

**ВЕСТНИК**  
**САРАТОВСКОГО**  
**ГОСУДАРСТВЕННОГО**  
**ТЕХНИЧЕСКОГО**  
**УНИВЕРСИТЕТА**  
**2005**

**№ 3 (8)**

Научно-технический журнал

Издается с 2003 г.  
Выходит один раз в квартал  
Сентябрь 2005 г.

*Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых журналов и научных изданий, утвержденный президиумом ВАК Министерства образования и науки РФ, в которых публикуются основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук*

**Главный редактор** д.т.н., профессор Ю.В. Чеботаревский  
**Зам. главного редактора** д.э.н., профессор В.Р. Атоян  
**Ответственный секретарь** д.т.н., профессор А.А. Игнатъев

**Редакционный совет:** д.э.н. В.Р. Атоян (заместитель председателя), д.т.н. А.И. Волчихин, д.т.н. В.А. Голенков, д.и.н. В.А. Динес, д.х.н. В. Зеленский (Польша), д.т.н. В.А. Игнатъев, д.т.н. В.В. Калашников, д.ф.-м.н. Л.Ю. Коссович, д.т.н. И.А. Новаков, д.т.н. А.Ф. Резчиков, д.т.н. Ю.В. Чеботаревский (председатель), д.ф.-м.н. Ян Аврейцевич (Польша), д.э.н. Улли Арнольд (Германия), д.ф.-м.н. Энтони Мерсер (Великобритания), д.э.н. Эде Соузе Феррейра (Португалия), д.т.н. Т. Чермак (Чехия), д.э.н. Ю.В. Шленов.

**Редакционная коллегия:** д.т.н. К.П. Андрейченко, д.т.н. А.И. Андриющенко, д.т.н. Ю.С. Архангельский, д.ф.н. А.С. Борщов, д.т.н. А.С. Денисов, д.т.н. Ю.Г. Иващенко, д.т.н. Ю.Н. Климочкин, д.т.н. В.А. Коломейцев, д.т.н. А.В. Королев, д.т.н. В.А. Крысько, д.т.н. В.И. Лысак, д.т.н. В.Н. Лясников, д.т.н. В.М. Седелкин, к.ф.-м.н. А.Ю. Слепухин, д.т.н. М.А. Щербаков.

Редактор О.А. Панина  
Компьютерная верстка Ю.Л. Жупиловой  
Перевод на английский язык А.М. Руст

Адрес редакции:  
Саратов, 410054, ул. Политехническая, 77  
Телефон: (845 2) 52 74 02  
E-mail: vestnik @ sstu. ru; vra @ sstu. ru  
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>  
Факс: (845 2) 50 67 40

Лицензия ИД № 06268 от 14.11.01  
Подписано в печать 20.09.05  
Формат 60×84 1/8 Бум. тип.  
Усл. печ. л. 20,46 Уч.-изд. л. 21,5  
Тираж 500 экз. Заказ 337.  
Копипринтер СГТУ,  
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

**VESTNIK  
SARATOV  
STATE  
TECHNICAL  
UNIVERSITY  
2005**

**№ 3 (8)**

Scientific Journal

Published since 2003

*Once in a quarter*

September 2005

*This journal is included into the list  
of the leading journals,  
scientific periodicals,  
adopted by the Presidium of VAK  
of the Ministry of Education  
and Science of RF, in which the main  
scientific results of dissertations  
for the scientific degree of Doctor  
of Science are published.*

<b>Chief Editor</b>	Professor Y.V. Chebotarevskiy, doctor of technical sciences
<b>Chief Editor's assistant</b>	Professor V.R. Atojan, doctor of economical sciences
<b>Managing Secretary</b>	Professor A.A. Ignatyev, doctor of technical sciences

**Editing council:** Pr. V.R. Atoyan (Vice of the Chairman), Pr. A.I. Volchihin, Pr. V.A. Golenkov, Pr. V.A. Dines, Pr. V. Zelensky (Poland), Pr. V.A. Ignatyev, Pr. V.V. Kalashnikov, Pr. L.Y. Kossovich, Pr. I.A. Novakov, Pr. A.F. Rezhikov, Pr. Y.V. Chebotarevskiy (the Chairman), Pr. Yan Avreytsevich (Poland), Pr. Oully Arnold (Germany), Pr. Anthony Merser (UK), A D'Souze Ferreyra (Portugal), Pr. T. Chermak (Check Republic), Pr. Y.V. Shlenov.

**Editing staff:** Pr. K.P. Andreychenko, Pr. A.I. Andryushenko, Pr. Y.S. Arkhangelskiy, Pr. A.S. Borshov, Pr. A.S. Denisov, Pr. Y.G. Ivashenko, Pr. Y.N. Klimochkin, Pr. V.A. Kolomeitsev, Pr. A.V. Korolyov, Pr. V.A. Krysko, Pr. V.I. Lysak, Pr. V.N. Lyasnikov, Pr. V.M. Sedelkin, Pr. A.Y. Slepouhin, Pr. M.A. Sherbakov.

Editor O.A. Panina  
Computer design J.L. Zhupilova  
Interpreter A.M. Roust

Address: 77, Politechnicheskaya St.  
Saravov, 410054  
Russia  
Telephone: +8452/52-74-02  
E-mail: vestnik @ sstu. ru; vra @ sstu. ru  
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>  
Fax: +8452/50-67-40

License ID № 06268 dated: 14.11.01  
Signed for publishing: 20.09.05  
Format 60×84 1/8 Paper type  
Apr. tp. l. 20,46 Acc.-pbl. l. 21,5  
Circulation 500 issues Order 337.  
Copier-printer SSTU,  
77, Politechnicheskaya St., Saratov, 410054, Russia

ISBN 5-7433-1495-0

© Saratov State Technical University, 2005

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Коваль А.А.</b> Научно-инновационная деятельность СГТУ - состояние и перспективы развития.....	6
<b>Есина Л.Д.</b> Будущее начинается сегодня .....	14
<b>ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК</b>	
<b>Андрейченко К.П., Андрейченко Д.К., Шорин В.С., Наумов С.Г.</b> Моделирование влияния запаздывающего аргумента в нелинейной газореактивной системе стабилизации спутника с упругим стержнем и закрепленным на его конце телом .....	17
<b>Ефимов А.В., Чеботаревский Ю.В., Павлов Д.Г.</b> Определение остаточных напряжений в сплошной тонкой круглой диэлектрической пластине при локальном нагреве нестационарным внешним источником тепла .....	28
<b>Крысько А.В., Крысько В.А., Савельева Н.Е.</b> Хаотические колебания замкнутых цилиндрических оболочек и панелей. Часть I.....	32
<b>Талонов А.В.</b> Описание прочностных свойств структурно-неоднородных сред с периодической структурой .....	61
<b>НАДЕЖНОСТЬ МАШИН</b>	
<b>Денисов А.С., Кулаков А.Т., Гафиятуллин А.А., Панкратов Д.Л.</b> Аналитическое исследование изменения условий смазки шатунных подшипников в процессе эксплуатации.....	69
<b>Королев А.В., Крайнев С.С.</b> Технология суперфинишной абразивной обработки .....	76
<b>НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ</b>	
<b>Михайлова А.М.</b> Исследование кинетики и механизмов гетерогенных химических процессов, с целью создания новых материалов и устройств .....	79
<b>Попова С.С., Ольшанская А.А., Волкова О.С.</b> Многокомпонентные сплавы – эффективные сорбенты водорода .....	88
<b>ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ</b>	
<b>Байбурин В.Б., Юдин А.В.</b> Критерии оценки степени хаотичности траектории заряда в магнитной ловушке.....	100
<b>ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА</b>	
<b>Артюхов И.И., Митяшин Н.П., Степанов С.Ф.</b> Адаптируемый преобразовательный комплекс .....	104
<b>Андрющенко А.И.</b> Современные проблемы теплоснабжения городов и рациональные пути их решения .....	110
<b>АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ</b>	
<b>Бирюков В.П.</b> Расширенная задача управления технологическим процессом .....	116
<b>Синев А.И., Плотников П.К., Рамзаев А.П., Черепанов Д.В., Никишин В.Б., Чигирев П.Г.</b> Исследование динамики внутритрубного инспектирующего снаряда с помощью бесплатформенной инерциальной навигационной системы .....	126
<b>ЭКОЛОГИЯ</b>	
<b>Яковлев Б.Н.</b> Анализ факторов, определяющих степень взрывопожарной опасности канализационных очистных сооружений.....	137
<b>ГУМАНИТАРНЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА</b>	
<b>Волошинов А.В.</b> Системно-синергетическая парадигма в культуре – научное направление кафедры культурологии .....	140
<b>Заров Д.И.</b> Стратегии и перспективы развития общества и человека .....	143
<b>Понукалин А.А.</b> Массовое сознание в информационном обществе и социопсихология безопасности.....	149
<b>Федюнина С.М., Пятницкая Н.Ю., Максимова Л.Н., Станиславская С.А.</b> Социокультурные проблемы межличностной коммуникации .....	156
<b>Щебланова В.В., Санкова К.А.</b> Анализ социокультурных контекстов современности.....	165
<b>ЮБИЛЕИ</b>	
<b>Валентина Николаевна Ярская</b> и Саратовская школа социологии .....	168

## CONTENTS

<b>Koval A.A.</b> Scientific-innovative activities of the SSTU – present and future projects .....	6
<b>Jesina L.D.</b> Future starts today .....	14
<b>PROBLEMS OF NATURAL SCIENCES</b>	
<hr/>	
<b>Andreichenko K.P., Andreichenko D.K., Shorin V.S., Naumov S.G.</b> Lagging argument affect operation model in the nonlinear gas jet system of stabilization of a satellite with the elastic rod and a timbered skew field on its extremity .....	17
<b>Efimov A.V., Chebotarevsky Y.V., Pavlov D.G.</b> Residual tension determination in a solid thin round diaphragmatic plate at locally heating from no stationary external heat resource .....	28
<b>Krysko A.V., Krysko V.A., Saveleva N.E.</b> Chaotic vibrations of closed cylindrical shells and plates. Part I.....	33
<b>Talonov A.V.</b> Structural-nonuniform medium strength properties description with periodic structure .....	62
<b>MACHINE RELIABILITY</b>	
<hr/>	
<b>Denisov A.S., Kulakov A.T., Gafiyatullin A.A., Pankratov D.L.</b> Analytical research of the change of conditions of concord bearing grease in the process of exploitation .....	69
<b>Koroljov A.V., Krainov S.S.</b> The technology of super finishing abrasive treatment .....	76
<b>NEW MATERIALS AND TECHNOLOGIES</b>	
<hr/>	
<b>Mikhailova A.M.</b> The studies in kinetics and mechanisms of heterogeneous chemical processes focussed on the new materials and devices production.....	79
<b>Popova S.S., Olshanskaya A.A., Volkova O.S.</b> Multicomponent alloys – effective sorbents of hydrogen.....	89
<b>ELECTRONICS AND INSTRUMENT MARKING</b>	
<hr/>	
<b>Bayburin V.B., Yudin A.V.</b> Assessment criteria of chaotic state of charge path in magnetic trap .....	100
<b>POWER ENGINEERING AND ELECTRICAL ENGINEERING</b>	
<hr/>	
<b>Artyukhov I.I., Mityachin N.P., Stepanov S.F.</b> The adaptable converting complex .....	104
<b>Andrjushenko A.I.</b> Modern problems of cities heat supply and rational ways of their solutions .....	110
<b>AUTOMATION AND MANAGEMENT</b>	
<hr/>	
<b>Birukov V.P.</b> The expanded problem of the technological process control .....	116
<b>Sinev A.I., Plotnikov P.K., Ramzaev A.P., Cherepanov D.V., Nikishin V.B., Chigirev P.G.</b> The researches of dynamics of internal pipe inspecting apparatus with the help of without platform inertial navigate system.....	127
<b>ECOLOGY</b>	
<hr/>	
<b>Yakovlev B.N.</b> Analysis of the degree of the fire-and-explosion danger determining factors of the sewage purification facilities .....	137
<b>HUMANITARIAN AND ECONOMICAL PROBLEMS OF MODERN SOCIETY</b>	
<hr/>	
<b>Voloshinov A.V.</b> System-synergetic paradigm in culture as a scientific discourse of the cultural studies department .....	140
<b>Zarov D.I.</b> Strategies and perspectives of a society and a human being development .....	143
<b>Ponukalin A.A.</b> Massive consciousness in informational society and socio-psychology of safety.....	149
<b>Fedyunina S.M., Pyatnitskaya N.Yr., Maximova L.N., Stanislavskaya S.A.</b> Sociacultural problems of interpersonal communications .....	156
<b>Sheblanova V.V., Sankova K.A.</b> Analysis of sociocultural contexts of modernity .....	165
<b>JUBILEES</b>	
<hr/>	
<b>Valentina Nikolaevna Jarskaya</b> and The school of sociology of Saratov .....	168

---

## ДОРОГИЕ КОЛЛЕГИ!

Саратовский государственный технический университет – один из крупнейших вузов России с богатой 75-летней историей и крепкими традициями.

