тонкой структуры мы в первую очередь рассмотрели влияние на ОГТ пьезомагнитных слагаемых  $\lambda_i \mu_j \nu_k$ , однако, их учет в термодинамическом потенциале не позволил получить “шум”. К “шуму” не приводит, также, и акустический эффект Фарадея, предполагающий небольшой в случае бората железа выход магнитных векторов из базисной плоскости кристалла.

Интересной, с нашей точки зрения, является модель, где предполагается, что волна в кристалле проходит путь значительно больший его толщины. Дело в том, что, как следует из [3] и [4], увеличение длины пути приводит к уменьшению периода ОГТ. Путь, проходимый волной в кристалле, может существенно увеличиться из-за переотражений от неоднородностей. В этом случае на выходе из кристалла будет наблюдаться суперпозиция акустических волн, испытавших разное число переотражений. Неоднородности могут иметь, например, следующее происхождение:

а) ослабление акустического контакта между кристаллом и пьезопреобразователем на части контактирующих поверхностей;

б) внутренние границы в кристалле, связанные с нарушением кристаллической структуры;

в) наличие доменных границ, которые могут возникать из-за ориентационного перехода в кристалле с неоднородной анизотропией.

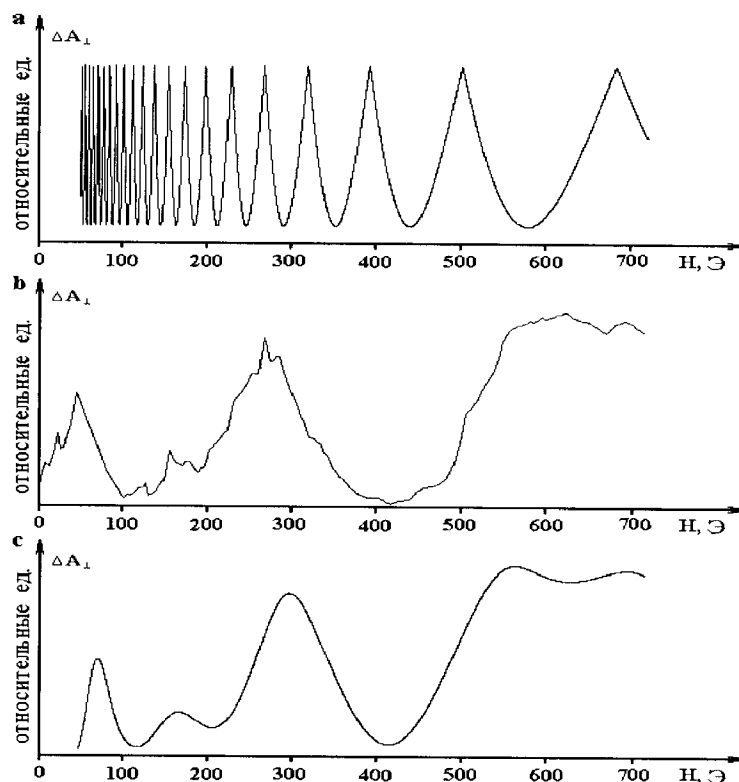


Рис. 1. Кривые зависимости амплитуды  $\Delta A_{\perp}$  гиперзвука от магнитного поля  $H$  (ОГТ) для бората железа.

а) теория Турова, изотропная модель [3]; б) эксперимент [1,2]; в) теория, анизотропная модель [3].

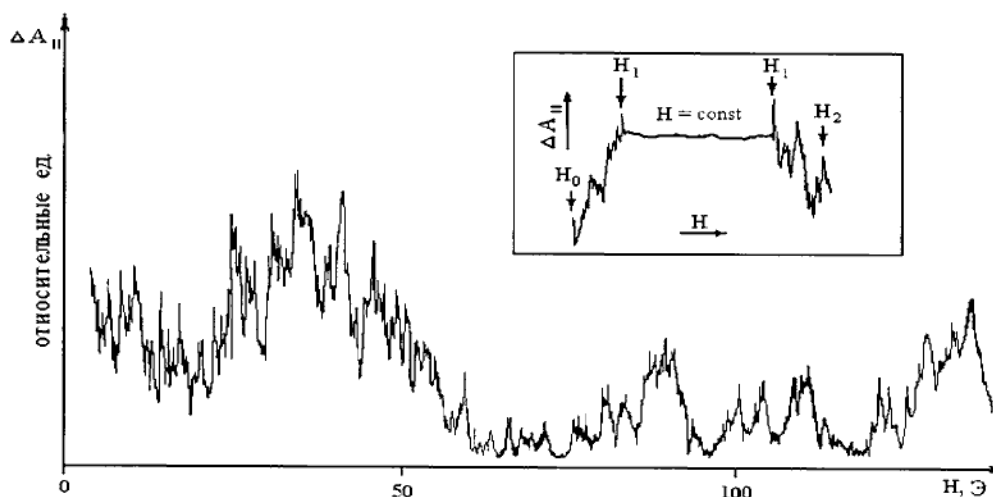


Рис. 2. Тонкая структура кривой зависимости амплитуды гиперзвука от магнитного поля, эксперимент [1,2]

На рис. 3 приведена расчетная кривая, полученная с учетом неоднородностей типа (а). Расчет проводился в рамках анизотропной модели [3], которая в нашем случае была дополнена следующими предположениями. Контактующая с пьезодатчиком поверхность кристалла состоит из двух частей, одна из которых обладает хорошим механическим контактом, другая – нет. Ослабление акустического контакта может быть, например, результатом нарушения склейки в процессе понижения температуры (эксперимент проходил при 77 К). В области кристалла с ослабленным контактом анизотропия существенно меньше, коэффициент отражения, напротив, весьма велик. Это приводит к тому, что попавшая внутрь кристалла волна будет испытывать многократные переотражения от его поверхностей и выходить наружу малыми порциями. Таким образом, волна на выходе является результатом интерференции многочисленных волн, уменьшающихся по амплитуде и сдвинутых по фазе. Следовательно, добавка в основную кривую от области кристалла с ослабленным контактом должна дать быстро осциллирующий, из-за большой длины пути, но малый по амплитуде, из-за большого коэффициента отражения, вклад в основную кривую. Действительно, расчетная кривая на рис. 3 обладает тонкой структурой.

Сравнение расчетных “шумов” (рис. 3) с экспериментальной кривой (рис. 2), показывает качественное согласие теории с экспериментом, что дает право на существование предлагаемой модели. Отметим еще, что в эксперименте “шумы” практически исчезают в полях свыше 200 Э, что тоже достаточно хорошо согласуется с расчетом (рис. 3).

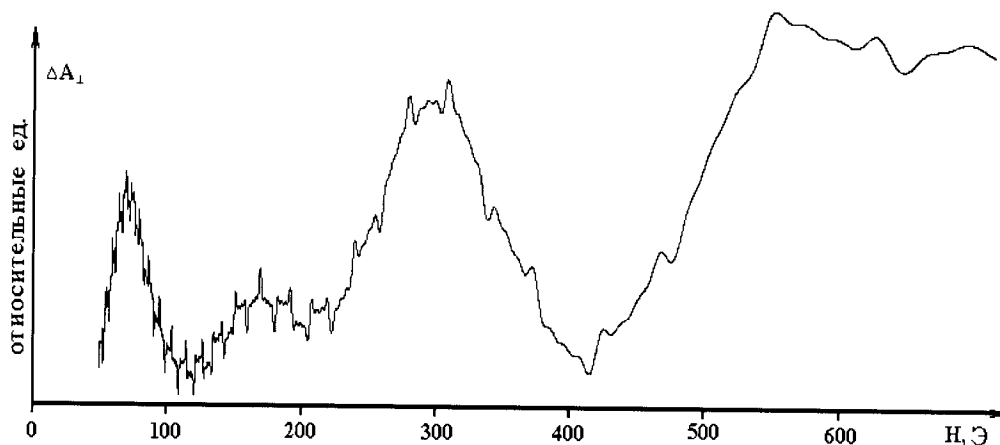


Рис. 3. Теоретическая кривая ОГТ с учетом “шумов”.  $S_1/S_2 = 7/3$ ;  $k_1 = 0,85$ ;  $k_2 = 0$ ; где  $S_1/S_2$  - отношение площадей контактирующих поверхностей кристалла:  $S_1$  - с нормальным контактом,  $S_2$  - с ослабленным контактом; коэффициент отражения:  $k_1$  - в области нормального контакта,  $k_2$  - в области ослабленного контакта;

#### Литература

1. Khizhnyi V.I., Korolyuk A.P., Tarakanov V.V., Strugatsky M.B., Magnetoacoustic oscillation at a geometry of Cotton-Mouton effect in  $FeBO_3$  single crystal. //Proc. XX Int. Conf. on Low Temp. Physics. Oregon. USA V. 2, PG-6 (1993).
2. Королук А.П., Тараканов В.В., Хижный В.Н., Селезнев В.Н., Стругацкий М.Б., Магнитоакустические осцилляции в антиферромагнетике  $FeBO_3$ , ФНТ 22, 8, 824 (1996).
3. Мицай Ю.Н., Скибинский К.М., Стругацкий М.Б., Тараканов В.В., Эффекты линейного магнитоакустического двулучепреломления в  $FeBO_3$ , ФТТ 39, 5, 901 (1997).
4. Туров Е.А., Акустический эффект Коттона-Мутона в антиферромагнетиках, ЖЭТФ 96, 6, 2140 (1989).

## **ФОТОКОЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЯБЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ В СУСЛАХ И ВИНАХ**

*Аристова Н. И., кандидат технических наук,  
Панова Э. П., кандидат химических наук, доцент,  
Вяткина О. В., студентка V курса,  
Кацева Г. Н., старший преподаватель*

Концентрация и соотношение органических кислот является важной характеристикой, несущей значительную информацию о процессах, проходящих в вине. В нем содержатся шесть основных органических кислот, играющих важную роль в формировании кислого вкуса вина. Винная, яблочная и лимонная кислоты переходят из винограда и обладают чисто кислым вкусом. Янтарная, молочная и уксусная кислоты образуются в результате спиртового или яблочно-молочного брожения [1].

Яблочная кислота является двухосновной, содержащей только одну оксигруппу. Встречается в виде L- и D-оптических изомеров и рацемической, оптически неактивной формы. В винограде распространена L-яблочная кислота. Яблочная кислота образует кислые и средние соли - малаты, из которых труднорастворима средняя кальциевая соль  $\text{CaC}_4\text{H}_4\text{O}_5$ .

Значительное количество яблочной кислоты содержат незрелые ягоды: до 15 г на 1 кг винограда. Яблочная кислота участвует в дыхательных процессах и к моменту достижения технической зрелости ее содержание снижается до 2-5 г на 1 кг. В северных районах виноградарства, а также при холодной погоде осенью в южных районах виноград может быть излишне кислым из-за избытка яблочной кислоты. Столовые вина из такого винограда имеют привкус так называемой "зеленой кислотности". Под действием дрожжей и бактерий при благоприятных условиях происходит биологическое кислотопонижение, связанное с превращением яблочной кислоты в слабо диссоциированную молочную кислоту. Применяют также химические методы нейтрализации избыточного количества яблочной кислоты в виноградном сусле или вине [2].

В связи с этим контроль над процессом яблочно-молочного брожения необходимо осуществлять с помощью метода определения массовой концентрации яблочной кислоты.

Сравнительный анализ методов определения массовой концентрации яблочной кислоты, основанных на различных принципах показал следующее.

Химический метод определения массовой концентрации яблочной кислоты, основанный на реакции осаждения, применим при отсутствии в вине винной кислоты.[3] Полярнографические и потенциометрические методы являются труднодоступными из-за отсутствия дефицитных реактивов. Достаточно объективным, не требующим специального дорогостоящего оборудования, является фотометрический метод определения массовой концентрации яблочной кислоты с предварительным выделением органических кислот на ионообменной смоле. Это дает возможность определить яблочную кислоту в присутствии других органических кислот: винной и молочной.