Один из важнейших показателей надежности вуза – качество подготовки его выпускников. И здесь есть чем гордиться нашему вузу. Среди выпускников университета – авторитетные педагоги, ученые, руководители ведущих предприятий региона, банков, органов исполнительной власти, финансовых и коммерческих структур, прославившие родной вуз, Саратов, Отечество.

В университете успешно работает талантливый, творческий профессорско-преподавательский коллектив, что является основой развития научных школ, научных центров, подготовки кадров через аспирантуру и докторантуру.

Материально-техническая база университета отвечает всем основным требованиям, предъявляемым к высшим учебным заведениям. Компьютерные классы, оснащенные современной техникой, уникальные приборы и лабораторное оборудование позволяют соединять процесс обучения с участием студентов и аспирантов в научных исследованиях, благодаря чему обеспечивается высокое качество подготовки специалистов.

Еще один критерий, по которому можно судить о состоятельности вуза, – его вхождение в мировое образовательное пространство. В СГТУ созданы совместные образовательные структуры с зарубежными вузами, которые во многом уникальны, поскольку контакты не ограничиваются кратковременными поездками и стажировками.

Перспективы развития во многом связаны с процессами интеграции как внутри университета, так и вовне. Одно из приоритетных направлений – дальнейшее развитие университетского комплекса. Вхождение в его состав образовательных учреждений среднего звена (школы, колледжи, техникумы, училища) поднимает качество образования в этих учебных заведениях, обеспечивает непрерывность образования (школа – ссуз – вуз – послевузовская подготовка и переподготовка кадров), позволяет эффективнее использовать научно-образовательные ресурсы университета.

Другая сфера интеграции: наука – образование – производство. Такие проекты позволяют развивать и прикладную, и фундаментальную науку, стимулировать развитие производства. Здесь важную роль играет инновационная деятельность нашего вуза, которая также способствует технологическому прорыву в производстве.

И сегодня, и в будущем большое внимание уделяется социальным программам. Несмотря на многочисленные сложности, мы ведем капитальное строительство – здание научно-технической библиотеки университета, жилой дом для преподавателей и сотрудников, другие важные для университета объекты.

Уверен, коллектив настоящих профессионалов будет успешно воплощать в жизнь все проекты, программы университета, направленные на дальнейшее его развитие, утверждать самобытные, присущие только нашему вузу, традиции в обучении и науке.



**Чеботаревский Юрий Викторович**  
Ректор Саратовского государственного технического университета,  
доктор технических наук, профессор,  
Лауреат государственной премии СССР и премии Президента РФ,  
Председатель Совета ректоров вузов Саратовской области

А.А. Коваль

## НАУЧНО-ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СГТУ – СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

За годы, прошедшие со дня основания, Саратовский государственный технический университет превратился в крупнейший научно-исследовательский и инновационный центр Поволжья.

Сегодня научно-инновационная деятельность университета строится на следующих основополагающих принципах:

- сохранение и развитие ведущих научных школ;
- выполнение фундаментальных, прикладных исследований по приоритетным направлениям развития науки и техники;
- развитие инновационной деятельности;
- формирование и выполнение совместно с вузами и научными организациями региона научных и научно-технических программ и проектов по направлениям, обеспечивающим ускоренное социально-экономическое развитие Саратовской области;
- развитие международного научного и научно-технического сотрудничества.

Главным в организации научной, научно-технической и инновационной деятельности университета является реализация принятой в университете логистической схемы организации НИР: фундаментальные исследования – прикладные НИР и ОКР – инновационная деятельность (выпуск наукоемкой продукции, трансфер разработанных новейших технологий и оборудования в реальный сектор экономики региона).

Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям развития науки и техники в университете проводятся по 21 Основному научному направлению, утвержденным Ученым советом СГТУ.

Утвержденные Ученым советом университета Основные научные направления СГТУ на 2005-2009 годы следующие:

- Математическое моделирование в естественных науках (руководитель – д.т.н., профессор Андрейченко К.П.);
- Исследование кинетики и механизма гетерогенных химических процессов с целью создания новых материалов и устройств (руководитель – д.х.н., профессор Михайлова А.М.);
- Информационные технологии, вычислительная техника, электроника, системы и элементы управления и навигации в естественно-научных и технических задачах (руководитель – к.т.н., доцент Большаков А.А.);
- Совершенствование технологий производства, транспорта и использования тепловой и электрической энергии (руководитель – д.т.н., профессор Андрущенко А.И.);
- Научные основы проектирования, исследование параметров и режимов электронных, электрорадиотехнических, электротехнологических установок, систем и технологий (руководитель – д.т.н., профессор Архангельский Ю.С.);
- Управление качеством и надежностью изделий точного машино- и приборостроения на основе совершенствования технологических процессов и оборудования (руководитель – д.т.н., профессор Королев А.В.);
- Разработка научных основ обработки и методологии исследования материалов из композиционных наноструктур, используемых в современных изделиях машиностроения, электронной техники и медицины (руководитель – д.т.н., профессор Лясников В.Н.);
- Разработка новых высокоэффективных материалов, технологий и оборудования для пищевой, химической, машиностроительной и легкой промышленности (руководитель – д.т.н., профессор Седелкин В.М.);

---

– Разработка экспериментально-теоретических основ и принципов комплексного подхода к решению конструктивно-технологических задач в строительстве с учетом энергоэффективности зданий (руководитель – д.т.н., профессор Иващенко Ю.Г.);

– Разработка научных основ рабочих процессов конструирования, эффективных технологий перевозок, обеспечения надежности и безопасности АТС, строительных и дорожных машин (руководитель – д.т.н., профессор Денисов А.С.);

– Совершенствование методов диагностики, расчета, проектирования, строительства и эксплуатации транспортных и коммунальных сооружений (руководитель – д.т.н., профессор Высоцкий Л.И.);

– Разработка научных основ повышения эффективности производства и качественных показателей продукции химико-технологических и машиностроительных производств на базе совершенствования конструкции, технологии, систем управления (руководитель – д.т.н., профессор Бирюков В.П.);

– Разработка методов оценки и реабилитации загрязненных природных сред (руководитель – д.х.н., профессор Губина Т.И.);

– Анализ исторической памяти как фактора самоидентификации современного общества (руководитель – д.и.н., профессор Лобачева Г.В.);

– Разработка теоретических основ и перспектив обеспечения экономического роста современного общества (руководитель – д.э.н., профессор Землянухина С.Г.);

– Разработка стратегий и перспектив развития общества и человека (руководитель – д.ф.н., профессор Борщов А.С.);

– Разработка филологических и социолингвистических проблем профессиональной кросскультурной коммуникации (выполняется в лингвистическом учебно-научном центре ИСПМ);

– Разработка теоретических основ и методов сохранения и использования архитектурно-градостроительного наследия (руководитель – к.арх., доцент Дядченко С.Ф.);

– Анализ массового сознания в информационном обществе и социопсихология безопасности (руководитель – д.с.н., профессор Понукалин А.А.);

– Анализ социокультурных контекстов современности (руководитель – д.с.н., профессор Ярская-Смирнова Е.Р.);

– Исследование системно-синергетической парадигмы в культуре (руководитель – д.ф.н., профессор Волошинов А.В.).

Особую гордость университета составляют научно-педагогические школы, созданные ведущими учеными университета, имена которых широко известны не только в России, но и далеко за ее пределами.

Среди ведущих научно-педагогических школ СГТУ можно назвать следующие. В области:

– теплоэнергетики и технической термодинамики (руководитель – д.т.н., профессор Андриющенко А.И.);

– нелинейной механики деформирующих твердых тел со сложными свойствами материала, взаимодействующего с физическими полями и средами (руководитель – д.т.н., академик Петров В.В.);

– гироскопии, навигации, управления подвижными объектами и динамических систем (руководители – д.т.н., профессор Плотников П.К., д.т.н., профессор Чеботаревский Ю.В.);

– разработки технологических основ создания безотходных ресурсосберегающих производств прецизионных изделий на основе локализации в изделия технологической энергии (руководители – д.т.н., профессор Королев А.В., д.т.н., профессор Бржозовский Б.М.);

– химии и технологии композиционных материалов и электрохимии (руководитель – д.т.н., профессор Артеменко С.Е.);

– теоретической и экспериментальной вакуумной, плазменной и твердотельной электроники, взаимодействие электромагнитных полей с различными средами и практического

использования результатов путем создания перспективных приборов и систем, критических технологий, высокоэффективных технологических установок для различных отраслей техники и промышленности (руководители – д.т.н., профессор Лясников В.Н., д.ф.-м.н., профессор Байбурин В.Б.);

– технической кибернетики и информатики (руководитель – д.т.н., профессор Подчукаев В.А.);

– математического и физического моделирования в задачах устойчивости, колебаний, диагностики и прогнозирования ресурса распределенных систем (руководители – д.т.н., профессор Крысько В.А., д.т.н., профессор Овчинников И.Г.);

– механики жидкости и газа, гидравлики водопропускных и очистных сооружений (руководитель – д.т.н., профессор Высоцкий Л.И.);

– социологии и теории социальной работы (руководители - д.ф.н., профессор Ярская В.Н., д.с.н., проф. Ярская-Смирнова Е.Р.).

Научно-исследовательские, опытно-конструкторские, инициативные и поисковые работы выполняются:

– по научно-техническим программам и грантам Минобразования и науки России, отраслевых министерств;

– по региональным научно-техническим программам и заказам;

– по хозяйственным договорам с предприятиями (за счет средств заказчиков);

– по международным проектам.

Тематика научных исследований кафедр и лабораторий, научно-производственная деятельность инновационных структурных подразделений университета соответствуют профилю подготавливаемых вузом специалистов.

Анализируя состояние и динамику развития научно-инновационной деятельности в университете, можно привести большое количество различных статистических показателей, характеризующих этот процесс.

Вот некоторые из них.

Общий объем научно-инновационной деятельности СГТУ за период 2001-2004 гг. увеличился в 4,5 раза и составил в 2004 году 213 млн. рублей.

Ежегодно сотрудниками университета защищается около 20 докторских и свыше 130 кандидатских диссертаций. Ученые университета публикуют каждый год свыше 20 монографий, 1660 статей, получают около 30 патентов на изобретения. В университете проводятся в течение года более 30 научно-технических конференций, в том числе международных, всероссийских, региональных.

Научно-инновационная деятельность СГТУ тесно связана с научными достижениями прошедшего столетия. Научная работа является одной из основных составляющих фундамента, на котором строится здание современного учебно-научно-инновационного университетского комплекса.

Университет располагает большим числом научных коллективов, ведущих эффективную научно-инновационную деятельность.

Например, коллектив преподавателей и сотрудников университета, специалистов в области теплоэнергетики состоит из 12 докторов и свыше 40 кандидатов технических наук. Более половины этого состава объединено в Проблемной научно-исследовательской лаборатории тепловых электростанций и систем энергообеспечения (ПНИЛ ТЭУ и СЭ) (научный руководитель – д.т.н., проф. Андрющенко А.И.).

Главное направление научной работы – фундаментальные и прикладные исследования в области совершенствования энергетических систем и комплексов промышленной теплоэнергетики и систем энергообеспечения городов. Особое внимание уделяется созданию новых систем теплоснабжения от ТЭЦ и АЭС с высокой надежностью и безопасностью. Осуществляется оптимизация схем и параметров ТЭЦ, как паротурбинного типа, так и на ба-



---

---

зе ГТУ (ПГУ-ТЭЦ, ГТУ-ТЭЦ и др.). Разрабатываются методы эффективного использования топливно-энергетических ресурсов в энергетике и теплотехнологии, в том числе горючих сланцев Поволжья. Исследуются ресурсосберегающие технологии в нефтегазовой и химической промышленности. В работе ПНИЛ ТЭУ и СЭ участвует кафедра электроснабжения промпредприятий, выполняющая работу по энергосбережению совместно с кафедрой теплоэнергетики.