Принцип метода состоит в том, что выделенную с помощью анионообменной смолы D,L-яблочную кислоту определяли фотометрически, на основе образования окрашенного в желтый цвет соединения яблочной и хромотроповой кислот в присутствии 96% серной кислоты. Содержащиеся в элюате другие кислоты реагировали с хромотроповой кислотой в присутствии 86% серной кислоты. Путем вычитания величин оптических плотностей окрашенного комплекса, полученных соответственно, в присутствии 96% и 86% серной кислоты, с помощью калибровочного графика, получали фактическое значение массовой концентрации яблочной кислоты.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

В ходе апробации методики определения массовой концентрации яблочной кислоты с предварительным выделением на анионообменной смоле АВ-17 органических кислот сусла и вина уточнены режимы и условия проведения эксперимента: скорость пропускания образца составляет 1 капля в секунду, скорость элюирования – 1 капля в секунду, время нахождения пробирок на водяной бане - 10 минут, период от начала охлаждения до измерения оптической плотности растворов 90 минут. В качестве элюента выбран раствор сульфата натрия с массовой концентрацией 10г/100см<sup>3</sup>.

Объектом исследований являлись следующие образцы: стандартные растворы яблочной кислоты, сусли из винограда сорта Молдова, столовое вино из винограда сорта Алиготе (ПОХ, урожая 1997 года), крепкий виноматериал из винограда сорта Ркацетели, Портвейн красный Крымский (1996 г), яблочное крепкое вино "Белая скала". Набор экспериментальных данных осуществляли при разработке и апробации в лабораторных условиях метода определения массовой концентрации яблочной кислоты в образцах (табл.1) путем предварительного выделения на анионообменной смоле АВ-17 органических кислот и последующим измерением оптической плотности на концентрационном фотоэлектрическом колориметре КФК-2 при длине волны 420 нм в кювете с длиной оптического пути 10 мм.

Таблица 1.

Результаты определения массовой концентрации кислот в образцах сусл и вин.

№	Образец	Массовая концентрация кислот, г/дм <sup>3</sup>	
		Яблочной	Титруемых
1	Сусли из винограда сорта Молдова	2,2	12,9
2	Столовый материал из винограда сорта Алиготе	5,3	9,9
3	Крепкий виноматериал из винограда Ркацетели	3,9	6,5
4	Крепкое яблочное вино «Белая скала»	1,9	4,1

Калибровочный график был построен после выделения яблочной кислоты на анионообменной смоле АВ-17 из стандартных растворов с массовой концентрацией 2,

3, 4, 5, 6, 8, 10 г/дм<sup>3</sup>, взаимодействии с хромотроповой и серной кислотой и последующего колориметрирования окрашенного комплекса на КФК-2 при длине волны 420 нм. Массовая концентрация яблочной кислоты после выделения на ионообменной смоле составила 91-95% от массовой концентрации яблочной кислоты в стандартных растворах, то есть потери составили 5-9%.

Подготовка ионообменной колонны.

Подготовку ионообменной колонны проводили следующим образом: сток стеклянной колонны покрывали увлажненным войлоком, заполняли подготовленным к работе ионитом до высоты 100 мм. При полностью открытом кране колонны сливали уксусную кислоту с массовой концентрацией 30г/100 см<sup>3</sup> до положения чуть выше поверхности ионита и промывали раствором уксусной кислоты с массовой концентрацией 0,5г/100см<sup>3</sup> и объемом 50 см<sup>3</sup>.

Выделение D,L-яблочной кислоты.

Выделение D,L-яблочной кислоты из стандартных растворов, сусел и вин проводили следующим образом: 10 см<sup>3</sup> образца вносили на подготовленный к работе анионит и пропускали со скоростью 1 капля в секунду. Затем промывали колонку с такой же скоростью 50 см<sup>3</sup> раствора уксусной кислоты с массовой концентрацией 0,5 г/100см<sup>3</sup>, а затем 50 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Связанные с анионитом кислоты элюировали со скоростью 1 капля в секунду 100 см<sup>3</sup> раствора сульфата натрия с массовой концентрацией 10 г/100см<sup>3</sup>. Элюат собирали в мерную колбу вместимостью 100 см<sup>3</sup> до метки. Затем в две пробирки вместимостью по 25 см<sup>3</sup>, обозначаемые А и В, добавляли по 1 см<sup>3</sup> элюата и 1 см<sup>3</sup> раствора хромотроповой кислоты с массовой концентрацией 5г/100см<sup>3</sup>. В пробирку А наливали по 10 см<sup>3</sup> раствора 86% серной кислоты (холостая проба), а в пробирку В - 10 см<sup>3</sup> 96% серной кислоты (измеряемая проба). Пробирки помещали на 10 минут в бурно кипящую водяную баню и после этого охлаждали в темном месте до температуры 20°С. Через 90 минут после начала охлаждения измеряли оптическую плотность окрашенного раствора в пробирке В против холостой пробы в пробирке А на фотоэлектроколориметре при длине 420 нм в кювете на 10 мм.

Построение калибровочного графика.

В мерные колбы вместимостью 50 см<sup>3</sup> добавляли соответственно 5, 10, 15, 20 см<sup>3</sup> стандартного раствора яблочной кислоты с массовой концентрацией 0,5 г/дм<sup>3</sup> и доводили до метки раствором сульфата натрия с массовой концентрацией 10г/100см<sup>3</sup>. Полученные растворы соответствовали элюатам вин, в которых массовая концентрация D,L-яблочной кислоты соответственно составляла 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 г/дм<sup>3</sup>. Далее проводили колориметрирование и выполнение измерений как указано выше. Полученные значения оптических плотностей растворов наносили на график против соответствующих значений концентраций яблочной кислоты. Калибровочный график представлял прямую линию.

Результаты измерений.

Массовую концентрацию D,L-яблочной кислоты (г/дм<sup>3</sup>) установили по калибровочному графику с помощью полученного значения оптической плотности.

На основании проведенных исследований и в соответствии с ГОСТ 8.504 [4] разработана методика выполнения измерений (МВИ) массовой концентрации

яблочной кислоты в сулах и винах. Метрологическая экспертиза разработанной научно-технической документации осуществлена метрологической службой ИВиВ "Магарач". Проведена метрологическая аттестация разработанной МВИ согласно ГОСТ 8.505 [5]. Математическая обработка полученных результатов проведена в условиях автоматизированной системы научных исследований "Магарач". В результате проведения аттестации МВИ (РД 0334830 011-98) [6] определены следующие метрологические характеристики:

1. В диапазоне измерения массовой концентрации яблочной кислоты от 0 до 15 г/дм<sup>3</sup> суммарная абсолютная погрешность измерений (показатель точности) равна 0,16 г/дм<sup>3</sup> при норме точности 0,69 г/дм<sup>3</sup>.
2. Расхождение между двумя параллельными определениями одной пробы (норма сходимости) равно 0,20 г/дм<sup>3</sup>.
3. Расхождение между определениями одной пробы в различных лабораториях (норма воспроизводимости) равно 0,26 г/дм<sup>3</sup>.

#### ВЫВОДЫ.

1. Метрологическая аттестация МВИ массовой концентрации яблочной кислоты с предварительным выделением суммы органических кислот с помощью анионообменной смолы АВ-17 и последующим фотометрированием показали, что метод достаточно точен, отличается хорошей воспроизводимостью и не требует дорогостоящего оборудования.
2. Разработанная методика выполнения измерений позволяет определять яблочную кислоту в присутствии других органических кислот.

#### Литература

1. Риборо-Гайон Ж., Пейно Э., Риборо-Гайон П., Сюдро П. Теория и практика виноделия. т.2.– Москва: Пищевая промышленность, 1981. – т.4 – 485 с.
2. Кишковский З.Н., Скурихин И.М. Химия вина. – Москва: Пищевая промышленность, 1976.– 312 с.
3. Агабальянц Г.Г. Химико-технологический контроль виноделия. – Москва: Пищевая промышленность, 1969. – 203 с.
4. ГОСТ 8.504-84 ГСИ Требования к построению, содержанию и изложению документов, регламентирующих методики выполнения измерений содержания компонентов проб вещества и материалов. 1984. 16 с.
5. ГОСТ 8.505-84 ГСИ Метрологическая аттестация методик выполнения измерений содержания компонентов проб вещества и материалов. 1984. 7с.
6. Методика выполнения измерений массовой концентрации яблочной кислоты в сулах и винах. РД 0334830 011-98, ИВиВ "Магарач", 1998.

## ВЛИЯНИЕ СИЛЫ И ПРИРОДЫ ОСНОВАНИЯ НА ОСАЖДЕНИЕ ОСНОВНЫХ НИТРАТОВ МЕДИ(II) ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Гюннер Э. А., кандидат химических наук, доцент

Сила основания является одним из факторов, влияющих на характер взаимодействия в системах соль металла – основание Бренстеда – вода. Как было показано в [1, с.64] и [2, с.1629], при взаимодействии сульфата и хлорида меди с различными основаниями, понижение силы основания уменьшает максимальное значение отношений  $\text{OH}:\text{Cu}^{2+}$  в осаждающихся соединениях и изменяет области образования отдельных продуктов взаимодействия, расширяя область осаждения основных солей и сокращая область осаждения гидроксида меди. В то же время на характер взаимодействия в системе соль меди – основание – вода может оказывать влияние и природа основания [3, с.222].

В настоящей работе изучено влияние силы и природы основания Бренстеда на осаждение основных нитратов меди. С этой целью исследовали семь систем типа  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 - \text{B} - \text{H}_2\text{O}$ , где В - гидроксид натрия, диэтиламин ( $\text{pK}=2,91$ ), диметиламин ( $\text{pK}=3,27$ ), аммиак ( $\text{pK}=4,75$ ), моноэтаноламин ( $\text{pK}=4,75$ ), диэтаноламин ( $\text{pK}=8,88$ ) и пропионат натрия ( $\text{pK}=9,13$ ).

Исследованию подвергали серии смесей с постоянной начальной концентрацией  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  (0,100 моль/л) и переменной концентрацией В, изменявшейся от нуля до 0,300 моль/л. Образование осадков наблюдалось во всех смесях изученных серий. В системах с аммиаком и моноэтаноламином выпадающие осадки частично растворялись в смесях со значениями  $N_{\text{B}} = \frac{C_{\text{B}}^0}{C_{\text{Cu}(\text{NO}_3)_2}^0} \geq 1,5$  с образованием растворимых комплексов меди; в системах с пропионатом натрия и диэтаноламином растворимые комплексы образовывались и при меньших значениях  $N_{\text{B}}$ . Отношения  $a = \text{OH}:\text{Cu}^{2+}$  в малорастворимых продуктах взаимодействия (гидроксильные числа) определяли путем анализа осадков, отделенных от жидких фаз центрифугированием, по методике, описанной в [3, с.222], которая позволяет устанавливать гидроксильные числа как сухих, так и влажных осадков. Найденные значения гидроксильных чисел осадков сопоставлены в табл. I.

**Система  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 - \text{NaOH} - \text{H}_2\text{O}$ .** Цвет образующихся в системе осадков с увеличением содержания основания изменялся от зелено-голубого до голубого; при  $N_{\text{B}} \geq 1,5$  через несколько часов наблюдалось почернение осадков. Взаимодействие в системе сопровождалось количественным осаждением ионов  $\text{Cu}^{2+}$  при  $N_{\text{B}} \geq 1,5$  и ионов  $\text{OH}^-$  при  $N_{\text{B}} \geq 2,00$ . В системе могут быть выделены две области образования осадков постоянного состава (табл.1). Первая область включает смеси со значениями  $N_{\text{B}} \geq 1,5$ , для которых  $a = 1,49 \pm 3,5 \cdot 10^{-3}$ , что указывает на осаждение гидроксонитрата  $\text{Cu}(\text{OH})_{1,5}(\text{NO}_3)_{0,5}$ ; во второй области ( $N_{\text{B}} \geq 2,00$ ,  $a = 1,99 \pm 3,2 \cdot 10^{-3}$ ) взаимодействие сопровождается образованием гидроксида меди и продуктов его дегидратации. Полученные данные хорошо согласуются с результатами

исследования взаимодействия нитрата меди с гидроксидом натрия в иных концентрационных условиях [4, с.1536], [5, с.2008].