В последние годы теплоэнергетические кафедры за счет средств, полученных за выполнение инновационных работ, значительно укрепили экспериментальную базу кафедр и ПНИЛ ТЭУ и СЭ. Этому способствует малое внедренческое предприятие «Градиент-С», выполняющее работы по модернизации энергооборудования технопарка «Волга-техника» СГТУ и теплоиспользующих установок. Разработки ежегодно патентуются.

За последние 5 лет ряд ученых-теплоэнергетиков были отмечены различными наградами: А.И. Андрищенко – Лауреат премии Международной академии наук высшей школы за 2000 г.; Почетный работник высшего профессионального образования РФ; 2005 г. – орден Саратовской области «Серебряная звезда» общественного признания. Р.З. Аминов – Лауреат Государственной премии (за совершенствование АЭС). Ю.М. Хлебалин – Почетный работник высшего профессионального образования РФ.

На основе проведенных научных работ защищены 2 докторские (Б.А. Семенов, Ю.Е. Николаев) и ряд кандидатских диссертаций.

Выполнена и осуществлена модернизация ряда котельных установок на базе разработанных кафедрой оребренных поверхностей нагрева. По поручению правительства Саратовской области разработаны программы энергосбережения и энергоэффективной экономики Саратовской области до 2010 года. Выполняется энергоаудит промышленных предприятий Саратовской, Волгоградской и Астраханской областей, предприятий РАО ЕЭС и Газпрома.

Научное направление кафедры ТМС (научный руководитель д.т.н., проф. Королев А.В.) связано с разработкой научно-практических основ создания ресурсосберегающих безотходных и малоотходных автоматизированных производств прецизионных изделий машиностроения на основе локализации технологической энергии и управления ее параметрами.

В развитие указанного научного направления кафедрой разработана концепция планирования гибких технологических процессов из унифицированных технологических элементов в условиях ограниченности и изменчивости производственных ресурсов, что открывает неограниченные возможности совершенствования производственных процессов изготовления изделий с повышенными эксплуатационными свойствами.

Предложена теория рационального профилирования рабочих поверхностей деталей, которая позволяет проектировать и изготавливать узлы трения машин с особо высокими трибологическими свойствами, что обеспечивает повышенные надежность и долговечность летательных аппаратов и аэрокосмической техники, повышения срока службы гироскопических устройств и навигационных систем, уменьшение тепловыделения и расширение скоростных показателей турбореактивных двигателей, быстроходности и точности металлообрабатывающего оборудования, уменьшение затрат на ремонт и простои из-за неисправностей автомобильного, железнодорожного и городского транспорта, сельскохозяйственной, строительной техники, различных приборов и устройств.

Разработки кафедры способствуют созданию в России нового научного направления и позволяют осуществлять производство наукоемкой продукции с повышенными потребительскими свойствами на базе новых высоких технологий в реальных условиях стохастического производства. Это обеспечивает приоритет и ведущее положение отечественной науки в этой области.

Сотрудниками кафедры разработано более десятка новых эффективных безотходных технологий, осуществляется серийный выпуск соответствующего технологического оборуду-

дования, которое успешно эксплуатируется на многих машиностроительных предприятиях. К числу этих технологий и оборудования относятся следующие:

- Комплекс высоких технологий абразивной обработки, например, новые технологии и автоматы для суперфинишной обработки прецизионных изделий типа колец подшипников с локальным воздействием инструмента на заготовку. По своим эксплуатационным показателям автоматы превосходят подобное оборудование ведущих западных фирм – «Супфина» (Германия) и «Теленхауз» (Германия) и отличаются высокой конкурентоспособностью. Автоматы выпускаются серийно и успешно работают на ОАО СПЗ, Волжском подшипниковом заводе, подшипниковом заводе в г. Ростов-на-Дону и др.

- Комплекс ресурсосберегающих безотходных экологически чистых технологий производства опор качения, в том числе оригинальная безотходная технология точной холодной раскатки деталей подшипников и различные конструкции автоматов для ее осуществления. Каждый из таких автоматов отличается простотой конструкции и по производительности превосходит целый участок сложного многошпиндельного токарного оборудования.

- Технологическое оборудование для совмещенной электрохимической и суперфинишной размерной обработки колец подшипников взамен шлифования и доводки, основанный на оригинальной технологии локального воздействия инструмента на заготовку;

- Проект ресурсосберегающей малогабаритной безотходной автоматизированной линии по производству точных деталей типа деталей подшипников. В основу линии заложены новые оригинальные технологии сварки, холодного прецизионного деформирования металла, электрохимической и абразивной обработки, сборки и упаковки изделий. Линия исключает необходимость использования энергоемкого заготовительного производства, механообработки со снятием стружки, использования печей для термообработки и другого энергоемкого оборудования. Обеспечивает производство подшипников новой конструкции с повышенными эксплуатационными свойствами.

- Технология изготовления опор трения качения с оптимизированными геометрическими параметрами, обеспечивающими увеличение ресурса работы в 5-7 раз при одновременном снижении затрат на изготовление и др.

Указанные разработки не имеют аналогов в мире.

Полигоном для совершенствования технологических разработок коллектива кафедры и внедрения их в производство является организованное при кафедре научно-производственное предприятие ООО НПП НИМ – субъект деятельности научно-технологического парка «Волга-техника» СГТУ. Предприятие имеет собственные механо-сборочные цеха и в больших объемах производит нестандартные подшипники качения, в том числе с повышенными эксплуатационными свойствами, и нестандартное технологическое оборудование.

По результатам разработок за последние годы получено более сорока патентов, в том числе патенты Великобритании, США и Италии. Опубликовано более 250 научных работ, в том числе 14 монографий и 6 учебных пособий.

Многие разработки кафедры получили международное признание. Так, за разработку критических технологий абразивной обработки сотрудники кафедры получили Большую Золотую медаль Международного конкурса изобретений, научных разработок и промышленных новшеств в Брюсселе «Эврика-97» и Серебряную медаль Международной выставки научно-технических разработок в машиностроении в Дели в 1995 г. За разработку эффективных моделей суперфинишных автоматов – Бронзовую медаль и диплом 26-го Международного салона инноваций «Женева – 1998». За разработку безотходной технологии и автоматов для точной холодной раскатки деталей – Золотую медаль, а за разработку технологии и оборудования для снятия внутренних напряжений с деталей наложением ультразвука – Серебряную медаль и дипломы 51-й Международной выставки инноваций, изобретений и новых технологий «Брюссель-Эврика-2002».

---

---

За последний период научный коллектив СГТУ принял участие в выполнении следующих научно-технических программ Минобразования России:

- НТП «Научное, научно-методическое, материально-техническое и информационное обеспечение системы образования»;
- Федеральная программа развития образования на 2002 год;
- НТП «Инновационная деятельность высшей школы»;
- НП «Университеты России»;
- НТП «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники»;
- «Федерально-региональная политика в науке и образовании»;
- Межотраслевая программа сотрудничества Минобразования РФ и Министерства обороны РФ;
- ФЦП «Интеграция»;
- ФЦП «Развитие электронной техники в России»;
- НП «Государственная поддержка региональной научно-технической политики высшей школы и развитие ее научного потенциала».

Важным вкладом в развитие экономики Саратовской области является участие в выполнении областных целевых программ.

В 2003-2004 гг. в рамках Областной адресной инвестиционной программы СГТУ выполнил три крупных проекта «Разработка комплекса информационных технологий и интеллектуальных систем» (рук. проф. Дрогайцев В.С.); «Исследование физических свойств материалов и создание технологических процессов диффузионной сварки деталей и изделий электронной техники» (рук. проф. Конюшков Г.В.); «Разработка, организация производства и клиническое применение имплантатов комбинированной конструкции» (рук. проф. Лясников В.Н.) с общим объемом 1,4 млн. рублей.

Научная деятельность университета является неременной составной частью процесса подготовки специалистов. Именно поэтому особое внимание уделяется привлечению к научно-исследовательской работе студентов 1-5 курсов очной формы обучения.

В университете проводится огромное количество предметных олимпиад, студенты университета принимают активное участие во Всероссийских конкурсах по специальностям.

Так, в 2004 году 1983 студента университета приняли участие в научно-технических конференциях и семинарах всех уровней. 473 студента были участниками международных, всероссийских и республиканских научно-технических конференций, 59 участников получили разнообразные награды.

По итогам Всероссийского конкурса 2004 года в области естественных наук 34 научно-исследовательские работы студентов и аспирантов университета награждены Дипломами I и II степени Оргкомитета конкурсной комиссии Управления по делам молодежи Федерального агентства по образованию.

Научный коллектив университета четко представляет, что приоритетным направлением социально-экономического развития России и Саратовской области является целенаправленная инновационная и инвестиционная деятельность, стимулирующая процесс реализации достижений ученых, производство востребованной и конкурентоспособной наукоемкой продукции, внедрение отвечающих мировым стандартам новейших техники и технологий.

Начиная с 80-х годов прошлого столетия, университет активно участвует в проведении теоретических исследований и практической реализации их результатов в области развития инновационных процессов в высшей школе и регионах страны.

Развитие инновационного процесса в регионе требует решения следующих проблем: законодательной, организационной, финансово-экономической.

СГТУ является инициатором подготовки совместно с областными законодательными и исполнительными органами власти, рядом вузов и организаций региона Законов и документов, регламентирующих инновационную деятельность на территории области.

Впервые на региональном уровне по инициативе СГТУ разработаны и приняты Саратовской областной думой первая и вторая редакции Закона Саратовской области «Об инновациях и инновационной деятельности».

В 2004 г. с участием СГТУ подготовлен, а затем был принят Закон Саратовской области «О государственной поддержке специализированных субъектов инновационной деятельности».

СГТУ участвует в работе ряда созданных при правительстве Саратовской области комитетов и советов по научно-техническому и экономическому развитию Саратовской области, по инновационной деятельности.

Университет участвует в разработке и реализации областных целевых программ по развитию экономики области и ее отдельных отраслей. Примером может служить программа «Энергосбережение в Саратовской области», в разработке и реализации которой приняли ученые и специалисты СГТУ.

Одной из форм эффективного развития инновационных процессов является создание и организация деятельности научно-технологических парков, в которых создаются условия для быстрого практического использования инноваций.

Научно-технологический парк «Волга-техника» Саратовского государственного технического университета создан приказом ректора университета № 621-П от 22 октября 1993 г. и зарегистрирован в администрации г. Саратова постановлением мэрии г. Саратова № 559 от 11 октября 1994 г.

Принятая и внедренная модель технопарка «Волга-техника» СГТУ обеспечивает протекание в университете инновационных процессов в форме единого научно-инновационного процесса, когда он начинается с фундаментальных исследований и заканчивается производством и реализацией наукоемкой продукции.

Технопарк создан для решения и реализации следующих целей и задач:

- ускорения инновационной деятельности и развития инновационного предпринимательства в Саратовском регионе, способствующих решению экономических, экологических и социальных проблем области;
- активизации научно-технической и технологической деятельности ученых вуза;
- создания мелких фирм по выпуску наукоемкой продукции по новейшим технологиям;
- трансфера новейших технологий в отечественную промышленность и в зарубежные страны;
- развития инфраструктуры инновационных процессов.

Основные направления инновационной деятельности в технопарке:

- разработка новейших технологий по выпуску продукции;
- расширение существующего спектра продукции;
- создание нового и модернизация существующего оборудования.

Научно-технологический парк «Волга-техника» СГТУ – один из крупнейших и передовых технопарков вузов России, лидер развития инновационной деятельности в Саратовской области.

Разрабатываемые технопарком технологии и выпускаемая продукция ориентированы, прежде всего, на такие отрасли современной экономики, как машиностроение, автотранспорт, энергетика, информатика, дорожная техника, электроника, приборостроение.