**Система  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 - \text{NH}(\text{C}_2\text{H}_5)_2 - \text{H}_2\text{O}$ .** При смешивании растворов в смесях со значениями  $N_B \geq 1,50$  наблюдалось образование растворимых комплексов меди, которые, однако, через 6-10 часов разлагались с образованием черных осадков. После стабилизации системы количественное осаждение меди наблюдалось при  $N_B > 1,50$ , а количественное протонирование диэтиламина имело место при  $N_B = 1,80$ . Как следует из табл. 1, в системе образуются осадки как постоянного, так и переменного состава. В смесях, для которых  $N_B = 1,40$ , гидроксильные числа осадков постоянны и составляют в среднем  $1,45 \pm 1,7 \cdot 10^{-3}$ , что соответствует образованию основного нитрата  $\text{Cu}(\text{OH})_{1,45}(\text{NO}_3)_{0,55}$ . Дальнейшее увеличение содержания диэтиламина в смесях сопровождается возрастанием гидроксильных чисел до 1,99 при  $N_B = 2,20$ . В интервале  $N_B = 2,20 \div 3,00$  состав осадков отвечает гидроксиду или оксиду меди ( $\alpha = 1,99 \pm 6,3 \cdot 10^{-3}$ ). Заметим, что основной нитрат  $\text{Cu}(\text{OH})_{1,5}(\text{NO}_3)_{0,5}$ , осаждаемый гидроксидом натрия во всех смесях с неполным осаждением ионов меди, в случае диэтиламина образуется только при  $N_B = 1,50$

Таблица 1.  
Отношения  $\text{OH}^- : \text{Cu}^{2+}$  в осадках, образующихся в системах  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 - \text{B} - \text{H}_2\text{O}$

$N_B$	B						
	NaOH	$\text{NH}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$	$\text{NH}(\text{CH}_3)_2$	$\text{NH}_3$	$\text{NH}_2(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})$	$\text{NH}_2(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_2$	$\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_2$
0.10	1.49	1.46	1.45	1.44	1.34	1.39	-
0.20	1.51	1.45	1.45	1.44	1.36	1.38	1.38
0.30	1.51	1.45	1.43	1.45	1.40	1.38	1.38
0.40	1.49	1.45	1.45	1.44	1.42	1.40	1.39
0.60	1.48	1.45	1.45	1.45	1.45	1.40	1.40
0.80	1.48	1.46	1.44	1.45	1.45	1.40	1.40
1.00	1.49	1.45	1.45	1.45	1.45	1.40	1.41
1.20	1.49	1.45	1.44	1.46	1.46	1.41	1.40
1.40	1.50	1.45	1.45	1.45	1.45	1.44	1.40
1.50	1.50	1.50	1.50	1.45	1.46	1.45	1.41
1.60	1.60	1.60	1.60	1.47	1.46	1.47	1.40
1.80	1.80	1.80	1.77	1.68	1.48	1.47	1.41
2.00	1.90	1.97	1.83	1.80	1.48	1.48	1.41
2.20	1.99	1.99	1.94	1.95	1.50	1.48	1.42
2.40	1.98	1.98	1.94	1.97	1.54	1.49	1.41
2.60	1.99	2.00	1.99	1.99	1.63	1.50	1.41
2.80	1.99	2.00	1.99	1.99	1.63	1.50	1.41
3.00	2.00	1.99	1.99	1.99	1.62	1.51	1.41

**Система  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 - \text{NH}(\text{CH}_3)_2 - \text{H}_2\text{O}$ .** Как следует из табл.1, в смесях, не содержащих непротонированный диметиламин ( $N_B < 1,80$ ), продуктом

взаимодействия, как и в системе с диэтиламино, являются  $\text{Cu}(\text{OH})_{1,45}(\text{NO}_3)_{0,55}$  (при  $N_B = 1,40$   $a = 1,45 \pm 2,9 \cdot 10^{-3}$ ) и  $\text{Cu}(\text{OH})_{1,50}(\text{NO}_3)_{0,50}$ , осаждающийся в смеси, для которой  $N_B = 1,50$ . В области неполного протонирования основания ( $N_B > 1,80$ ) наблюдается сокращение области образования гидроксида меди, осаждающегося лишь при  $N_B = 2,60$ .

**Система  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 - \text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$ .** Взаимодействие нитрата меди с аммиаком сопровождается количественным осаждением меди лишь в смеси, для которой  $N_B = 1,50$ ; при более низких значениях  $N_B$  медь содержится в жидкой фазе в виде ионов  $\text{Cu}^{2+}$ , при более высоких – в виде амминных комплексов. В системе наблюдается образование двух малорастворимых соединений постоянного состава (табл.1): при  $N_B = 1,50$   $a = 1,45 \pm 2,1 \cdot 10^{-3}$ , для смесей со значениями  $N_B = 2,60$   $a = 1,99 \pm 0,000$ , что соответствует осаждению  $\text{Cu}(\text{OH})_{1,45}(\text{NO}_3)_{0,55}$  и  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ .

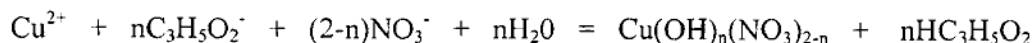
Среди исследованных смесей нет ни одной, для которой состав осадка отвечал бы формуле  $\text{Cu}(\text{OH})_{1,50}(\text{NO}_3)_{0,50}$ , однако вполне возможно, что этот гидроксонитрат осаждается при каком-то значении  $N_B$ , лежащем между 1,60 ( $a = 1,47$ ) и 1,80 ( $a = 1,68$ ).

**Система  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 - \text{NH}_2(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}) - \text{H}_2\text{O}$ .** Как следует из табл.1, гидроксид меди в системе с моноэтаноламино не образуется ни при каких соотношениях реагентов, а максимальное значение гидроксильного числа осадков не превышает 1,63; гидроксонитрат  $\text{Cu}(\text{OH})_{1,63}(\text{NO}_3)_{0,37}$  осаждается при  $N_B = 2,60$  ( $a = 1,63 \pm 4,0 \cdot 10^{-3}$ ). В смесях со значениями  $N_B = 0,60$  имеет место образование осадков переменного состава, гидроксильные числа которых изменяются от 1,34 ( $N_B = 0,10$ ) до 1,45 ( $N_B = 0,60$ ). В интервале  $N_B = 0,60 \div 1,50$  состав осадков постоянен и отвечает гидроксонитрату  $\text{Cu}(\text{OH})_{1,45}(\text{NO}_3)_{0,55}$  ( $a = 1,45 \pm 2,6 \cdot 10^{-3}$ ).

Основной нитрат  $\text{Cu}(\text{OH})_{1,50}(\text{NO}_3)_{0,50}$  образуется лишь в смеси, для которой  $N_B = 2,00$  т.е. при некотором избытке основания.

**Система  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 - \text{NH}(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_2 - \text{H}_2\text{O}$ .** В данной системе не только диэтаноламин, но и нитрат диэтаноламина, являющийся продуктом протонизации основания, способен реагировать с осаждающимися основными нитратами меди как двухатомный спирт, образуя растворимые комплексы меди. Взаимодействие не сопровождается количественным осаждением меди(II) ни в одной из смесей; минимальное значение  $C'_{\text{Cu}}$  составляет  $3,1 \cdot 10^{-3}$  моль/л и отвечает смеси с  $N_B = 1,50$ . В системе можно выделить три области образования осадков постоянного состава. Первая область охватывает смеси, для которых  $N_B = 1,20$ ; в этом интервале соотношения реагентов  $a = 1,40 \pm 3,3 \cdot 10^{-3}$ , что соответствует осаждению основного нитрата  $\text{Cu}(\text{OH})_{1,40}(\text{NO}_3)_{0,60}$ . В смесях со значениями  $N_B$  равными 1,40 и 1,60, продуктом взаимодействия является  $\text{Cu}(\text{OH})_{1,45}(\text{NO}_3)_{0,55}$ . Третья область включает смеси со значениями  $N_B = 2,40$  ( $a = 1,50 \pm 4,0 \cdot 10^{-3}$ ); в этих условиях медь осаждается в виде гидроксонитрата  $\text{Cu}(\text{OH})_{1,50}(\text{NO}_3)_{0,50}$ .

**Система  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 - \text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_2 - \text{H}_2\text{O}$ .** Пропионат меди растворим в воде, в силу чего образование осадков при смешивании растворов нитрата меди и пропионата натрия свидетельствует о протекании реакции типа



Заметим, что аналогичная схема взаимодействия реализуется в системе  $\text{CuSO}_4 - \text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_2 - \text{H}_2\text{O}$  [3, с.224].

В рассматриваемой системе образование растворимых комплексов наблюдается при любых соотношениях реагентов, в результате чего в смесях осаждаются не более 30% меди от начальной концентрации. Гидроксильные числа образующихся в системе осадков практически не зависят от состава смесей и составляют  $1,40 \pm 2,8 \cdot 10^{-3}$ . Гидроксонитрат  $\text{Cu}(\text{OH})_{1,40}(\text{NO}_3)_{0,60}$ , таким образом, является единственным малорастворимым продуктом в рассматриваемой системе.

Сопоставляя полученные результаты, можно заключить, что сила основания существенно влияет на характер взаимодействия в системах  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 - \text{B} - \text{H}_2\text{O}$ . Прежде всего обращает на себя внимание то, что гидроксонитраты меди постоянного состава, образующиеся в системах со слабыми основаниями, значительно разнообразнее, чем в случае сильных оснований. Если гидроксид натрия осаждаёт лишь один основной нитрат меди с гидроксильным числом 1,50, то в системах со слабыми основаниями, кроме этого соединения, зарегистрировано осаждение гидроксонитратов с гидроксильными числами 1,40, 1,45 и 1,63. Области образования этих соединений указаны в табл.2.

Таблица 2.

Области образования гидроксида меди и гидроксонитратов постоянного состава в системах  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 - \text{B} - \text{H}_2\text{O}$ .

B	pK	OH <sup>-</sup> : Cu <sup>2+</sup>				
		1,40	1,45	1,50	1,63	2,00
NaOH	-	-	-	1,50	-	2,00
NH(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub>	2,91	-	1,40	1,50	-	2,20
NH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	3,27	-	1,40	1,50	-	2,60
NH <sub>3</sub>	4,75	-	1,50	-1,60		2,60
NH <sub>2</sub> (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> OH)	4,75	-	0,60-0,150	2,00	2,60	-
NH(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> OH) <sub>2</sub>	8,88	1,20	1,40-1,50	2,40	-	-
NaC <sub>3</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	9,13	3,00	-	-	-	-

Как видно из табл.2, с понижением силы основания наблюдается уменьшение максимального значения гидроксильного числа в малорастворимых продуктах взаимодействия. В случае гидроксида натрия, диэтиламина, диметиламина и аммиака гидроксильные числа осадков достигают двух, тогда как в системах с моноэтаноламином, диэтанноламином и пропионатом натрия гидроксильные числа не превышают 1,63, 1,50 и 1,40 соответственно. С уменьшением силы основания сокращается область образования соединения с максимальным гидроксильным числом; так, в случае гидроксида натрия состав осадков соответствует гидроксиду меди уже при  $N_B = 2,00$ , тогда как в системах с диэтиламином соответствующие значения  $N_B$  равны 2,20 и 2,60. Сила основания оказывает также влияние на природу осадков с одинаковыми значениями гидроксильного числа, образуемых в системах с основаниями разной силы. Так, например, осадки с гидроксильным

числом, близким к 1,60, образуются в системах с гидроксидом натрия, диэтиламино, диметиламином и моноэтаноламино; однако в системах с основаниями, способными осаждать  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , эти осадки неустойчивы, чернеют при старении и, по-видимому, представляют собой смеси основного нитрата и гидроксида меди, тогда как в системе с моноэтаноламино продукт взаимодействия с гидроксильным числом 1,63 устойчив и является индивидуальным гидроксонитратом меди.

В то же время на характер взаимодействия оказывает влияние природа основания, что особенно ярко проявляется в системах с аммиаком и моноэтаноламино. Хотя значения  $pK$  для этих оснований одинаковы, аммиак в смесях с достаточным избытком основания образует гидроксид меди, для которого гидроксильное число равно двум, тогда как в случае моноэтаноламина гидроксильные числа осадков не превышают 1,63. Природа основания влияет также на выход малорастворимых продуктов взаимодействия. Так, в системах с диэтиламино и пропионатом натрия, основаниями, имеющими близкие значения  $pK$  (8,88 и 9,13), при  $N_B = 1,00$  продуктом взаимодействия является  $\text{Cu}(\text{OH})_{1,40}(\text{NO}_3)_{0,60}$ ; однако в случае диэтиламина в виде этого соединения осаждается 62% меди, а в случае пропионата натрия - лишь 18%. Влияние природы основания на характер взаимодействия в системах  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 - \text{B} - \text{H}_2\text{O}$ , по-видимому, связано со свойствами продуктов протонизации соответствующих оснований и устойчивостью растворимых комплексов меди, образующихся в системе.

#### Литература

1. Гюннер Э.А., Яхкинд Н.Д., Темная И.Б. Влияние силы основания на осаждение основных сульфатов меди(II) из растворов//Журн. неорганической химии.- 1991. - Т. 36.- №1. - С.64-68.
2. Гюннер Э.А., Яхкинд Н.Д. Влияние силы основания на осаждение основных хлоридов меди(II) из растворов// Журн. неорганической химии.- 1995. - Т. 40.- №10. - С.1629-1631.
3. Гюннер Э.А., Яхкинд Н.Д. Влияние природы основания на осаждение гидроксосульфатов меди(II) из растворов//Журн. неорганической химии.- 1997. - Т. 42.- №2. - С.222-225.
4. Мартыненко Л.И. Об основных солях двухвалентной меди//Журн. неорганической химии.- 1970. - Т. 15.- №6. - С.1533-1538.
5. Вассерман И.М., Силантьева Н.И. Система  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 - \text{NaOH} - \text{H}_2\text{O}$ //Журн. неорганической химии.- 1968. - Т. 13.- №7. - С.2008-2013.



**АДСОРБЦИЯ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА ГИДРОЗОЛЯМИ MnO<sub>2</sub>**

*Костык С. В., кандидат химических наук,  
Першина Е. Д., кандидат химических наук, доцент,  
Краснощекая Э. А., аспирант,  
Грошенко Н. А., кандидат химических наук, профессор*

**1. Введение.**

При описании процессов, происходящих в реакторах очистки воды [1] и в природных системах (самоочищение водоемов [2]), применяется математическое моделирование. Для корректной разработки модели необходимо достоверно описать физико-химический процесс на границах раздела фаз. Особое внимание при этом следует уделять учету субмикронных дисперсных оксидов переходных металлов [3], обладающих как развитыми адсорбционными [4], так и каталитическими свойствами [5]. В работе на основании экспериментальных подходов рассматривается адсорбция на частицах золя MnO<sub>2</sub> поливинилового спирта, распространенного в промышленности водорастворимого полимера. Гидрозоли MnO<sub>2</sub> образуются в процессе окислительной очистки промышленных стоков при использовании перманганата калия. Представляет интерес изучение указанных гидрозолей как основной формы переноса MnO<sub>2</sub> природными водами.

**2. Экспериментальная часть.**

В работе использованы образцы золей MnO<sub>2</sub>, полученные взаимодействием растворов KMnO<sub>4</sub> и H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> при термостатировании. Условия приготовления (температура, среда, концентрация и порядок введения реагентов) влияли на свойства золей (табл.1).

**Таблица 1**

Свойства некоторых образцов золей MnO<sub>2</sub>, полученных при разных температурах  
[KMnO<sub>4</sub>]<sub>0</sub> = 1·10<sup>-3</sup> М; [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]<sub>0</sub> = 1,5·10<sup>-3</sup> М; [MnO<sub>2</sub>] = 5·10<sup>-4</sup> М; рН<sub>исх</sub> 8,0

№	t, °С	λ <sub>max</sub> , нм	D(λ <sub>max</sub> )	Средний размер частиц, нм	Удельная поверхность [6], м <sup>2</sup> /г
1	12	329±2	1,08	10	120,0
2	25	339±3	0,99	18	66,7
3	39	346±4	0,92	32	37,5
4	56	353±6	0,83	62	19,4

Размеры частиц золей определялись кинетическим методом [6].

Водные растворы ПВС готовили растворением технического образца при 80°С, затем фракционировали и выдерживали в течение суток. Количество остаточных ацетатных групп ПВС определяли по [7]. При 20±0,2°С измеряли удельную вязкость (η<sub>уд.</sub>) [8]:

$$\eta_{уд.i} = (\eta_i - \eta_0) / \eta_0, \quad (1)$$

где η<sub>i</sub> – вязкость раствора i; η<sub>0</sub> – вязкость воды. Кривую η<sub>уд.i</sub>/C<sub>i</sub> = f(C<sub>i</sub>) экстраполировали к C=0, находя характеристическую вязкость [η]; вычисляли среднеквадратичное расстояние между концами цепи в растворе ⟨r<sup>2</sup>⟩<sup>1/2</sup> и в θ-растворителе ⟨r<sub>0</sub><sup>2</sup>⟩<sup>1/2</sup> и радиус инерции ⟨s<sup>2</sup>⟩<sup>1/2</sup> [9]:

$$[\eta] = \Phi \cdot \langle r^2 \rangle^{1/2} / M_w \quad (2); \quad \langle r_0^2 \rangle = (K_\eta / \Phi)^{2/3} \quad (3);$$

$$\langle s^2 \rangle = \langle r^2 \rangle / 6 \quad (4); \quad a^2 = \langle r^2 \rangle / \langle r_0^2 \rangle \quad (5),$$

где  $\Phi$  – константа Флори, принятая  $2,8 \cdot 10^{23}$  [10],  $M_w$  – молекулярная масса ПВС (здесь: в кг/моль), вычисленная по формуле (6) [11] для 293 К:

$$[\eta] = K_\eta \cdot M_w^\alpha, \quad (6)$$

где  $K_\eta$  для ПВС-1 и ПВС-2 приняты [12] соответственно  $7,4 \cdot 10^{-5}$  и  $6,9 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/кг, а константы  $\alpha$  – 0,63;  $M_w$  выражена в г/моль;  $a$  – коэффициент набухания клубка.

Концентрацию ПВС выше 20 мг/л находили по вязкости раствора; при 0,5-1 г/л – колориметрически [13]. Адсорбцию ПВС на поверхности дисперсной фазы рассчитывали по разности концентраций растворов ПВС до и после контакта с  $MnO_2$ , который отделяли центрифугированием:

$$\Gamma = (C_0 - C_p) \cdot V/S, \text{ (уд.поверхн.адсорбция); } (7) \quad A = (C_0 - C_p) \cdot V/m, \text{ (уд.мол.адсорбция); } (8)$$

где  $C_0$  и  $C_p$  – начальная и равновесная концентрации ПВС, мг/м<sup>2</sup>;  $V$  – объем раствора, м<sup>3</sup>;  $S$  – площадь поверхности, м<sup>2</sup>;  $m$  – количество вещества образца, моль.

Параметры адсорбции ПВС на частицах находили по данным электроповерхностных измерений [14]. Степень покрытия поверхности (9) оценивали по смещению и.э.т. золья [15]. Доля элементарных звеньев, контактирующих с поверхностью [16]:

$$v = (M_{зв} / (N_a \cdot s_0)) \cdot \vartheta / \Gamma, \quad (9)$$

где  $M_{зв}$  – молекулярная масса звена;  $s_0$  (нм<sup>2</sup>) – посадочная площадка, (на основании плотности сухого ПВС и  $M_w$  – площадь проекции эффективной гидродинамической сферы – для ПВС  $s_0 = 0,28$  нм<sup>2</sup>);  $N_a$  – число Авогадро;  $\Gamma$  (мг/м<sup>2</sup>). Толщину адсорбционного слоя (Н) ПВС оценивали по снижению  $\zeta$ -потенциала [17].

### 3. Результаты и обсуждение.

В табл. 2 приведены основные свойства растворов образцов. Длину сегмента макроцепи  $l_s$  находили путем совместного решения уравнений (10) и (11) [9]:

$$\langle r_0^2 \rangle = i \cdot l_s^2, \quad (10) \quad L = i \cdot l_s = l_a \cdot n / 2, \quad (11)$$

где  $i$  – среднее число сегментов длиной  $l_s$  в макромолекуле,  $n$  – число атомов С по контуру цепи,  $l_a$  – расстояние между ними (Å),  $L$  – длина цепи. Расстояние С-С [18]  $l_a = 2,51$  Å.  $l_s$  для образцов ПВС-1 и ПВС-2 соответственно  $1,55 \pm 0,01$  и  $1,49 \pm 0,01$  нм.

Таблица 2

Параметры макромолекулярной цепи ПВС в водном растворе

Образец	Содерж. ацет. групп, масс. %	$[\eta]$ , м <sup>3</sup> /кг	$M_w \cdot 10^{-4}$ , г/моль	$\langle r^2 \rangle^{1/2}$ , нм	$\langle r_0^2 \rangle^{1/2}$ , нм	$a$	$\langle s^2 \rangle^{1/2}$ , нм
ПВС-1-1	2,5	0,0213	0,8	8,47	8,42	1,01	3,45
ПВС-1-2	2,5	0,0425	2,4	15,39	14,59	1,05	6,28
ПВС-1-3	2,5	0,0568	3,8	19,86	18,38	1,08	8,11
ПВС-2-1	15	0,0331	1,8	12,86	12,35	1,04	5,25
ПВС-2-2	15	0,0606	4,7	12,67	19,95	1,09	8,85

Из геометрических данных оценен размер посадочной площадки элементарного звена: для ПВС-1 и ПВС-2 соответственно  $29,2 \pm 0,5$  Å<sup>2</sup> и  $28,1 \pm 0,5$  Å<sup>2</sup>, что согласуется с [19].

На рис.1, 2 показаны изотермы адсорбции близких по характеристикам разбавленных растворов ПВС-1-3 и ПВС-2-2 на частицах среднего размера  $30 \pm 5$  нм. Ионная сила ( $I$ ) в пределах  $5 \cdot 10^{-4}$ - $10^{-2}$  заметно не влияет на величину адсорбции. Повышение  $I$  приводит к увеличению  $\Gamma$  для всех образцов ПВС. Более сложно влияет рН, что связано с конкуренцией ПОИ (потенциалопределяющих ионов) на поверхности частиц. Изотермы для малых  $\Gamma$  ПВС приближаются по форме к изотермам Ленгмюра с выходом на "плато", затем  $\Gamma$  увеличивается (адсорбция агрегатов) [20].

Адсорбция ПОИ ( $\text{OH}^-$  [4]) в области рН  $> 3$  для  $\text{MnO}_2$  на кислотно-основных центрах обуславливает их зарядение. По мере приближения рН среды к т.н.з.  $\text{MnO}_2$  (рН 3,1) адсорбция ПОИ уменьшается, а доля электронейтральных групп возрастает: гидратная оболочка препятствует адсорбции макромолекул и агрегатов. С повышением рН растет адсорбция макромолекул (первое "плато") и агрегатов ПВС (второе "плато"). Сходные по форме изотермы для образцов ПВС-1-3 и ПВС-2-2 различаются крутизной начальных участков, соответствующих посадке отдельных макромолекул. На рис.3, 4 показаны изотермы адсорбции ПВС различных  $M_w$ . Адсорбция повышается с ростом  $M_w$  полимера.

По данным о плотности поверхностного заряда ( $\sigma$ ) частиц золя, покрытых полимерными слоями, в сравнении с непокрытыми оценивали структуру и параметры ДЭС, осложненного адсорбцией ПВС. Поверхностный заряд частиц при адсорбции неионного полимера из раствора (табл.3) имеет тенденцию к снижению [16], вследствие конкуренции ПОИ и ПВС на одноименных активных центрах. Однако (табл. 3) величины  $\sigma_n$  (для покрытых частиц) мало отличаются от аналогичных  $\sigma$  для чистых. Эта особенность свойственна зольм  $\text{MnO}_2$  и при больших значениях  $\Gamma$  ПВС, вследствие слабой конкуренции макромолекул  $\text{OH}^-$  ионам. Большее различие  $\sigma$  и  $\sigma_n$  отмечено для образцов с меньшей  $M_w$  и большим числом  $\text{COOH}$ - групп. В ходе потенциометрического определения  $\sigma_n$  равновесие по  $\text{OH}^-$  ионам для ПВС-содержащих золь достигалось практически одинаково, как и для чистых золь. Это говорит о почти не затрудненном проникновении  $\text{OH}^-$  ионов в слой Штерна, вследствие неоднородностей покрытия, разрыхленных участков поверхности. Степень покрытия частиц [14] в пределах 0,3-0,5. При этом снижение  $\zeta$ -потенциала полимерсодержащего золя при адсорбции ПВС обусловлено лишь смещением плоскости скольжения.