В состав технопарка входит 20 фирм. Научно-производственная специализация подразделений технопарка:

- энергетическое обследование промышленных предприятий, энергосберегающие проекты;

- 
- проекты теплоснабжения, газоснабжения, отопления;
  - проектирование и создание компьютерных сетей, разработка баз данных, корпоративных информационных систем;
  - лазерные технологии, разработка и модернизация лазерных установок;
  - электронные устройства для систем управления;
  - магнитные системы, устройства и установки;
  - испытания продукции по параметрам безопасности и качества;
  - разработка и создание теплоутилизаторов, модернизация теплоэнергетических и котельных установок;
  - разработка и изготовление сварочного и холодильного оборудования;
  - разработка и изготовление лабораторного оборудования для учебного процесса в вузе;
  - восстановление и упрочнение деталей машин.

На основании генеральных соглашений технопарк осуществляет взаимодействие с 19 фирмами, которые являются субъектами деятельности НТП «Волга-техника» СГТУ.

Инновационно-производственная специализация этих фирм:

- изготовление нестандартных подшипников качения с повышенными потребительскими свойствами, в том числе подшипников собственной конструкции с повышенной быстроходностью, долговечностью, пониженным моментом трения, а также производство специального станочного оборудования и подшипников новой техники, в том числе зарубежной;

- создание многофункционального комплекса сканирующей зондовой микроскопии для фундаментальных и инженерных исследований;

- производство наукоёмкой продукции в виде пространственных зубчатых передач в силовых трансмиссиях автотранспортной техники;

- разработка и производство приборов электронной техники.

Предприятия технопарка «Волга-техника» СГТУ внедряют и увеличивают выпуск перспективного оборудования: нового поколения технологических станков, оборудования для автоматизированных линий по производству макаронных изделий, энергетических теплообменных устройств, блоков различного назначения для лазерных установок, уникальных нестандартных подшипников, зубчатых передач, электронных приборов и др.

Среди производственно-инновационных структур технопарка, которые прошли сложный путь становления и сегодня осуществляют активную деятельность по выпуску наукоёмкой продукции, создают новые технологии, вносят вклад в развитие экономики области, можно назвать следующие.

Лидером инновационных процессов в СГТУ является холдинговое объединение НПП «НИМ» («Нестандартные изделия машиностроения»), в состав которого входят несколько специализированных фирм по проектированию станков нового поколения и выпуску нестандартных подшипников. Руководители НПП «НИМ» – д.т.н., профессор Королев А.В., профессор Болкунов В.В. В 2004 году объем выпускаемой этим объединением продукции превысил 40 млн. рублей.

В число инновационных фирм технопарка, превысивших двух- и трехмиллионный объем (в рублях) выпускаемой продукции и оказываемых услуг, входят:

НПФ «Градиент-С» (руководители – доцент Медведев В.А., к.т.н. Кузьмин А.В.);

НИЦ «Энергоком» (директор к.т.н., доцент Колесников Е.В.);

НПФ «Росо» (директор к.т.н., доцент Сопляченко В.Н.);

НПЦ «ЭлМа-Т» (директор д.т.н., профессор Захаров А.А.);

НПФ «Пьезон» (руководители – профессор Зюрюкин Ю.А., к.т.н. Шехтман Л.А.).

Технопарк участвует в решении проблем развития экономики региона путем передачи и освоения новых технологий, поддержки и стимулирования малого инновационного бизнеса, формирования научно-технических и инновационных программ, кооперации в сфере

науки и научного обслуживания. Технопарк развивает международное сотрудничество с зарубежными фондами и фирмами.

Перспектива развития научно-инновационной деятельности университета определяется тем, что повышение роли СГТУ и его технопарка «Волга-техника» в социально-экономическом развитии региона на основе активизации инновационных процессов требует продолжения работы по перестройке деятельности вуза, трансформации его в учебно-научно-инновационный комплекс, который становится одним из определяющих факторов экономического развития региона.

Предпосылкой для этого является то обстоятельство, что активизация инновационной деятельности в регионе не может быть эффективно реализована, если не будут выполнены два важных связанных органически между собой этапа: создание и практическая реализация научно-технических новшеств и подготовка специалистов для осуществления этого процесса.

Развивающийся учебно-научно-инновационный университетский комплекс СГТУ органично вписывается в региональную научно-техническую политику, в процесс формирования областных целевых и инвестиционных программ, осуществляет их научное сопровождение, обеспечивает формирование научных блоков в каждой программе, начиная от анализа состояния проблемы до реализации конкретных разработок и технологий. Университетский комплекс СГТУ, в состав которого входит технопарк «Волга-техника» СГТУ, становится элементом хозяйственной деятельности в регионе.

**Коваль Александр Андреевич –**

кандидат технических наук, доцент,  
заместитель директора департамента науки и инноваций,  
начальник управления инновационной деятельности  
Саратовского государственного технического университета

**Л.Д. Есина**

## **БУДУЩЕЕ НАЧИНАЕТСЯ СЕГОДНЯ**

75 лет – для высшего учебного заведения возраст не очень солидный. Однако, если посмотреть на эту дату через призму многих поколений его выпускников, то летопись получается яркой, насыщенной событиями, победами, достижениями. Хотя за время своего существования СГТУ преодолел и немало трудностей. Сложным был путь становления нашей alma mater. В год своего рождения, в 1930 г., во всем вузе насчитывалось всего 17 кафедр, но и их укомплектовать высококвалифицированными кадрами оказалось нелегкой задачей: были кафедры, где числилось всего по одному преподавателю. Но, несмотря ни на что, учебный процесс продолжался.

С 1937 г. согласно решению Совнаркома СССР была введена единая система аттестации научных и педагогических работников, утверждена процедура присвоения ученых степеней и званий, а также предусмотрена защита докторских и кандидатских диссертаций. Это были первые ростки нынешней системы подготовки и аттестации научно-педагогических кадров. Любопытно выглядело штатное расписание Саратовского автомобильного института того времени: профессор – 1, доценты – 34, старшие преподаватели – 5, ассистенты – 38, преподаватели – 19. Обеспечить высокий уровень подготовки инженеров этим составом было нелегко.

---

Еще более осложнилась работа вуза в период Великой Отечественной войны 1941-1945 гг., когда многие преподаватели ушли на фронт. Последствия военного времени еще долго сказывались и в послевоенные годы, когда разрушенное хозяйство страны остро нуждалось в молодых инженерных кадрах. И плечом к плечу с преподавателями встали рядом вчерашние выпускники – А.И. Ключков, А.С. Еленович, Д.А. Лозовой, Г.А. Ромаданов и многие другие, непосредственно в студенческих аудиториях осваивавшие азы педагогического мастерства. Первые поколения преподавателей четко осознавали целесообразность гармоничного сочетания активной научной работы и педагогической деятельности. Это стало приносить свои плоды: институт начал бурно развиваться, были созданы новые кафедры и лаборатории, расширялась тематика научных исследований, увеличился контингент студентов. Все это требовало притока новых молодых преподавателей, подготовку которых начали осуществлять через аспирантуру собственного института. Кроме наиболее соответствующих профилю вуза специальностей: по строительству дорог, мостов и транспортных сооружений, эксплуатации автомобильного транспорта и др., были открыты и новые, наиболее актуальные для народного хозяйства специальности: по теплоэнергетике, приборостроению, машиностроению, гидравлике, механике, оптике и т.д.

Активизации проведения научных исследований и подготовки научно-педагогических кадров в САДИ во многом способствовал и приход в институт в качестве заместителя директора по научной работе доктора технических наук, профессора А.И. Андриющенко, направленного в 1955 г. в институт Минвузом СССР для укрепления кадрового состава. Молодой талантливый ученый и организатор А.И. Андриющенко создает в вузе необходимые условия для развития научных школ таких крупных ученых института, как профессора А.А. Милашечкин, А.М. Трухлов, П.И. Гаврилов, К.П. Севров, С.Г. Редько, Г.Г. Иноземцев, А.С. Еленович, Л.М. Свердлов и многие другие. Подтверждением признания высокого уровня подготовки научно-педагогических кадров в САДИ в тот период является направление в институт большой группы граждан Китайской народной республики для обучения в аспирантуре в рамках международных соглашений.

Однако, несмотря на явные успехи, подготовка кандидатов наук в институте остается «штучным процессом». В 1955-1956 гг. были защищены всего 6 кандидатских диссертаций. Остро назрела необходимость количественного и качественного прорыва в этом процессе. Результаты активной работы в САДИ по подготовке докторов и кандидатов наук не заставили себя ждать. К началу семидесятых годов в институте уже работало 15 профессоров и докторов наук, 276 доцентов и кандидатов наук. Наиболее результативно в тот период велась подготовка научно-педагогических кадров в коллективах, возглавляемых докторами наук, профессорами В.М. Рассудовым, А.Д. Дмитриевым, Н.Н. Грязевым, С.И. Вольвичем, В.Г. Каширским, А.И. Андриющенко и т.д.

В 60-е годы можно было наблюдать заметное развитие аспирантуры САДИ («молодежь потянулась в науку»). В 1960-1961 гг. аспирантура была открыта уже на 22 кафедрах. Ежегодно, в среднем, защищалась 1 докторская диссертация. Увеличилось число защитивших кандидатские диссертации. Так, если в 1960 г. были защищены 5 кандидатских диссертаций, то в 1961 г. – 10, в 1963 г. – 12, а в 1964 – 25 кандидатских диссертаций.

Динамика подготовки научно-педагогических кадров следующего десятилетия впечатляет еще больше. Так, если в 1970 г. к тому времени уже в Саратовском политехническом институте на 11 факультетах работали 15 докторов наук, профессоров, 276 кандидатов наук, доцентов, то в 1980 г. число докторов наук, профессоров возросло более чем в 2,5 раза и достигло 583 человек.

Аспирантура того периода насчитывала уже 134 человека, из них 64 чел. – очники. Подготовка аспирантов велась на 37 кафедрах по 30 специальностям. В вузе активно работали 4 диссертационных совета по 8 специальностям. В достигнутых результатах значителен вклад проректора по научной работе СПИ того периода, самого молодого доктора наук, про-

фессора В.В. Петрова, разработавшего целую систему оказания помощи и стимулирования молодых ученых на пути к защите ими диссертаций. Воодушевляя личным примером (а школа по строительной механике проф. В.В. Петрова насчитывает более 10 докторов наук и около 60 кандидатов наук), молодой проректор по научной работе привлек к научному руководству аспирантами и консультированию докторантов талантливых ученых различных факультетов и кафедр, профессоров В.А. Крысько, Л.И. Высоцкого, А.В. Королева, В.Б. Байбурина, В.Г. Куранова, Б.М. Бржозовского, Е.Р. Ярскую-Смирнову, Ю.С. Архангельского, В.Н. Лясникова, А.М. Михайлову, С.Е. Артеменко, С.С. Попову, П.К. Плотникова, Н.М. Советова, Ф.Н. Авдоськина и других.

Новые задачи, стоящие в 90-х годах перед вузом, преобразованным в технический университет, требовали нового качества работы системы послевузовского образования СГТУ, которая объединила в себе на этом этапе процесс подготовки и аттестации научно-педагогических кадров через сеть открытых дополнительно диссертационных советов. Результаты не замедлили сказаться. Так, если в 1995 г. в очной аспирантуре по 54 специальностям обучалось 296 человек, то в 1999 г. их число почти удвоилось и превысило 500 человек. Как следствие этого, произошла активизация защит диссертаций сотрудниками университета. В 1996-1998 гг., например, ими было защищено 25 докторских и 94 кандидатских диссертаций. Число диссертационных советов возросло до 10.

Возглавляемый нынешним ректором, доктором технических наук, профессором Ю.В. Чеботаревским Саратовский государственный технический университет вновь в пути к покорению новых творческих вершин. И главной опорой, питательной средой для формирования новых научных творческих коллективов является аспирантская среда вуза. Более 700 человек обучается в аспирантуре СГТУ в настоящее время. Около 140 молодых кандидатов наук работают над докторскими диссертациями, более 400 человек являются соискателями вуза. Оптимистичной можно признать тенденцию по возникновению в университете научных династий. Бок о бок развивают «семейные» научные направления профессора отец и сын Королевы, Крысько, Андрейченко, мать и сын Артеменко, мать и дочь Ярские-Смирновы.

Многие нынешние докторанты и аспиранты, молодые кандидаты наук продолжают дело своих родителей, многие годы жизни отдавшие родному университету. Значит, традиция верного и преданного служения науке и университету жива.