По данным электрофореза ПВС-содержащих золь находили  $\zeta$ -потенциал и средние толщины адсорбционного слоя ( $H$ ) ПВС на частицах по формуле (12) [21]:

$$\text{th}[z \cdot e \cdot \zeta / (4 \cdot k \cdot T)] = \text{th}[z \cdot e \cdot \phi_\delta / (4 \cdot k \cdot T) \cdot \exp[-x \cdot \chi]]; \quad H = x + \delta, \quad (12)$$

где  $\chi^{-1}$  – радиус дебаевского экранирования,  $z$  – валентность противоионов,  $\delta$  – толщина слоя Штерна,  $x$  – расстояние от плоскости скольжения до его границы; в качестве  $\phi_\delta$ -потенциала принимался  $\zeta$ -потенциал в отсутствие ПВС. Расчет проводили, последовательно снижая величину  $\zeta$ -потенциала непокрытых частиц и добываясь соответствия расчетной подвижности измеренной, с учетом поляризации ДЭС сферической частицы [21].

Таблица

Плотность поверхностного заряда частиц золя  $MnO_2$  в присутствии ПВС  
(4 образца, фон: 0,005 М  $KNO_3$ ) при различных величинах  
адсорбции полимера и pH среды (18°C)

pH	Предельная адсорбция, $A_\infty$ , г/моль	Плотность поверхностного заряда $\sigma_n$ , Кл/м <sup>2</sup>		
		ПВС-1-1, $M_w$ 8000	ПВС-1-3, $M_w$ 38000	ПВС-2-2, $M_w$ 47000
6,8	0	4,32	4,32	4,32
	0,6	4,36	4,24	4,27
	1,4	4,20	-	4,19
	1,8	-	4,27	4,24
8,1	0	6,18	6,18	6,18
	0,5	5,98	6,15	6,10
	1,4	-	6,11	6,11
	1,7	5,85	6,12	-

Зависимость  $\zeta$ -потенциала (фон 0,005 М  $KNO_3$ ) частиц золя  $MnO_2$  и толщину полимерного слоя от адсорбции ПВС (рис.5, 6) свидетельствует, что с ростом pH увеличивается плотность приповерхностного слоя полимера и разрыхляются дальние слои. Высокое значение  $\sigma_n$  для золь  $MnO_2$  в сравнении с системами [19, 22] предполагает кулоновское взаимодействие в основном в дальних слоях, и неводородную донорно-акцепторную связь в плотном адсорбционном слое [13].

Приведенное дает основание применить для описания адсорбционного слоя ПВС на частицах  $MnO_2$  модель Хуве-Хесселинка [23, 24] для слоя, состоящего из двух частей: плотной – вблизи поверхности с большим числом контактов макромолекулы с ней, и рыхлой – обращенных в раствор петель и хвостов. Распределение петель по размерам (13) [25]:

$$n_i = n \cdot b \cdot \pi^{-1/2} \cdot (i_{cp})^{-1} \cdot i^{-3/2} \cdot \exp[-i \cdot l_s^2 \cdot (i_{cp})^2], \quad (13)$$

где  $n_i$  – число петель  $i$ -го размера,  $n$  – общее число петель на единицу площади,  $(i_{cp})$  – среднее число сегментов в петле. Чтобы вычислить  $(i_{cp})$ , воспользуемся приемом [16]. Из выражения плотности распределения сегментов [24] при соблюдении (13):

$$(i_{cp}) = 2 \cdot b \cdot 6^{1/2} / (l_s \cdot r_n). \quad (14)$$

Параметр  $r_n$  – функция доли связанных с поверхностью элементарных звеньев  $\vartheta$  и безразмерной константы  $K_n$ , характеризующей гибкость макроцепи (15) [25]:

$$r_n = (K_n / \delta') \cdot [\vartheta / (1 - \vartheta)]. \quad (15)$$

Из данных адсорбции вычисляется  $\vartheta$  как отношение числа звеньев в первом слое ( $\Gamma_0$  находим из размера посадочных площадок при степени заполнения поверхности 0,4 [16]) к их общему числу ( $\Gamma_\infty$  – данные эксперимента).  $K_n$  подбирается так, чтобы вычисленная из (16):

$$H - \delta' = [(\Gamma_\infty - \Gamma_0) / (K_n \cdot \rho_0)] \cdot \ln[K_n \cdot \rho / \rho_0] \quad (16)$$

зависимость толщины слоя  $H$  от  $\Gamma$  приближалась к экспериментальной  $H = f(\Gamma_\infty)$ . Здесь  $\delta'$  – толщина звеньев в первом слое,  $\rho_0 \cdot \delta' = \Gamma_0$ , а  $\rho_3$  вычисляется как плотность клубка с радиусом, соответствующим радиусу свободной цепи ( $m$  – число элементарных звеньев в сегменте):

$$\rho_3 = m \cdot (1,5 \cdot \pi)^{3/2} \cdot \langle (s^2) \rangle^{-3/2} \cdot \exp[3 \cdot \langle r^2 \rangle / (2 \cdot \langle s^2 \rangle)]. \quad (17)$$

Параметры адсорбционных слоев и распределение петель ПВС по размерам в зависимости от величины адсорбции ПВС на частицах золя (табл. 4, 5) получены численным решением уравнений (12-17). При  $\Gamma_{\infty}$  ниже  $0,6 \text{ мг/м}^2$  осуществляется планарная адсорбция цепей.

Таблица 4

Исходные данные для расчета распределения петель адсорбированного полимера по размерам

1.	Условия эксперимента: pH 6,8; $I = 0,005$ ; $t = 25^{\circ}\text{C}$						
2.	Характеристики исходных компонентов:						
2.1.	ПВС-1-3: (средневязкостная молекулярная масса $38000 \text{ г/моль}$ )						
	Параметры раствора: а) радиус инерции $\langle s^2 \rangle^{1/2} = 8,11 \text{ нм}$ ;						
	б) среднеквадр. расстояние между концами цепи в растворе $\langle r^2 \rangle^{1/2} = 19,86 \text{ нм}$ ;						
	Параметры макроцепи: а) молекулярная масса звена $44 \text{ г/моль}$ ;						
	б) молекулярная масса сегмента $264 \text{ г/моль}$ ; в) длина сегмента $1,55 \text{ нм}$ ;						
2.2.	Частицы золя $\text{MnO}_2$ : (молекулярная масса $\text{MnO}_2$ $87 \text{ г/моль}$ )						
	Параметры: а) удельная поверхность частицы $38 \text{ м}^2/\text{г}$ ;						
	б) средний размер частиц $30\text{-}40 \text{ нм}$ ; в) концентрация в растворе $0,01 \text{ моль/л}$ ;						
3.	Адсорбционная система: а) Параметры адсорбции ПВС на $\text{MnO}_2$ :						
	$[\text{ПВС}], \text{ г/л}$ (эксперимент)	0,17	0,50	1,00	1,43	1,80	2,00
	$\Gamma_{\infty}, \text{ мг/м}^2$	0,34	0,60	0,69	0,78	0,91	0,94
	$N_{\text{адс.слоя}}, \text{ нм}$	0,51	1,76	3,60	8,59	14,26	17,80
	б) Приближенные параметры адсорбционного слоя:						
	– средний размер посадочной площадки сегмента $0,3 \text{ нм}^2$ ;						
	– толщина первого плотного приповерхностного слоя $0,6 \text{ нм}$ ;						
	– доля связанных с поверхностью элементарных звеньев $0,4$ .						

#### 4. Выводы.

В результате изучения изотерм адсорбции ПВС на частицах золя  $\text{MnO}_2$  и их электроповерхностных свойств выявлена зависимость параметров адсорбционных слоев (толщина и распределение петель макромолекул по размерам) от величины адсорбции, pH среды, размера частиц и молекулярно-массовых характеристик образцов ПВС. Предлагается для описания адсорбционных слоев ПВС на поверхности частиц зольей  $\text{MnO}_2$  применять закономерности структурно-статистической теории Хуве-Хесселинка, предполагающей донорно-акцепторную связь плотного слоя полимера с поверхностью частиц за счет электроно-акцепторных уровней  $\text{MnO}_2$ , и наличие разрыхленного периферийного слоя ПВС, содержащего воду в виде полимерных аквакомплексов. В согласии с приведенной теорией показано распределение по размерам направленных в раствор петель и хвостов макромолекул ПВС.

Таблица 5

Результаты расчета распределения петель адсорбированного ПВС  
по размерам (см. табл.4)

Поверхностная концентрация петель $1,33 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-2}$ Удельная адсорбция в приповерхностном плотном адс.слое $5,8 \cdot 10^{-4} \text{ г/м}^2$ Безразмерный коэффициент гибкости цепи $K_n 0,332$				
Распределение петель по количеству структурных сегментов:				
$\Gamma_{\infty}, \text{ мг/м}^2$	0,69	0,78	0,91	0,94
$h_{\text{адс.слоя}}, \text{ нм}$	3,60	8,59	14,26	17,80
Число сегментов в петле	Количество сегментов на $1 \text{ м}^2$ поверхности частицы			
1	$7,22 \cdot 10^{15}$	$1,03 \cdot 10^{17}$	$1,45 \cdot 10^{17}$	$1,44 \cdot 10^{17}$
2	$2,52 \cdot 10^{13}$	$9,47 \cdot 10^{15}$	$3,17 \cdot 10^{16}$	$3,39 \cdot 10^{16}$
4	$8,75 \cdot 10^8$	$2,27 \cdot 10^{14}$	$4,25 \cdot 10^{15}$	$5,32 \cdot 10^{15}$
5	$6,24 \cdot 10^6$	$4,25 \cdot 10^{13}$	$1,87 \cdot 10^{15}$	$2,53 \cdot 10^{15}$
7	$3,66 \cdot 10^2$	$1,74 \cdot 10^{12}$	$4,29 \cdot 10^{14}$	$6,80 \cdot 10^{14}$
8	3	$3,73 \cdot 10^{11}$	$2,16 \cdot 10^{14}$	$3,70 \cdot 10^{14}$
10		$1,81 \cdot 10^{10}$	$5,87 \cdot 10^{13}$	$1,17 \cdot 10^{14}$
13		$2,17 \cdot 10^8$	$9,25 \cdot 10^{12}$	$2,34 \cdot 10^{13}$
17		$6,73 \cdot 10^5$	$8,90 \cdot 10^{11}$	$3,08 \cdot 10^{12}$
22		$5,52 \cdot 10^2$	$5,35 \cdot 10^{10}$	$2,75 \cdot 10^{11}$
26		2	$6,00 \cdot 10^9$	$4,21 \cdot 10^{10}$
41			$2,10 \cdot 10^6$	$4,79 \cdot 10^7$
55			$1,53 \cdot 10^2$	$1,04 \cdot 10^5$
69			1	$2,51 \cdot 10^2$
72				$6,9 \cdot 10^1$
81				2

## Литература

1. Краснобородько И.Г. Деструктивная очистка сточных вод от красителей. - Л., 1988. - 192 с.
2. Каталитические реакции и охрана окружающей среды / Сычев А.Я., Травин С.О., Дука Г.Г., Скурлатов Ю.И. - Кишинев, 1983. - 272 с.
3. Parks G.A., de Bruyn P.L. // J.Phys. Chem. - 1962. - V.66, № 6. - P.967.
4. Нечаев Е.А. Хемосорбция органических веществ на оксидах и металлах. - Харьков: ХГУ, 1989. - 144 с.
5. Parida K.M., Kanungo S.B. // Thermochim. Acta. - 1983. - V.64. - P.131.
6. Костык С.В., Першина Е.Д., Грошенко Н.А. // Ученые записки Симф. госуниверситета - 1997. - № 4 (43). - С.97.
7. Аналитическая химия полимеров / Под ред. А.А.Арест-Якубовича. - М., 1965 -Т.2.- 472 с.
8. Геккелер К., Экштайн Х. Аналитические и препаративные методы. - М., 1994. - 416 с.