В 2004 г. докторантами, аспирантами и сотрудниками университета были защищены 19 докторских и 136 кандидатских диссертаций. Активно работают 13 диссертационных советов СГТУ, обеспечивая качественную экспертизу представляемых диссертационных работ.

Более 250 претендентов в аспирантуру в 2005 г. штурмуют конкурсные высоты, чтобы завоевать право быть в числе 150 счастливчиков, которые могут назвать себя аспирантами СГТУ. И они вновь, как их деды 75 лет назад, пойдут по трудному пути поиска, открытий, побед и поражений. В этом движении – их жизнь, будущее Саратовского государственного технического университета, которое начинается сегодня.

**Есина Лариса Даниловна –**

начальник управления послевузовского образования  
Саратовского государственного технического университета



## ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

УДК 531.36

**К.П. Андрейченко, Д.К. Андрейченко, В.С. Шорин, С.Г. Наумов**

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕГО АРГУМЕНТА В НЕЛИНЕЙНОЙ ГАЗОРЕАКТИВНОЙ СИСТЕМЕ СТАБИЛИЗАЦИИ СПУТНИКА С УПРУГИМ СТЕРЖНЕМ И ЗАКРЕПЛЕННЫМ НА ЕГО КОНЦЕ ТЕЛОМ

*Составлена система дифференциальных уравнений движения возмущенного моментом внешних сил спутника с упругим стержнем и твердым телом на конце. На основе точного решения линеаризованных уравнений движения получена передаточная функция системы стабилизации в форме отношения квазимногочленов. В пространстве параметров обратных связей построены области устойчивости с учетом времени запаздывания в газореактивных исполнительных двигателях. Проанализированы переходные функции ошибки стабилизации. Исследовано поведение спутника при потере устойчивости и возникновении предельных циклов.*

**K.P. Andreichenko, D.K. Andreichenko, V.S. Shorin, S.G. Naumov**

### LAGGING ARGUMENT AFFECT OPERATION MODEL IN THE NONLINEAR GAS JET SYSTEM OF STABILIZATION OF A SATELLITE WITH THE ELASTIC ROD AND A TIMBERED SKEW FIELD ON ITS EXTREMITY

*The system of differential equations of motion perturbed by an external couple of a satellite with an elastic rod and a rigid body on the extremity composed. On the basis of the precise solution of linearized equations of motion the transfer function of a system of stabilization in the form of a fraction is obtained, the numerator and which denominator are quazipolynomials. In the space of parameters of feed-backs stability regions built in view of a delay time in gas jet actuating motors, transition functions of an error of stabilization are analyzed here. The behavior of a satellite is explored at loss of stability and origin of limit cycles.*

#### 1. Уравнения движения спутника с упругим стержнем и закрепленным на его конце телом

Рассмотрим плоское движение [1] абсолютно жесткого спутника с моментом инерции  $J_c^*$  и массой  $m_c^*$  под действием возмущающего момента  $L^*$  (рис. 1). В точке  $O$  на расстоянии  $a^*$  от центра массы  $C$  спутника жестко закреплено начало прямолинейного однородного

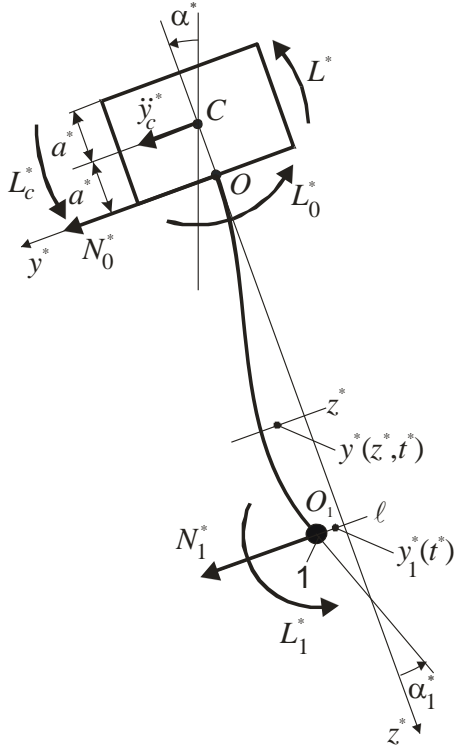


Рис. 1

упругого стержня длиной  $\ell$  с погонной плотностью  $\rho$ , модулем Юнга  $E$ , с коэффициентом  $h$  внутреннего трения по Фойгту и моментом инерции поперечного сечения  $J$ . На конце стержня в центре масс  $O_1$  жестко закреплено абсолютно жесткое тело 1 с массой  $m_1^*$  и моментом инерции  $J_1^*$ . Система координат  $Oy^*z^*$  абсолютно жестко связана со спутником  $C$ ;  $\alpha^*$  – угол отклонения спутника от орбитальной системы координат, т.е. ошибка системы стабилизации;  $L_c^* = -f^*(w^*(t^* - \tau^*))$  – управляющий момент газорактивной системы с постоянной времени запаздывания  $\tau^*$ , где  $w(t^*) = \beta_1^* \dot{\alpha}^*(t^*) + \beta_2^* \alpha^*(t^*) + \beta_3^* \int_0^{t^*} \alpha^*(\xi) d\xi$ ,  $f^*(w^*)$  – некоторая нелинейная функция своего аргумента;  $\beta_1^*, \beta_2^*, \beta_3^*$  – коэффициенты обратных связей;  $t^*$  – время;  $\ddot{y}_c^*$  – ускорение возмущенного движения центра масс  $C$  спутника;  $y^*(z^*, t^*)$  – прогиб стержня;  $y_1^*(t^*) = y^*(\ell^*, t^*)$  – прогиб конца стержня;  $\alpha_1^*$  – угол поворота абсолютно жесткого тела 1 на конце стержня относительно системы координат  $Oy^*z^*$ ;  $N_0^*$  и  $L_0^*$  – соответственно сила и момент сил реакции стержня в точке  $O$  его заделки в спутнике;  $N_1^*$  и  $L_1^*$  – соответственно сила и момент сил реакции стержня в точке  $O_1$  его заделки в абсолютно жесткое тело 1; точка означает производную по времени.

В невозмущенном состоянии имеем

$$\forall t \leq 0: \alpha^*(t^*) = \dot{\alpha}^*(t^*) = y_c^*(t^*) = \dot{y}_c^*(t^*) = y_1^*(t^*) = \dot{y}_1^*(t^*) = y^*(z^*, t^*) = \dot{y}^*(z^*, t^*) = 0.$$

Уравнения возмущенного движения рассматриваемой дискретно-континуальной системы в безразмерной форме имеют вид

$$J_c \ddot{\alpha} = L - f(w(t - \tau)) + L_0 - aN_0, \quad w(t) = \beta_1 \dot{\alpha}(t) + \beta_2 \alpha(t) + \beta_3 \int_0^t \alpha(\xi) d\xi, \quad (1.1)$$

$$m_c \ddot{y}_c = N_0, \quad J_1(\ddot{\alpha} + \ddot{\alpha}_1) = L_1, \quad m_1[\ddot{y}_c + \ddot{y}_1 - (1+a)\ddot{\alpha}] = N_1, \quad (1.2)$$

$$\ddot{y}(z, t) + \ddot{y}_c - (a+z)\ddot{\alpha} = -(y''''(z, t) + \gamma \dot{y}''''(z, t)), \quad (') = \partial / \partial z, \quad (1.3)$$

$$z = 0: y(0, t) = y'(0, t) = 0; \quad z = 1: y(1, t) = y_1(t), \quad y'(1, t) = -\alpha_1(t), \quad (1.4)$$

$$L_0 = -y''(0, t) - \gamma \dot{y}''(0, t), \quad N_0 = -y'''(0, t) - \gamma \dot{y}'''(0, t) \quad (1.5)$$

$$L_1 = y''(1, t) + \gamma \dot{y}''(1, t), \quad N_1 = y'''(1, t) + \gamma \dot{y}'''(1, t)$$

$$t \leq 0: \alpha(t) = \dot{\alpha}(t) = y_c(t) = \dot{y}_c(t) = y(z, t) = \dot{y}(z, t) = 0. \quad (1.6)$$

Здесь безразмерные переменные и параметры

$$t = \frac{t^*}{T}, \quad T = \left( \frac{\rho \ell^4}{EJ} \right)^{1/2}, \quad y = \frac{y^*}{\delta}, \quad z = \frac{z^*}{\ell}, \quad \frac{\delta}{\ell} \ll 1, \quad \gamma = \frac{h}{T}, \quad \alpha = \frac{\ell \alpha^*}{\delta}, \quad \alpha_1 = \frac{\ell \alpha_1^*}{\delta}, \quad y_1 = \frac{y_1^*}{\delta}, \quad \beta_1 = \frac{\ell \beta_1^*}{EJT},$$

$$\beta_2 = \frac{\ell \beta_2^*}{EJ}, \quad \beta_3 = \frac{\ell T \beta_3^*}{EJ}, \quad J_c = \frac{J_c^*}{\rho \ell^3}, \quad m_c = \frac{m_c^*}{\rho \ell}, \quad m_1 = \frac{m_1^*}{\rho \ell}, \quad \ddot{y}_c = \frac{\rho \ell^4 \ddot{y}_c^*}{EJ\delta}, \quad N_0 = \frac{\ell^3 N_0^*}{EJ\delta}, \quad L_0 = \frac{\ell^2 L_0^*}{EJ\delta},$$

$N_1 = \frac{\ell^3 N_1^*}{EJ\delta}$ ,  $L_1 = \frac{\ell^2 L_1^*}{EJ\delta}$ ,  $a = \frac{a^*}{\ell}$ ,  $\tau = \frac{\tau^*}{T}$ ,  $\delta$  – характерный размер поперечного сечения стержня.

Линеаризация в окрестности состояния равновесия приводит уравнение (1.1) к виду (уравнения (1.2)-(1.6) при этом своего вида не изменяют)

$$J_c \ddot{\alpha} = L - b_1 \dot{\alpha}(t - \tau) - b_2 \alpha(t - \tau) - b_3 \int_0^{t-\tau} \alpha(\xi) d\xi + L_0 - aN_0, \quad b_j = \beta_j f'(0), \quad j = 1, 2, 3. \quad (1.1.a)$$

## 2. Динамическая модель системы угловой стабилизации спутника с упругим стержнем и закрепленным на его конце абсолютно жестким телом

Производя прямое интегральное преобразование Лапласа в соотношениях (1.1.a), (1.2)-(1.6), получаем уравнения возмущенного движения спутника с упругим стержнем в изображениях (которые обозначаются тильдой,  $\lambda$  – произвольный комплексный параметр)

$$[J_c \lambda^3 + (b_1 \lambda^2 + b_2 \lambda + b_3) e^{-\tau \lambda}] \tilde{\alpha}(\lambda) = \lambda \tilde{L}(\lambda) + \lambda \tilde{L}_0(\lambda) - a \lambda \tilde{N}_0(\lambda), \quad (2.1)$$

$$m_c \lambda^2 \tilde{y}_c(\lambda) = \tilde{N}_0(\lambda), \quad J_1 \lambda^2 [\tilde{\alpha}(\lambda) + \tilde{\alpha}_1(\lambda)] = \tilde{L}_1(\lambda), \quad m_1 \lambda^2 (\tilde{y}_c(\lambda) + \tilde{y}_1(\lambda) - (1+a)\alpha(\lambda)) = \tilde{N}_1(\lambda), \quad (2.2)$$

$$\tilde{y}''''(z, \lambda) - k^4 \tilde{y}(z, \lambda) = -k^4 [(a+z)\tilde{\alpha}(\lambda) - \tilde{y}_c(\lambda)], \quad k^4 = -\lambda^2 / (1 + \gamma \lambda), \quad (2.3)$$

$$z = 0: \tilde{y}(0, \lambda) = \tilde{y}'(0, \lambda) = 0; \quad z = 1: \tilde{y}(1, \lambda) = \tilde{y}_1(\lambda), \quad \tilde{y}'(1, \lambda) = -\tilde{\alpha}_1(\lambda), \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} \tilde{L}_0(\lambda) &= -(1 + \gamma \lambda) \tilde{y}''(0, \lambda), \quad \tilde{N}_0(\lambda) = -(1 + \gamma \lambda) \tilde{y}'''(0, \lambda) \\ \tilde{L}_1(\lambda) &= (1 + \gamma \lambda) \tilde{y}''(1, \lambda), \quad \tilde{N}_1(\lambda) = (1 + \gamma \lambda) \tilde{y}'''(1, \lambda) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Общее решение линейного неоднородного обыкновенного дифференциального уравнения (2.3) представляется в форме

$$\tilde{y}(z, \lambda) = C_1(\lambda) S(kz) + C_2(\lambda) T(kz) + C_3(\lambda) U(kz) + C_4(\lambda) V(kz) + (a+z)\tilde{\alpha}(\lambda) - \tilde{y}_c(\lambda), \quad (2.6)$$

где  $S(z) = (\operatorname{ch} z + \cos z) / 2$ ,  $T(z) = (\operatorname{sh} z + \sin z) / 2$ ,  $U(z) = (\operatorname{ch} z - \cos z) / 2$ ,  $V(z) = (\operatorname{sh} z - \sin z) / 2$  – функции А.Н.Крылова, а константы интегрирования  $C_1(\lambda)$ ,  $C_2(\lambda)$ ,  $C_3(\lambda)$ ,  $C_4(\lambda)$  легко находятся подстановкой (2.6) в граничные условия (2.4). Далее, вводя соотношения (2.6) в равенства (2.5), получаем изображения реакций стержня  $\tilde{L}_0(\lambda)$ ,  $\tilde{N}_0(\lambda)$  и  $\tilde{L}_1(\lambda)$ ,  $\tilde{N}_1(\lambda)$ , действующих (рис. 1) соответственно на спутник в точке  $O$  и на тело 1 в точке  $O_1$

$$\begin{aligned} \tilde{L}_0(\lambda) &= \mu_{11}(k) \lambda^2 \tilde{\alpha}(\lambda) + (1 + \gamma \lambda) [\mu_{12}(k) \tilde{\alpha}_1(\lambda) + \mu_{13}(k) \tilde{y}_1(\lambda)] + \mu_{14}(k) \lambda^2 \tilde{y}_c(\lambda) \\ \tilde{N}_0(\lambda) &= \mu_{21}(k) \lambda^2 \tilde{\alpha}(\lambda) + (1 + \gamma \lambda) [\mu_{22}(k) \tilde{\alpha}_1(\lambda) + \mu_{23}(k) \tilde{y}_1(\lambda)] + \mu_{24}(k) \lambda^2 \tilde{y}_c(\lambda) \\ \tilde{L}_1(\lambda) &= \mu_{31}(k) \lambda^2 \tilde{\alpha}(\lambda) + (1 + \gamma \lambda) [\mu_{32}(k) \tilde{\alpha}_1(\lambda) + \mu_{33}(k) \tilde{y}_1(\lambda)] + \mu_{34}(k) \lambda^2 \tilde{y}_c(\lambda) \\ \tilde{N}_1(\lambda) &= \mu_{41}(k) \lambda^2 \tilde{\alpha}(\lambda) + (1 + \gamma \lambda) [\mu_{42}(k) \tilde{\alpha}_1(\lambda) + \mu_{43}(k) \tilde{y}_1(\lambda)] + \mu_{44}(k) \lambda^2 \tilde{y}_c(\lambda) \end{aligned} \quad (2.7)$$

Здесь  $k = k(\lambda) = e^{i\pi/4} \sqrt{\lambda} (1 + \gamma \lambda)^{-1/4}$ ,  $\mu_{\nu 1}(k) = a \mu_{\nu 1}^{(1)}(k) + \mu_{\nu 1}^{(2)}(k)$ ,  $\nu = 1, 2, 3, 4$ ,

$$\begin{aligned} \mu_{11}^{(1)}(k) &= k^{-2} (\operatorname{ch} k - \cos k - \operatorname{sh} k \sin k) / \Delta(k), \quad \mu_{11}^{(2)}(k) = k^{-3} [k (\operatorname{ch} k - \cos k) - \sin k (\operatorname{ch} k - 1) + \\ &+ \operatorname{sh} k (\cos k - 1)] / \Delta(k), \quad \Delta(k) = \operatorname{ch} k \cos k - 1, \quad \mu_{12}(k) = k (\operatorname{sh} k - \sin k) / \Delta(k), \quad \mu_{14}(k) = -\mu_{11}^{(1)}(k) \end{aligned}$$

$$\mu_{13}(k) = k^2 (\operatorname{ch} k - \cos k) / \Delta(k), \quad \mu_{21}^{(1)}(k) = k^{-1} [\sin k (\operatorname{ch} k - 1) + \operatorname{sh} k (\cos k - 1)] / \Delta(k), \quad (2.8)$$

$$\mu_{24}(k) = -\mu_{21}^{(1)}(k), \quad \mu_{21}^{(2)}(k) = k^{-2} [\operatorname{ch} k - \cos k - k (\operatorname{sh} k + \sin k) + \operatorname{sh} k \sin k] / \Delta(k), \quad \mu_{22}(k) = -\mu_{13}(k),$$

$$\begin{aligned} \mu_{23}(k) &= -k^3(\operatorname{sh} k + \sin k) / \Delta(k), \quad \mu_{31}^{(1)}(k) = -\mu_{11}^{(1)}(k), \quad \mu_{33}(k) = k^2 \operatorname{sh} k \sin k / \Delta(k), \quad \mu_{34}(k) = \mu_{11}^{(1)}(k), \\ \mu_{31}^{(2)}(k) &= k^{-3}[(1 - \operatorname{ch} k) \sin k + (\cos k + k \sin k - 1) \operatorname{sh} k] / \Delta(k), \quad \mu_{32}(k) = k(\operatorname{ch} k \sin k - \\ &- \operatorname{sh} k \cos k) / \Delta(k), \quad \mu_{41}^{(2)} = k^{-2}(\cos k - \operatorname{ch} k + k \operatorname{ch} k \sin k + (k \cos k - \sin k) \operatorname{sh} k) / \Delta(k), \\ \mu_{41}^{(1)}(k) &= \mu_{21}^{(1)}(k), \quad \mu_{42}(k) = \mu_{33}(k), \quad \mu_{43}(k) = k^3(\operatorname{ch} k \sin k + \operatorname{sh} k \cos k) / \Delta(k), \quad \mu_{44}(k) = -\mu_{21}^{(1)}(k). \end{aligned}$$

Функции  $\mu_{vj}(k)$ ,  $v, j = 1, 2, 3, 4$  аналитичны в окрестности точки  $k = 0$  и при конечных  $\gamma > 0$  не имеют особенностей в правой половине и на мнимой оси комплексной плоскости ( $\lambda$ ). Легко проверить, что

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \lambda^{-\beta_{vj}} \mu_{vj}[k(\lambda)] = b_{vj} = \text{const}, \quad \operatorname{Re} \lambda \geq 0, \quad v, j = 1, 2, 3, 4, \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} b_{11} &= a\gamma^{1/2}, \quad \beta_{11} = -1/2, \quad b_{12} = b_{13} = 0, \quad \beta_{12} = \beta_{13} = 0, \quad b_{14} = -\gamma^{-1/2}, \quad \beta_{14} = 1/2, \quad b_{21} = (1+i)a\gamma^{1/4} / \sqrt{2}, \\ \beta_{21} &= -1/4, \quad b_{22} = b_{23} = 0, \quad \beta_{22} = \beta_{23} = 0, \quad b_{24} = \sqrt{2}\gamma^{-3/4}, \quad \beta_{24} = 3/4, \quad b_{31} = -i\sqrt{2}\gamma^{3/4}, \quad \beta_{31} = -3/4, \\ b_{32} &= -\sqrt{2}\gamma^{-1/4}, \quad \beta_{32} = 1/4, \quad b_{33} = b_{34} = \gamma^{-1/2}, \quad \beta_{33} = \beta_{34} = 1/2, \quad b_{41} = (a+1)\sqrt{2}\gamma^{1/4}, \quad \beta_{41} = -1/4, \\ b_{42} &= \gamma^{-1/2}, \quad \beta_{42} = 1/2, \quad b_{43} = b_{44} = \sqrt{2}\gamma^{-3/4}, \quad \beta_{43} = \beta_{44} = 3/4, \end{aligned}$$

а также

$$\operatorname{Re} \mu_{vj}[k(-i\omega)] = \operatorname{Re} \mu_{vj}[k(i\omega)], \quad \operatorname{Im} \mu_{vj}[k(-i\omega)] = -\operatorname{Im} \mu_{vj}[k(i\omega)]. \quad (2.10)$$

Подставляя выражения (2.7) в уравнения (2.1)-(2.5), сводим задачу к решению неоднородной линейной системы алгебраических уравнений

$$\begin{aligned} \varphi_{11}(\lambda) \tilde{\alpha}(\lambda) + \varphi_{12}(\lambda) \tilde{\alpha}_1(\lambda) + \varphi_{13}(\lambda) \tilde{y}_1(\lambda) + \lambda^2 \varphi_{14}(\lambda) \tilde{y}_c(\lambda) &= \lambda \tilde{L}(\lambda) \\ \varphi_{v1}(\lambda) \tilde{\alpha}(\lambda) + \varphi_{v2}(\lambda) \tilde{\alpha}_1(\lambda) + \varphi_{v3}(\lambda) \tilde{y}_1(\lambda) + \lambda^2 \varphi_{v4}(\lambda) \tilde{y}_c(\lambda) &= 0, \quad v = 2, 3, 4 \end{aligned} \quad (2.11)$$

где  $\varphi_{11}(\lambda) = (J_c + a\mu_{21} - \mu_{11})\lambda^3 + (b_1\lambda^2 + b_2\lambda + b_3)e^{-\tau\lambda}$ ,  $\varphi_{14}(\lambda) = \lambda(a\mu_{24} - \mu_{14})$ ,  $\varphi_{21}(\lambda) = -\mu_{21}\lambda^2$ ,  
 $\varphi_{12}(\lambda) = (1 + \gamma\lambda)\lambda(a\mu_{22} - \mu_{12})$ ,  $\varphi_{13}(\lambda) = (1 + \gamma\lambda)\lambda(a\mu_{23} - \mu_{13})$ ,  $\varphi_{22}(\lambda) = -(1 + \gamma\lambda)\mu_{22}$ ,  
 $\varphi_{23}(\lambda) = -(1 + \gamma\lambda)\mu_{23}$ ,  $\varphi_{24}(\lambda) = m_c\lambda^2 - \mu_{24}$ ,  $\varphi_{31}(\lambda) = (J_1 - \mu_{31})\lambda^2$ ,  $\varphi_{32}(\lambda) = J_1\lambda^2 - (1 + \gamma\lambda)\mu_{32}$ ,  
 $\varphi_{33}(\lambda) = -(1 + \gamma\lambda)\mu_{33}$ ,  $\varphi_{34}(\lambda) = -\mu_{34}$ ,  $\varphi_{41} = -[m_1(1 + a) + \mu_{41}]\lambda^2$ ,  $\varphi_{42}(\lambda) = -(1 + \gamma\lambda)\mu_{42}$ ,  
 $\varphi_{43}(\lambda) = m_1\lambda^2 - (1 + \gamma\lambda)\mu_{43}$ ,  $\varphi_{44} = m_1\lambda^2 - \mu_{44}$ ,  $\mu_{vj} = \mu_{vj}[k(\lambda)]$ ,  $v, j = 1, 2, 3, 4$ .

Решая систему уравнений (2.11) относительно  $\tilde{\alpha}(\lambda)$ , получаем изображение ошибки стабилизации

$$\tilde{\alpha}(\lambda) = \Phi(\lambda) \tilde{L}(\lambda), \quad \Phi(\lambda) = Q(\lambda) / D(\lambda), \quad (2.13)$$

$$D(\lambda) = \det\{\varphi_{vj}(\lambda)\}, \quad v, j = 1, 2, 3, 4; \quad Q(\lambda) = \lambda \det\{\varphi_{vj}(\lambda)\}, \quad v, j = 2, 3, 4, \quad (2.14)$$

где квазирациональная дробь  $\Phi(\lambda)$  является передаточной функцией системы стабилизации,  $D(\lambda)$  – характеристический квазимногочлен,  $Q(\lambda)$  – возмущающий квазимногочлен.