9. Баран А.А., Кочерга И.И., Соломенцева И.М. // Коллоид. журн. - 1977. Т.39, № 1. - С.9.
10. Нестеров А.Е., Липатов Ю.С. Термодинамика растворов и смесей полимеров. - К., 1984. - 300 с.
11. Липатов Ю.С., Нестеров А.Е., Гриценко Т.М., Веселовский Р.А. Справочник по химии полимеров. - К., 1971. - 338 с.
12. Нестеров А.Е. Справочник по физической химии полимеров. Т.1. Свойства растворов и смесей полимеров. - К., 1984. - 375 с.
13. Полищук Т.А. Исследование адсорбции поливинилового спирта и ее влияние на электроповерхностные характеристики окислов: Автореф. дис. ..канд.хим.наук.- К., 1983. - 16 с.
14. Костык С.В. // Ученые записки Симф. госуниверситета - 1998. - № 5 (44). - С.176.
15. Lyklema J. // Pure and Appl. Chem. - 1976. - V.46, № 2-4. - P.149.
16. Баран А.А. Полимерсодержащие дисперсные системы. - К., 1986. - 204с.
17. Баран А.А., Соломенцева И.М., Семенихин Н.М. // Коллоид.ж. - 1979. -Т.41, № 5. - С.835.
18. Реми Г. Курс неорганической химии. Т.1. - М., 1972. - 824 с.
19. Манк В.В., Баран А.А., Соломенцева И.М., Куриленко О.Д. // Коллоид. ж. - 1974. - Т.36, № 6. - С.1080.
20. Кленина О.В., Кленин В.И., Полубаринова Л.И., Френкель С.Я. // Высокомолек. соед. - 1972. - Т.14, № 7. - С.2192.
21. Духин С.С., Дерягин Б.В. Электрофорез. - М.: Наука, 1976. - 332 с.
22. Баран А.А., Кочерга И.И., Соломенцева И.М., Куриленко О.Д.// Коллоид. ж. - 1976. - Т.38, № 3. - С. 425.
23. Hoeve C.A.J. // J.Polymer Sci. - 1970. - № 30. - P.361.
24. Hesselink F.Th. // J.Phys. Chem. - 1969. - V. 73, № 10. - P. 3488.
25. Hesselink F.Th. // J.Colloid Interface Sci. - 1975. - V. 50, № 3. - P. 606.

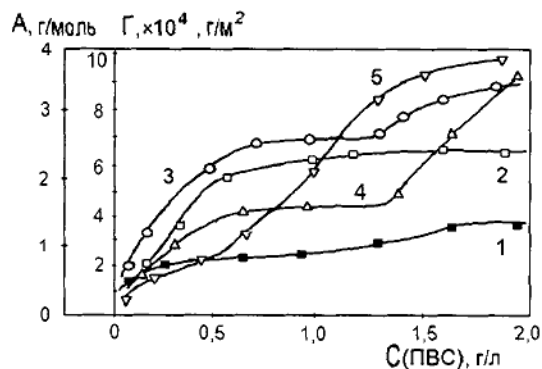


Рис.1. Изотермы адсорбции ПВС-1-3 (25°C) на частицах  $MnO_2$  ( $30 \pm 6$  нм) при различных pH среды: 1 - 3,5; 2 - 5,1; 3 - 6,8; 4 - 8,1; 5 - 9,5.

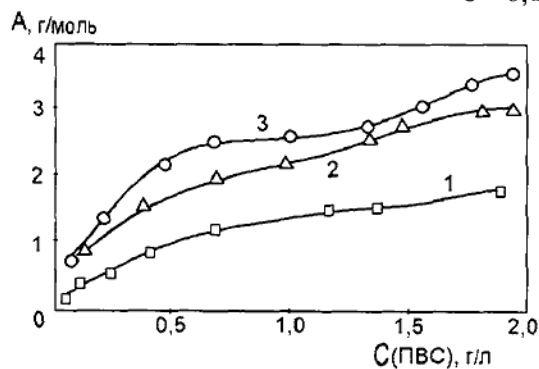


Рис.3. Изотермы адсорбции (25°C) на частицах  $MnO_2$  ( $30 \pm 6$  нм) фракций образца ПВС-1 различной молекулярной массы: 1 - 8000; 2 - 24000; 3 - 38000.

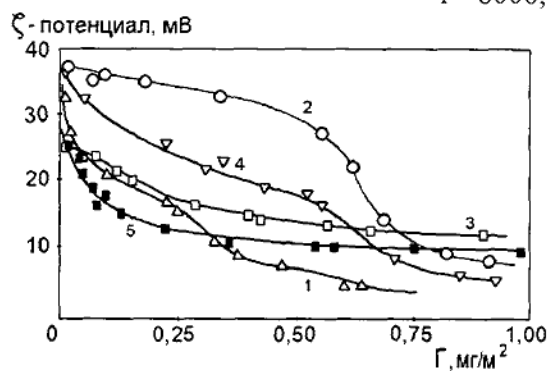


Рис.5. Зависимость  $\zeta$ -потенциала золя  $MnO_2$  (средний размер частиц 30 нм) от величины адсорбции образцов ПВС при различных pH среды: ПВС-1-3: 1 - 5,1; 2 - 6,8; 3 - 8,1; ПВС-2-2: 4 - 6,8; 5 - 8,1.



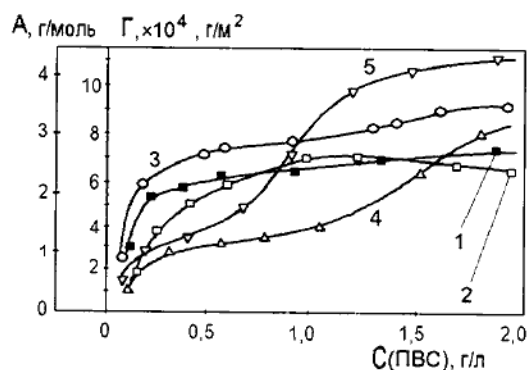


Рис.2. Изотермы адсорбции ПВС-2-2 (25°C) на частицах  $MnO_2$  ( $30 \pm 6$  нм) при различных рН среды: 1 - 3,5; 2 - 5,1;

3 - 6,8; 4 - 8,1; 5 - 9,5.

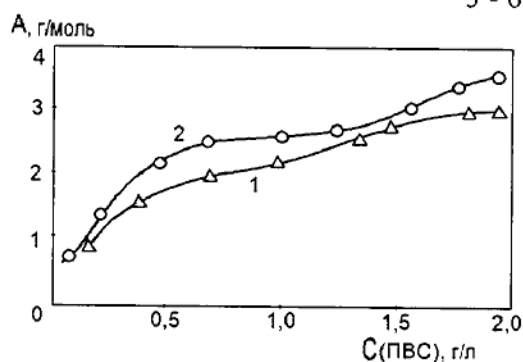


Рис.4. Изотермы адсорбции (25°C) на частицах  $MnO_2$  ( $30 \pm 6$  нм) фракций образца ПВС-2 различной молекулярной массы:

1 - 18000; 2 - 47000.

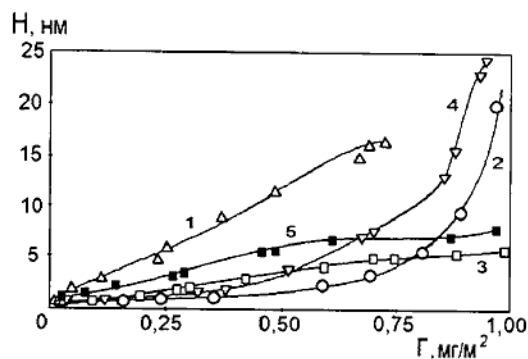


Рис.6. Зависимость толщины адсорбционных слоев образцов ПВС на частицах золя  $MnO_2$  ( $30 \pm 6$  нм) от величины адсорбции при различных рН среды:

ПВС-1-3: 1 - 5,1; 2 - 6,8; 3 - 8,1;

ПВС-2-2: 4 - 6,8; 5 - 8,1.

## **ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЛИКОЗИДОВ**

*Панова Э. П., кандидат химических наук, доцент,  
Алексашкин И. В., студент V курса,  
Мартынюк В. С., кандидат биологических наук, доцент,  
Кацева Г. Н., старший преподаватель*

Последние годы характеризуются быстрым развитием исследований действия электромагнитных излучений (ЭМИ) на биологические объекты. Это связано с тем, что интенсивное развитие бытовой техники, компьютерных технологий и электронных средств коммуникации приводит к резкому повышению электромагнитного фона в широком диапазоне частот. Последствие такого электромагнитного “загрязнения” мало изучены. В настоящее время достоверно установлена высокая чувствительность живых организмов к воздействию электромагнитных излучений. Установлены основные системные физиологические механизмы реакции организма человека и животных на действие переменных магнитных полей [1]. В тоже время многими авторами отмечается наличие биологически активных частотных и амплитудных “окон” [2], среди которых выделяют диапазон крайне низких частот 0-300 Гц. Следует отметить, что в данную частотную область попадают электромагнитные вариации как техногенного, так и естественного происхождения [3].

Однако биофизические и физико-химические механизмы действия переменных магнитных полей на живые системы мало изучены. В литературе практически отсутствуют данные о влиянии поля на биологически-активные вещества, выделенные из растительного сырья. В некоторых случаях биологическая активность препаратов в большей степени определяется их физико-химическими свойствами, такими как растворимость, ассоциация, электропроводность, чем от химического строения. Особый интерес представляет изучение влияния переменного магнитного поля (ПемП) на вышеуказанные свойства веществ углеводной природы. В связи с этим в работе был использован сапонин, в состав которого входят сахара, соединённые О-гликозидной связью.

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

Для исследования был использован препарат “Saponinum rad. gypsophillae” (Praha Chechoslovakia), который является смесью двух тритерпеновых гликозидов (А и В). Реагент очищали переосаждением из насыщенного спиртового раствора десятикратным количеством диэтилового эфира [4]. Переосаждение повторяли 5-6 раз. В эксперименте использовали разбавленные растворы гликозида.

Для определения критической концентрации ассоциации гликозида использовали вискозиметрический, кондуктометрический методы, которые чувствительны к структурным изменениям веществ в растворе. Измерение вязкости проводили на вискозиметре Оствальда с диаметром 0,56 мм. Время истечения жидкости в капилляре автоматически фиксировали электронным секундомером (погрешность 0,05-0,1%). Электропроводность растворов определяли на

кондуктометре КЭЛ-1М, рН растворов - на иономере ЭВ-74 (погрешность 0,03 ед. рН).

ПеМП создавалось кольцами Гельмгольца, обеспечивающими однородность магнитного поля в зоне расположения растворов в пределах 5-10%. Вектор напряжённости, создаваемого поля был перпендикулярен горизонтальной составляющей геомагнитного поля. Растворы гликозида различной концентрации подвергали электромагнитной обработке импульсным полем частотой 8 Гц индукцией 5 мкТл непрерывно в течение 8 часов.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде всего, необходимо было определить критическую концентрацию ассоциации (ККА) данного гликозида. Для этого были приготовлены растворы гликозида с концентрациями  $1,5 \cdot 10^{-6}$ - $5,5 \cdot 10^{-5}$  моль/л. Вискозиметрическим и кондуктометрическим методами установлено, что ККА лежит в пределах концентрации  $4,65 \cdot 10^{-6}$  моль/л. Для дальнейших исследований были использованы растворы гликозида с концентрациями до ККА и после.

При сравнении результатов определения относительной вязкости до обработки и после обработки ПеМП (рис.1) было замечено, что наибольшее численное её увеличение наблюдается в области ККА.

При концентрациях ниже ККА воздействие ПеМП не приводит к резкому изменению относительной вязкости. Однако следует отметить, что существенное влияние оказывает время обработки ПеМП; при концентрациях, равных или превышающих ККА наблюдается ярко выраженная зависимость относительной вязкости растворов гликозида от времени экспозиции. В течение первых трёх часов она уменьшается, затем резко увеличивается и после четырёх часов снова понижается.

При изучении влияния ПеМП на изменение электропроводности растворов гликозида различной концентрации (рис.2) было замечено, что наибольшие значения электропроводности наблюдаются в области, превышающих ККА. При концентрациях ниже ККА максимальное повышение электропроводности происходит через 3-4 часа экспозиции, а при концентрациях выше ККА – выход на максимум наблюдается к третьему часу.

В контрольных растворах, которые находились при всех прочих равных условиях, изменения электропроводности от времени стояния слабо выражены (рис.3).