### 3. Метод $D$ -разбиений применительно к дискретно-континуальным системам

**Определение 1.** Квазирациональная дробь  $\Phi(\lambda) = Q(\lambda) / D(\lambda)$  называется физически возможной, если найдутся такие действительные числа  $n_a$  и  $n_b$ , что существуют пределы

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \lambda^{-n_a} D(\lambda) = c_a = \text{const}, \quad \lim_{\lambda \rightarrow \infty} \lambda^{-n_b} Q(\lambda) = c_b = \text{const}, \quad \operatorname{Re} \lambda \geq 0$$

и выполняются условия

$$n_a > n_b + 1, \quad |c_b| < \infty, \quad c_a \neq 0$$

$$\operatorname{Re} D(-i\omega) = \operatorname{Re} D(i\omega), \quad \operatorname{Im} D(-i\omega) = -\operatorname{Im} D(i\omega),$$

$$\operatorname{Re} Q(-i\omega) = \operatorname{Re} Q(i\omega), \quad \operatorname{Im} Q(-i\omega) = -\operatorname{Im} Q(i\omega).$$

В силу свойств (2.9) и (2.10) функций  $\mu_{vj} = \mu_{vj}[k(\lambda)]$ ,  $v, j = 1, 2, 3, 4$  передаточная функция  $\Phi(\lambda)$  согласно соотношениям (2.13), (2.14) является физически возможной квазирациональной дробью, причем  $n_a = 7$ .

**Определение 2.** Квазимногочлен  $D(\lambda)$  называется устойчивым, если все его нули  $\lambda_v$ ,  $v = 1, 2, \dots$  расположены на комплексной плоскости ( $\lambda$ ) слева от мнимой оси, т.е.  $\operatorname{Re} \lambda_v < 0$ ,  $v = 1, 2, 3, \dots$

В работах [2, 3] сформулированы и доказаны утверждения.

**Теорема 1.** Пусть квазимногочлен  $D(\lambda)$  аналитичен на мнимой оси и в правой половине комплексной плоскости ( $\lambda$ ) и пусть существует такое действительное число  $n_a$ , что

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \lambda^{-n_a} D(\lambda) = c_a \neq 0, \quad \operatorname{Re} \lambda \geq 0,$$

а также

$$\forall \omega \in (-\infty, \infty): D(i\omega) = u(\omega) + iv(\omega) \neq 0, \quad u(-\omega) = u(\omega), \quad v(-\omega) = -v(\omega).$$

Тогда, если при монотонном возрастании  $\omega$  от 0 до  $\infty$  вектор  $D(i\omega)$  повернется на комплексной плоскости ( $u, iv$ ) от положительной действительной полуоси  $u$  в положительном направлении на угол  $n_a \pi / 2$ , то квазимногочлен  $D(\lambda)$  является устойчивым.

**Теорема 2.** Физически возможная квазирациональная дробь  $\Phi(\lambda) = Q(\lambda) / D(\lambda)$  является асимптотически устойчивой, если квазимногочлен  $D(\lambda)$  устойчивый, а квазимногочлен  $Q(\lambda)$  аналитичен на мнимой оси и в правой половине комплексной плоскости ( $\lambda$ ).

**Теорема 3.** Если в квазирациональной дроби  $\Phi(\lambda) = Q(\lambda) / D(\lambda)$  квазимногочлен  $D(\lambda)$  имеет в правой половине комплексной плоскости ( $\lambda$ ) хотя бы один корень, не совпадающий с корнями квазимногочлена  $Q(\lambda)$ , то квазирациональная дробь  $\Phi(\lambda)$  неустойчива.

Так как передаточная функция  $\Phi(\lambda)$  динамической модели (2.13) рассматриваемой системы стабилизации является физически возможной квазирациональной дробью, то система стабилизации асимптотически устойчива, если  $\Phi(\lambda)$  удовлетворяет теореме 2, т.е. если при изменении  $\omega$  от 0 до  $\infty$  приращение аргумента функции  $D(i\omega)$  удовлетворяет условию

$$\Delta_{0 \leq \omega < \infty} \arg D(i\omega) = 7\pi / 2. \quad (3.1)$$

Из приведенных в работах [2, 3] доказательств теоремы 1 следует, что  $P$  нулей квазимногочлена  $D(\lambda)$  переходят в правую половину комплексной плоскости ( $\lambda$ ), если

$$\Delta_{0 \leq \omega < \infty} \arg D(i\omega) = 7\pi / 2 - \pi P. \quad (3.2)$$

Следовательно, согласно теореме 3 в этом случае система стабилизации неустойчива.

Таким образом, система стабилизации находится на границе устойчивости, если частотный годограф  $D(i\omega)$  характеристического квазимногочлена проходит на комплексной плоскости ( $u, iv$ ) через начало координат 0. В силу этого представляется возможным развить метод  $D$ -разбиений при построении границ областей устойчивости бесконечномерных динамических моделей систем стабилизации спутников с упругими стержнями в пространстве

коэффициентов обратных связей. Заменяем в определителе  $D(\lambda)$  переменную  $\lambda$  на  $i\omega$ , разлагаем полученный определитель  $D(i\omega)$  по элементам первой строки и приравниваем нулю. Разрешая последнее равенство относительно  $\varphi_{11}$  и принимая во внимание, что согласно (2.12)  $\varphi_{11} = -i\omega^3(J_c + a\mu_{21} - \mu_{11}) + (b_3 - b_1\omega^2 + ib_2\omega)e^{-i\omega\tau}$ , после несложных преобразований получаем соотношения

$$b_3 + i\omega b_2 = F(\omega, b_1), \tag{3.3}$$

$$F(\omega, b_1) = \left[ i\omega^3(J_c + a\mu_{21} - \mu_{11}) - \frac{1}{A_{11}} \sum_{j=2}^4 \varphi_{1j} A_{1j} \right] e^{i\omega\tau} + b_1\omega^2, \quad \varphi_{vj} = \varphi_{vj}(i\omega), \quad v, j = 1, 2, 3, 4,$$

$$A_{11} = \begin{vmatrix} \varphi_{22} & \varphi_{23} & \varphi_{24} \\ \varphi_{32} & \varphi_{33} & \varphi_{34} \\ \varphi_{42} & \varphi_{43} & \varphi_{44} \end{vmatrix}, \quad A_{12} = - \begin{vmatrix} \varphi_{21} & \varphi_{23} & \varphi_{24} \\ \varphi_{31} & \varphi_{33} & \varphi_{34} \\ \varphi_{41} & \varphi_{43} & \varphi_{44} \end{vmatrix}, \quad A_{13} = \begin{vmatrix} \varphi_{21} & \varphi_{22} & \varphi_{24} \\ \varphi_{31} & \varphi_{32} & \varphi_{34} \\ \varphi_{41} & \varphi_{42} & \varphi_{44} \end{vmatrix}, \quad A_{14} = - \begin{vmatrix} \varphi_{21} & \varphi_{22} & \varphi_{23} \\ \varphi_{31} & \varphi_{32} & \varphi_{33} \\ \varphi_{41} & \varphi_{42} & \varphi_{43} \end{vmatrix}.$$

Из соотношений (3.3) следуют параметрические уравнения границ областей устойчивости динамической модели (2.13) рассматриваемой системы стабилизации спутника на плоскости параметров  $(b_3, b_2)$

$$b_3 = \operatorname{Re} F(\omega, b_1), \quad b_2 = \frac{1}{\omega} \operatorname{Im} F(\omega, b_1). \tag{3.4}$$

Предположим, что на спутник действует возмущающий момент в форме функции Хевисайда  $L(t) = 1(t)$ . Тогда  $\tilde{L}(\lambda) = 1/\lambda$ , и из (2.13) следует  $\tilde{\alpha}(\lambda) = \Phi(\lambda)/\lambda$ . Переходная функция ошибки стабилизации, соответствующая данному изображению  $\alpha(t) \div \tilde{\alpha}(\lambda) = \Phi(\lambda)/\lambda$ , может быть найдена при помощи алгоритма численного обращения интегрального преобразования Лапласа [4].

Рассмотрим далее динамическую модель (2.13), (2.14) системы стабилизации спутника с упругим стержнем и закрепленным на его конце абсолютно жестким телом с параметрами  $J_c=0,07442$ ,  $m_c=34,75$ ,  $m_1=3$ ,  $J_1=0,007$ ,  $a=0,05$ ,  $\gamma=0,01$ . На рис. 2, а для случая  $b_1=0,7$  слева изображены ограниченные убывающие при увеличении  $\tau$  области устойчивости, а справа показаны переходные функции для соответствующих точек из данных областей соответственно при  $\tau=0,001, 0,005, 0,01$ . Заметим, что при  $\tau=0$  область устойчивости распространяется вдоль координаты  $b_2$  неограниченно, а снизу остается ограниченной подобно тому, как показано на рис. 2 при  $\tau=0,001$ .

Увеличение массы  $m_1$  и момента инерции  $J_1$  закрепленного на конце стержня абсолютно жесткого тела существенно изменяет области устойчивости. На рис. 2, б для случая  $b_1=5$ ,  $m_1=m_c=34,75$  и  $J_1=J_c=0,07442$  слева показаны затемнением убывающие с ростом времени запаздывания  $\tau$  области устойчивости соответственно при  $\tau=0,001, 0,01, 0,02$ , а справа изображены соответствующие переходные функции для выбранных в областях устойчивости точек. При  $\tau=0,001$  верхняя граница области устойчивости поднялась до уровня порядка  $b_2=5200$ , а при  $\tau=0,02$  область устойчивости разделилась на две части с верхней границей порядка  $b_2=90$ . При  $\tau=0,1$  область устойчивости отсутствовала всюду на плоскости параметров  $(b_3, b_2)$ .

#### 4. Исследование предельных циклов

В случае, если параметры обратной связи не принадлежат области устойчивости, развитие малых возмущений может привести к автоколебаниям и возникновению предельных циклов. При нахождении приближенных  $2\pi/\omega$ -периодических решений уравнений (1.1)-(1.6) полагаем

$$\alpha(t) \approx \sum_{n=1}^{N_\alpha} (\alpha_n e^{in\omega t} + \alpha_{-n} e^{-in\omega t}), \quad y_c(t) \approx \sum_{n=1}^{N_\alpha} (y_n^{(c)} e^{in\omega t} + y_{-n}^{(c)} e^{-in\omega t}), \quad \alpha_{-n} = \bar{\alpha}_n, \quad y_{-n}^{(c)} = \bar{y}_n^{(c)},$$

$$\alpha_1(t) \approx \sum_{n=1}^{N_\alpha} (\alpha_n^{(1)} e^{in\omega t} + \alpha_{-n}^{(1)} e^{-in\omega t}), \quad y_1(t) \approx \sum_{n=1}^{N_\alpha} (y_n^{(1)} e^{in\omega t} + y_{-n}^{(1)} e^{-in\omega t}), \quad \alpha_{-n}^{(1)} = \bar{\alpha}_n^{(1)}, \quad y_{-n}^{(1)} = \bar{y}_n^{(1)},$$

$$y(z, t) \approx \sum_{n=1}^{N_\alpha} (y_n(z) e^{in\omega t} + y_{-n}(z) e^{-in\omega t}), \quad y_{-n}(z) = \bar{y}_n(z), \quad (4.1)$$

$$w(t) = \beta_1 \dot{\alpha}(t) + \beta_2 \alpha(t) + \beta_3 \int \alpha(t) dt =$$

$$= w_0 + \sum_{n=1}^{N_\alpha} \left[ \left( \beta_2 + in\omega\beta_1 + \frac{\beta_3}{in\omega} \right) \alpha_n e^{in\omega t} + \left( \beta_2 - in\omega\beta_1 - \frac{\beta_3}{in\omega} \right) \alpha_{-n} e^{-in\omega t} \right].$$