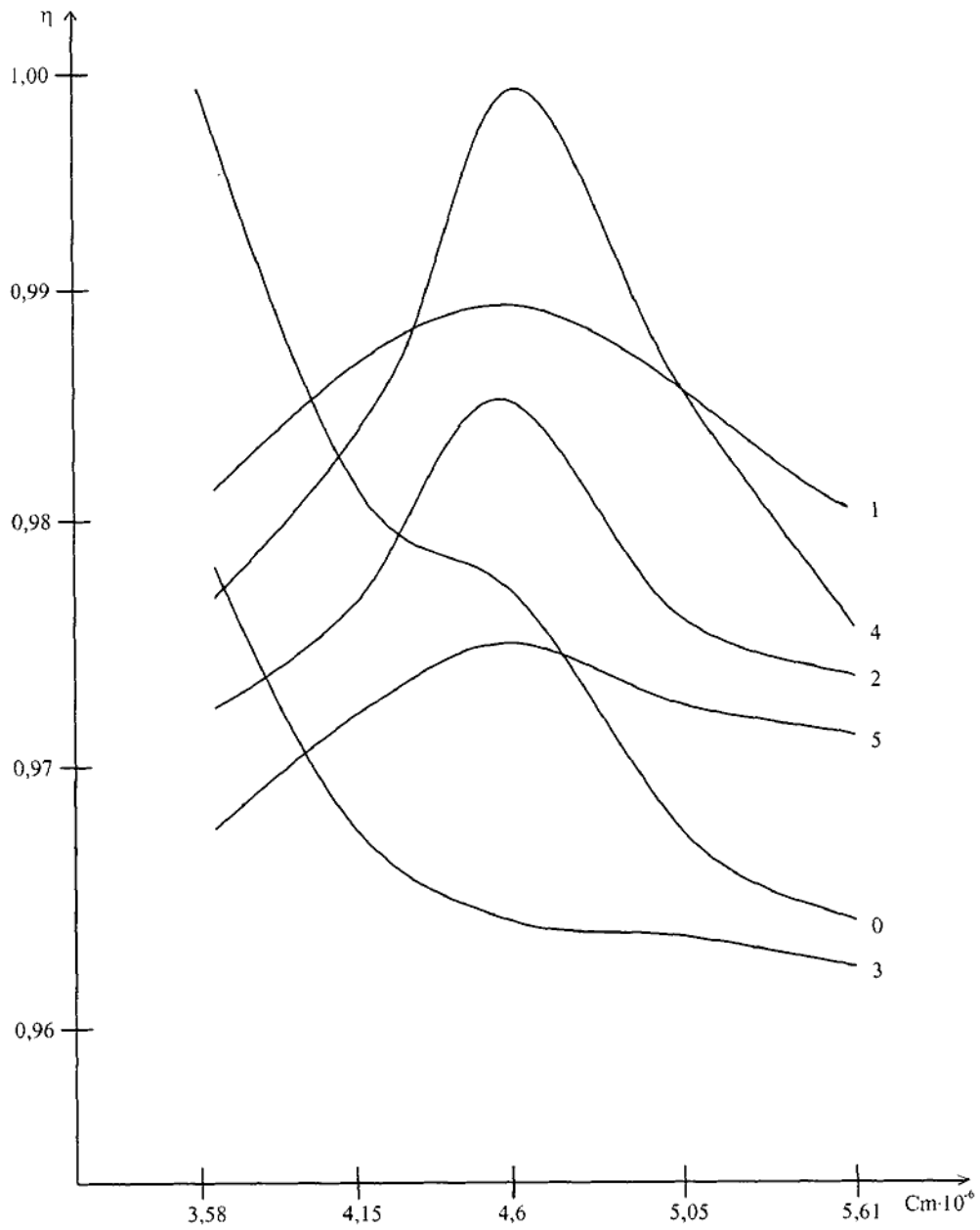


Рис. 1 Изменение вязкости растворов гликозидов от концентрации  
Кривая «0» – без обработки  
Кривые «1», «2», «3», «4», «5» – после обработки ПемП в течении  
соответственно 1,2,3,4,5 часов.

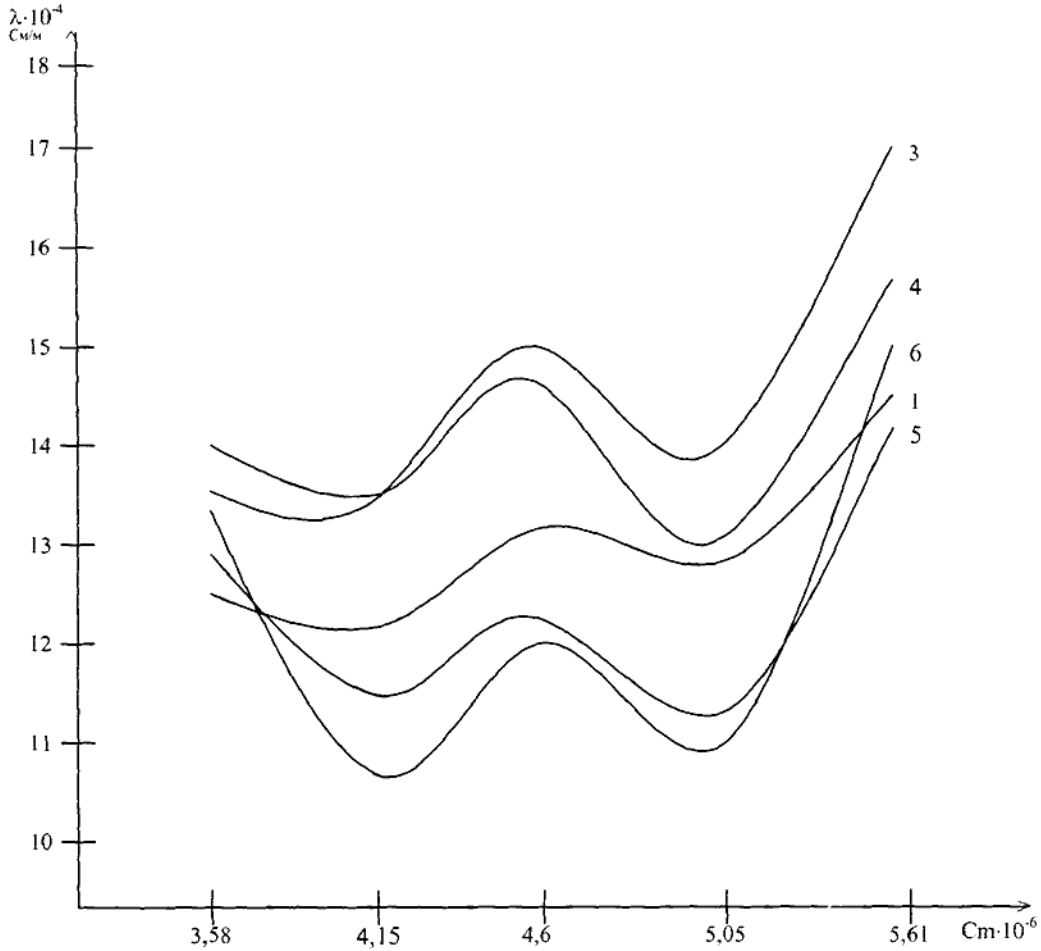


Рис.2 Зависимость электропроводности гликозида от концентрации после обработки его ПемП.  
Кривые «1», «3», «4», «5», «6» – время обработки растворов ПемП в течение соответственно 1,3,4,5,6 часов.

На основании данных, приведённых на рис.2 был рассчитан период колебаний электропроводности растворов различной концентрации, он равен  $6,12 \pm 0,45$  ч. Следует отметить, что ритмические колебания электропроводности хорошо воспроизводятся в повторных экспериментах. Однако, природа их происхождения остаётся невыясненной.

Измерение рН растворов гликозида различной концентрации, обработанных ПемП в течение 5-6 часов, показали незначительные изменения рН, лежащие в пределах погрешности прибора ( $\pm 0,05$  ед. рН).

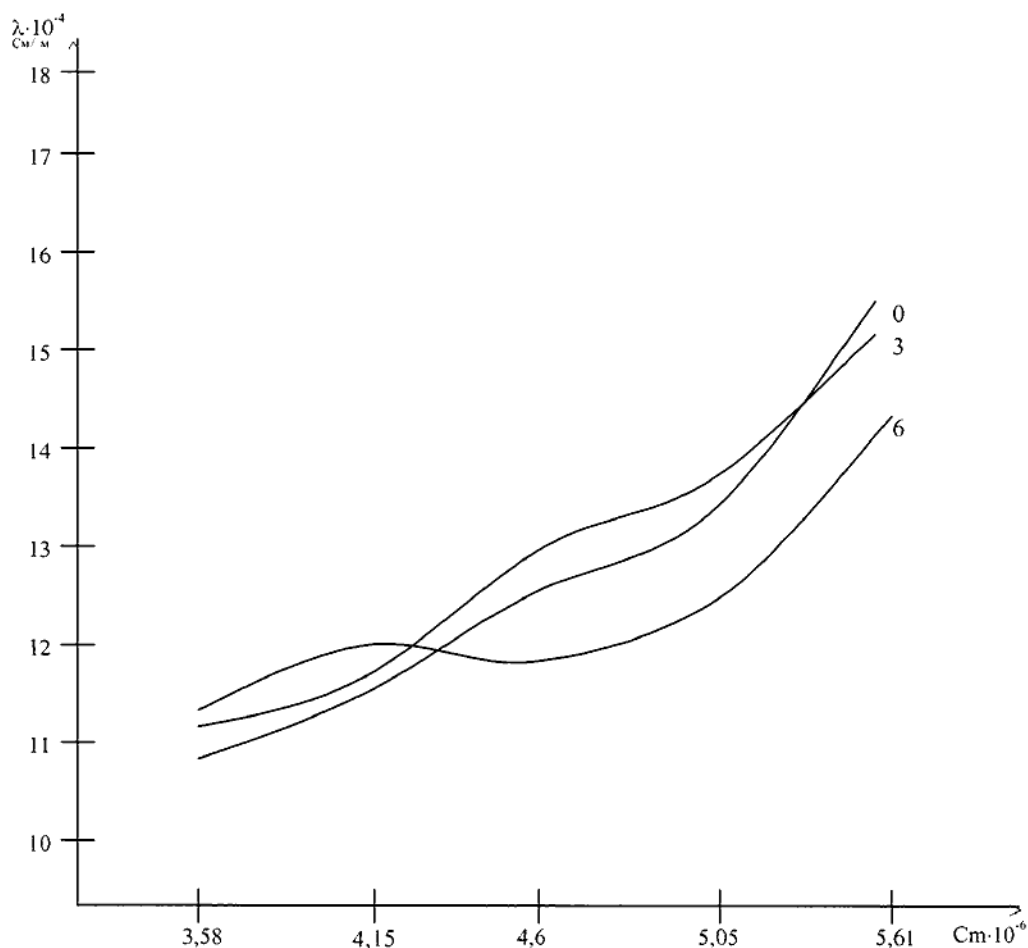


Рис.3 Зависимость электропроводности гликозида от концентрации  
Кривые «0», «3», «6» – время выдержки растворов в течение  
соответственно 0,3,6 часов.

### ВЫВОДЫ

Анализ влияния ПеМП на вязкость растворов гликозида показал, что при концентрациях его, лежащих в области ККА наблюдается резкий излом в зависимости вязкости от концентрации, который свидетельствует об изменении поверхностно-активных свойств исследуемого вещества. ПеМП увеличивает амплитуду колебаний электропроводности растворов с периодом  $6,12 \pm 0,45$  ч. Однако, следует отметить, что обработка ПеМП растворов гликозида различной концентрации не оказывает существенного влияния на изменение pH растворов.

**Литература**

1. Сидякин В.Г., Сташков А.М., Горохов И.Е., Копылов А.И., Мартынюк В.С., Янова Н.П. Магнитные поля радиорезистентность организмов. – Симферополь: Таврида, 1999. – 310 с.
2. Темурьянц Н.А., Владимирский Б.М., Тишкин О.Г. Сверх-низкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире.– Киев: Наукова думка, 1992. – 183 с.
3. Сидякин В.Г., Темурьянц Н.А., Макеев В.Б., Владимирский Б.М. Космическая экология. – Киев: Наукова думка, 1985. – 176 с.
4. Деканосидзе Т.Е., Чирва В.Я., Сергиенко Т.В. Биологическая роль, распространение и химическое строение тритерпеновых гликозидов. – Тбилиси: Мецниереба, 1984. – 150 с.

## ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ПОЛЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПЛАВЛЕНИЯ БЕНЗОЛА

Сандулов Д. Б., кандидат технических наук, доцент

Известно, что с изменением давления изменяется температура плавления вещества. В связи с этим возникает интерес к изучению влияния инерционного поля на температуру плавления. С этой целью в качестве объекта исследования был выбран бензол, температура плавления которого составляет  $5,43^{\circ}\text{C}$  при обычных условиях. Эксперименты проводили на устройстве «Центрифуга» [1], позволяющем определить, в том числе, и температуру плавления веществ в интервале  $-20 - 50^{\circ}\text{C}$ .

Бензол марки ч.д.а. очищали двойной перегонкой над металлическим натрием. После очистки 1 мл бензола помещали в ампулу из нержавеющей стали IX18H9T. В ампулу было введено точечное термосопротивление МТ-54»М» с постоянной времени в спокойном воздухе 10с и в спокойной жидкости не более 0,5с. Допустимый диапазон измерения температур термосопротивления составлял  $-60 - +150^{\circ}\text{C}$ . Скорость вращения ротора определяли с помощью частотомера. При этом в интервале скоростей вращения ротора от  $50\text{с}^{-1}$  до  $350\text{с}^{-1}$  нестабильность скорости вращения не превышала  $\pm 0,2\text{с}^{-1}$ . Сигнал с термосопротивления попадал на мост, далее оцифровывался и по радиоканалу выводился из вращающегося ротора. В дальнейшем сигнал подвергали дешифровке и регистрировали.

Определение зависимости температуры плавления от величины инерционного поля проводили либо при стабилизированной скорости вращения с последующим понижением температуры до температуры плавления, либо при стабилизированной температуре с последующим повышением, или понижением скорости вращения ротора. Данные, полученные, как первым, так и вторым способом достаточно хорошо совпали. Оказалось, что зависимость температуры плавления бензола инерционного поля в интервале от 1 до 28000 g хорошо описывается уравнением:

$$t_{\text{пл.}} = 5,43 + KG,$$

где  $t_{\text{пл.}}$  – температура плавления бензола в инерционном поле,  
K – коэффициент, равный  $0,595 \cdot 10^{-4}$  град, G – фактор разделения, равный  $\omega^2 r/g$ ,  
а  $g=9,8 \text{ м/с}^2$ .

### Литература

1. А. С. 1146870 СССР, КИ В 04 В 5/00. Устройство для изучения процессов седиментации/ Д. Б. Сандулов, В. А. Докторович, И. Ю. Загляднов, Ю. В. Булатов, А. И. Гордиенко. – № 4286957/31-13; Заявлено 15.10.83; Опубл. 20.07.87.



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Блохин В. Г.</b> ВЛИЯНИЕ ЭКЗОГЕННОГО ЦИТОКИНИНА (6-БАП) НА БИОЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ РЕАКЦИЮ ЛИСТЬЕВ КУКУРУЗЫ НА ПОНИЖАЮЩИЙ ТЕРМОИМПУЛЬС .....	3
<b>Иванов С. П., Холодов В. В.</b> ЭКОЛОГИЯ ОПЫЛЕНИЯ ОРХИДЕИ ORCHIS PICTA LOISEL (ORCHIDACEA) В КРЫМУ .....	7
<b>Ивашов А.В.</b> АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ ЛИСТЬЕВ ДУБА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА КУКОЛОК TORTRIX VIRIDANA L. ....	10
<b>Калинина Н. А.</b> ВЛИЯНИЕ ИНДОЛИЛУКСУСНОЙ И ИНДОЛИЛМАСЛЯНОЙ КИСЛОТ НА УКОРЕНЕНИЕ ЧЕРЕНКОВ ГВОЗДИКИ .....	15
<b>Коренюк И. И., Сидякин В. Г., Коренюк О. И.</b> О СВЯЗЯХ ТЕМЕННОЙ КОРЫ (ТАО) С ПЕРВИЧНЫМИ (ПСЗ) ЗРИТЕЛЬНОЙ, СЛУХОВОЙ И СОМАТИЧЕСКОЙ СЕНСОРНЫМИ ЗОНАМИ НЕОКОРТЕКСА .....	19
<b>Корженевская Ю. В.</b> КОМПЛЕКСНЫЙ ГРАДИЕНТ ОРГАНИЗАЦИИ СООБЩЕСТВ БУКОВЫХ ЛЕСОВ КРЫМА .....	29
<b>Малыгина В. И., Грабовская Е. Ю., Темурьянц Н. А., Ефименко А. М., Грузевская В. Ф., Мельниченко Е. В., Ширяев В. В.</b> ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ИНЧ НА СИМПАТО-АДРЕНАЛОВУЮ СИСТЕМУ КРЫС В УСЛОВИЯХ ГИПОКИНЕЗИИ .....	35
<b>Мананков М. К., Мананкова О. П.</b> ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИББЕРЕЛЛИНА В ВИНОГРАДАРСТВЕ .....	39
<b>Мартынюк С. Б., Овечкина З. А., Мартынюк В. С., Кучина Н. Б.</b> ВЛИЯНИЕ СЛАБОГО ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ КРАЙНЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБМЕН В ГОЛОВНОМ МОЗГЕ И ПЕЧЕНИ ЖИВОТНЫХ С РАЗНЫМИ КОНСТИТУЦИОНАЛЬНЫМИ ОСОБЕННОСТЯМИ .....	43

<b>Репецкая А. И., Котов С. Ф.</b> КОНКУРЕНЦИЯ И ДИНАМИКА АЛЛОМЕТРИИ У РАСТЕНИЙ В ЦЕНОПОПУЛЯЦИЯХ <i>SALICORNIA EUROPAEA L.</i> .....	50
<b>Толкачева Н. В., Коношенко С. В., Попичев М. И., Журба В. А.</b> ОСОБЕННОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ ФУНКЦИИ АЛЬБУМИНА КРОВИ У ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ВОЛЕЙБОЛИСТОВ.....	57
<b>Игнатенко В. Ф., Плышевская С. П.</b> СТРОЕНИЕ ОДНОГО КЛАССА БЕСКОНЕЧНЫХ ГРУПП КОСЫХ СИММЕТРИЙ .....	62
<b>Москалева Ю. П.</b> НЕОГРАНИЧЕННЫЕ ДИССИПАТИВНЫЕ ОПЕРАТОРЫ С АБСОЛЮТНО НЕПРЕРЫВНЫМ СПЕКТРОМ .....	66
<b>Персидский С. К., Дремов С. Ю.</b> О ПОВЕДЕНИИ ТРАЕКТОРИЙ НА ПЛОСКОСТИ ОДНОГО КЛАССА НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ.....	68
<b>Поречнов А. Ю., Карпенко И. И.</b> ПРОСТРАНСТВО ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ ЭРМИТОВЫХ ОПЕРАТОРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ДЕФЕКТНЫМИ ЧИСЛАМИ .....	74
<b>Солдатов М. А.</b> КОЛЕБАНИЯ ЖИДКОСТИ В БАССЕЙНЕ, ЧАСТИЧНО ПОКРЫТОМ ЛЬДОМ.....	80
<b>Тышкевич Д. Л.</b> ОБ ОДНОМ МАКСИМАЛЬНОМ ИНВАРИАНТНОМ ПОДПРОСТРАНСТВЕ В СЛУЧАЕ ПРОСТРАНСТВА С ИНДЕФИНИТНОЙ МЕТРИКОЙ.....	84
<b>Царьков М. Ю.</b> ОПЕРАТОРНЫЕ УРАВНЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ЗАДАЧАМИ ГИДРОМЕХАНИКИ .....	88
<b>Яковлев А. В.</b> КОЛЕБАНИЯ ПЛОСКОГО МАЯТНИКА С ПОЛОСТЬЮ, ПОЛНОСТЬЮ ЗАПОЛНЕННОЙ ВЯЗКОУПРУГОЙ ЖИДКОСТЬЮ.....	93
<b>Власенко Ю. А.</b> ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ЛИЧНОСТИ .....	99

<b>Конарева И. Н., Павленко В. Б.</b> СООТНОШЕНИЕ ВРЕМЕНИ РЕАКЦИИ С НЕЙРОДИНАМИЧЕСКИМИ И ИНДИВИДУЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ ЛИЧНОСТИ.....	105
<b>Коростелина К. В.</b> КУЛЬТУРНЫЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ МЕЖЭТНИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ .....	111
<b>Петрасик Л. А.</b> КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЙ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ .....	116
<b>Новак С. З.</b> ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АНАЛИЗАТОРНЫХ СИСТЕМ В ФИЗИОЛОГИЧЕСКОМ МЕХАНИЗМЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОЗЫ СТОЯНИЯ.....	121
<b>Тузинец С. Я.</b> ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА СОХРАНЕНИЯ НОРМАЛЬНОЙ ОСАНКИ В ПРОЦЕССЕ ВОЗРАСТНОГО РАЗВИТИЯ .....	127
<b>Кобза М. Т.</b> ТКАНЕВОЙ И СОСУДИСТЫЙ КОМПОНЕНТЫ АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМА К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ И ИХ ИЗМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ТРЕНИРОВКИ.....	131
<b>Басиладзе Г. Д., Семов А. Е., Долгов А. И., Николаев Е. Я.</b> ДВУХВОЛОКОННАЯ РАЗВЕТВЛЯЮЩАЯ СТРУКТУРА ДЛЯ ДЛИН ВОЛН 1,31 И 1,55 МКМ.....	135
<b>Вилесов Ю. Ф., Groшенко Н. А.</b> УСТОЙЧИВОСТЬ К СИНУСОИДАЛЬНЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ ПЛОСКОЙ ДОМЕННОЙ ГРАНИЦЫ .....	140
<b>Глумова М. В., Воробьев М. Д.</b> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ШУМОВ В ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРАХ .....	145
<b>Дубинко С. В.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНКАХ ФЕРРИТ-ГРАНАТОВ С РАЗОРИЕНТИРОВАННЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ.....	148

<b>Козелков С. В., Пашков Д. П., Коваль И. Н.</b> АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ .....	152
<b>Михерский Р. М., Дубинко С. В., Бутрим В. И., Вишневский В. Г.</b> РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАМАГНИЧЕННОСТИ В ЛЕГКОПЛОСКОСТНЫХ ФЕРРОМАГНЕТИКАХ В ПРОСТРАНСТВЕННО-НЕОДНОРОДНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ .....	156
<b>Мицай Ю. Н., Фридман Ю. А., Кожемяко О. В.</b> ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА ДВУХОСНОГО ФЕРРОМАГНЕТИКА И СПЕКТРЫ СВЯЗАННЫХ МАГНИТОУПРУГИХ ВОЛН .....	160
<b>Мицай Ю. Н., Фридман Ю. А., Спирин Д. В.</b> СПЕКТРЫ СВЯЗАННЫХ МАГНИТОУПРУГИХ ВОЛН И СТАБИЛИЗАЦИЯ ДАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОРЯДКА В ХУ-МОДЕЛИ С УЧЕТОМ МАГНИТОУПРУГОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.....	166
<b>Прокопов А. Р., Дубинко С. В., Бутрим В. И.</b> МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ В ПЛЕНКАХ ФЕРРИТ-ГРАНАТОВ С РАЗОРИЕНТИРОВАННЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ .....	170
<b>Рощупкин С. Н., Зинченко Е. Н.</b> ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СТРУН В КРотовых НОРАХ С ЛОРЕНЦЕВОЙ СИГНАТУРОЙ .....	175
<b>Рябушкин Д. С.</b> СЕРИЯ ФЕНЦКЕ И СУЖЕНИЕ ЛИНИИ ЯМР В ТВЁРДЫХ ТЕЛАХ .....	178
<b>Сапига А. В., Полулях С.Н.</b> СПЕКТРЫ ЯМР ПРОТОНОВ ВОДЫ В ПОРОШКАХ ЦЕОЛИТОВ .....	181
<b>Стругацкий М. Б.</b> О ПРИРОДЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МАГНИТОАКУСТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В БОРАТЕ ЖЕЛЕЗА.....	184
<b>Аристова Н. И., Панова Э. П., Вяткина О. В., Кацева Г. Н.</b> ФОТОКОЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЯБЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ В СУСЛАХ И ВИНАХ.....	188

<b>Гюннер Э. А.</b>	
ВЛИЯНИЕ СИЛЫ И ПРИРОДЫ ОСНОВАНИЯ НА ОСАЖДЕНИЕ ОСНОВНЫХ НИТРАТОВ МЕДИ(II) ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ .....	192
<b>Костык С. В., Першина Е. Д., Краснощекая Э. А., Грошенко Н. А.</b>	
АДСОРБЦИЯ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА ГИДРОЗОЛЯМИ $MnO_2$ .....	197
<b>Панова Э. П., Алексашкин И. В., Мартынюк В. С., Кацева Г. Н.</b>	
ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЛИКОЗИДОВ .....	206
<b>Сандулов Д. Б.</b>	
ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ПОЛЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПЛАВЛЕНИЯ БЕНЗОЛА .....	212

K06  
T 132  
КР.



# УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

ТАВРИЧЕСКОГО  
НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА  
им. В.И. Вернадского

№ 12 (51)



СИМФЕРОПОЛЬ  
1999