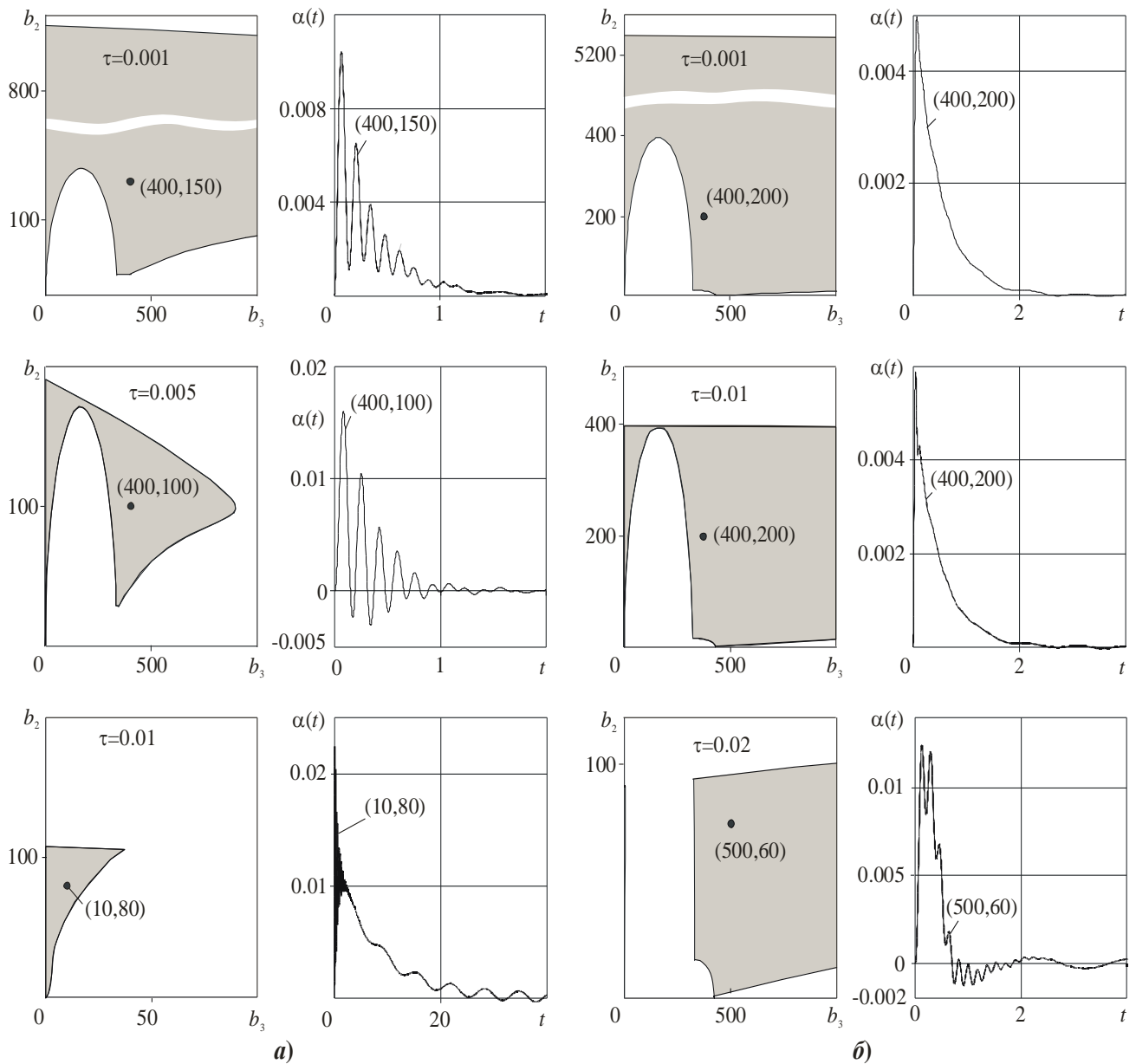


Рис. 2

Выражения (4.1) позволяют удовлетворить уравнениям движения (1.2)-(1.5) (в силу их линейности), при этом уравнения относительно  $\alpha_n^{(1)}$ ,  $y_n^{(c)}$ ,  $y_n^{(1)}$ ,  $y_n(z)$  аналогичны (2.2)-(2.5) при  $\lambda = \lambda_n = in\omega$  и приводят к следующему результату

$$\begin{aligned} \varphi_{v1}(\lambda_n)\alpha_n + \varphi_{v2}(\lambda_n)\alpha_n^{(1)} + \varphi_{v3}(\lambda_n)y_n^{(1)} + \lambda_n^2\varphi_{v4}(\lambda_n)y_n^{(c)} &= 0, \\ \lambda_n &= in\omega, \quad n = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm N_a, \quad v = 2, 3, 4 \end{aligned} \quad (4.2)$$

Приближенное выполнение уравнения (1.1) приводит к условиям

$$f_0 = 0, \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} \psi_{11}(\lambda_n)\alpha_n + \psi_{12}(\lambda_n)\alpha_n^{(1)} + \psi_{13}(\lambda_n)y_n^{(1)} + \lambda_n^2\psi_{14}(\lambda_n)y_n^{(c)} &= -e^{-\tau\lambda_n}f_n, \\ \lambda_n &= in\omega, \quad n = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm N_a \end{aligned} \quad (4.4)$$

где  $\psi_{11}(\lambda) = \lambda^2(J_c + a\mu_{21} - \mu_{11})$ ,  $\psi_{12}(\lambda) = (1 + \gamma\lambda)(a\mu_{22} - \mu_{12})$ ,  $\psi_{13}(\lambda) = (1 + \gamma\lambda)(a\mu_{23} - \mu_{13})$ ,

$$\psi_{14}(\lambda) = a\mu_{24} - \mu_{14}, \quad \mu_{vj} = \mu_{vj}[k(\lambda)], \quad v = 1, 2, \quad j = 1, 2, 3, 4,$$

$$\begin{aligned} f_n &= \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} f[w(t)]e^{-in\omega t} dt = f_n(\omega, w_0, \text{Re } \alpha_1, \text{Im } \alpha_1, \text{Re } \alpha_2, \text{Im } \alpha_2, \dots, \text{Re } \alpha_{N_a}, \text{Im } \alpha_{N_a}) \\ n &= 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm N_a \end{aligned} \quad (4.5)$$

Исключая величины  $\alpha_n^{(1)}$ ,  $y_n^{(c)}$ ,  $y_n^{(1)}$  из (4.2), (4.4), находим

$$\alpha_n = -\frac{Q(\lambda_n)}{D^*(\lambda_n)} e^{-\tau\lambda_n} f_n, \quad \lambda_n = in\omega, \quad n = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm N_a, \quad (4.6)$$

$$D^*(\lambda) = \begin{vmatrix} \psi_{11}(\lambda) & \psi_{12}(\lambda) & \psi_{13}(\lambda) & \psi_{14}(\lambda) \\ \varphi_{21}(\lambda) & \varphi_{22}(\lambda) & \varphi_{23}(\lambda) & \varphi_{24}(\lambda) \\ \varphi_{31}(\lambda) & \varphi_{32}(\lambda) & \varphi_{33}(\lambda) & \varphi_{34}(\lambda) \\ \varphi_{41}(\lambda) & \varphi_{42}(\lambda) & \varphi_{43}(\lambda) & \varphi_{44}(\lambda) \end{vmatrix}.$$

Воспользовавшись тем, что фаза периодического автоколебательного движения может быть выбрана произвольно, потребуем

$$\text{Im } \alpha_1 = 0. \quad (4.7)$$

Условия (4.2)-(4.7) представляют собой записанную в неявной форме систему нелинейных уравнений относительно  $2N_a + 2$  действительных величин  $\omega$ ,  $w_0$ ,  $\text{Re } \alpha_n$ ,  $n = 1, \dots, N_a$ ;  $\text{Im } \alpha_n$ ,  $n = 2, \dots, N_a$ , которая может быть решена численно.

Далее полагаем

$$f(w) = \text{th}(rw) \quad (4.8)$$

и, следовательно, в (1.1.а)  $b_j = r\beta_j$ ,  $j = 1, 2, 3$ . В этом случае, в силу нечетности  $f(w)$   $w_0 = 0$ , а приближенные выражения (4.1) содержат лишь гармоники с нечетными индексами.

Численное решение систем нелинейных уравнений выполнялось при помощи стандартных функций пакета Optimization Toolbox системы MATLAB. Улучшение сходимости тригонометрических рядов выполнялось согласно [4].

## 5. Развитие малых возмущений

Если параметры обратной связи не принадлежат области устойчивости линеаризованной системы, то фазовое пространство нелинейной дискретно-континуальной системы может



не содержать предельных циклов, либо содержать конечное (или бесконечное) число предельных циклов. Каждый из этих предельных циклов может оказаться как устойчивым, так и неустойчивым. Устойчивый предельный цикл может характеризоваться некоторым множеством притягивающихся к нему фазовых траекторий. Следовательно, требуется выполнить численное моделирование развития малых возмущений во времени. При дискретизации (1.3) по пространственной переменной  $z$  положим

$$y(z, t) \approx \sum_{n=0}^{N_u+4} u_n(t) T_n(2z-1), \quad (5.1)$$

где  $T_n(x) = \cos(n \arccos x)$  – ортогональные полиномы Чебышева 1-го рода, и потребуем

$$\int_0^1 [\ddot{y}(z, t) + \ddot{y}_c - (a+z)\ddot{\alpha} + y''''(z, t) + \gamma y''''(z, t)] T_n(2z-1) = 0, \quad n = 0, 1, \dots, N_u. \quad (5.2)$$

Подстановка (5.1) в (1.1), (1.2), (1.4)-(1.6) приводит к условиям

$$J_c \ddot{\alpha} = L - f(w(t-\tau)) + L_0 - aN_0, \quad w(t) = \beta_1 \dot{\alpha}(t) + \beta_2 \alpha(t) + \beta_3 \int_0^t \alpha(\xi) d\xi, \quad (5.3)$$

$$m_c \ddot{y}_c = N_0, \quad J_1(\ddot{\alpha} + \ddot{\alpha}_1) = L_1, \quad m_1[\ddot{y}_c + \ddot{y}_1 - (1+a)\ddot{\alpha}] = N_1, \quad (5.4)$$

$$\sum_{n=0}^{N_u+4} y_n(t) T_n(-1) = 0, \quad \sum_{n=0}^{N_u+4} u_n(t) T_n'(-1) = 0, \quad \sum_{n=0}^{N_u+4} u_n(t) T_n(1) = y_1, \quad \sum_{n=0}^{N_u+4} u_n(t) T_n'(1) = -2\alpha_1, \quad (5.5)$$

$$L_0 = -4 \sum_{n=0}^{N_u+4} (u_n(t) + \gamma \dot{u}_n(t)) T_n''(-1), \quad N_0 = -8 \sum_{n=0}^{N_u+4} (u_n(t) + \gamma \dot{u}_n(t)) T_n'''(-1) \quad (5.6)$$

$$L_1 = 4 \sum_{n=0}^{N_u+4} (u_n(t) + \gamma \dot{u}_n(t)) T_n''(-1), \quad N_1 = 8 \sum_{n=0}^{N_u+4} (u_n(t) + \gamma \dot{u}_n(t)) T_n'''(-1)$$

$$t \leq 0: \alpha(t) = \dot{\alpha}(t) = \alpha_1(t) = \dot{\alpha}_1(t) = y_c(t) = \dot{y}_c(t) = y_1(t) = \dot{y}_1(t) = 0 \quad (5.7)$$

$$u_n(t) = \dot{u}_n(t) = 0, \quad n = 0, 1, \dots, N_u$$

Условия (5.2)-(5.7) представляют собой записанную в неявной форме систему обыкновенных дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом и соответствующие им начальные условия относительно величин  $\alpha(t)$ ,  $\int_0^t \alpha(\xi) d\xi$ ,  $\alpha_1(t)$ ,  $y_c(t)$ ,  $y_1(t)$ ,  $u_n(t)$ ,  $n=1, 2, \dots, N_u$ . После приведения к нормальной форме указанная система обыкновенных дифференциальных уравнений интегрировалась численно при помощи стандартных функций системы MATLAB. Моделирующий начальное возмущение входной сигнал можно задать в виде  $\delta$ -образующей функции малой амплитуды, например

$$L(t) = \begin{cases} \frac{\varepsilon}{2\pi t_0} \sin \frac{\pi t}{t_0}, & t \in [0, t_0] \\ 0, & t \notin [0, t_0] \end{cases}, \quad \varepsilon \ll 1, \quad t_0 \ll 1.$$

Далее везде полагаем, что в выражениях (4.8)  $r=10$ .

Исследование процесса развития малых возмущений во времени приводит к результатам, в значительной степени аналогичным [5], где анализировались случаи потери устойчивости спутника с упругим стержнем без груза на конце. В нижней части области неустойчивости, находящейся ниже показанной на рис. 2 затемнением области устойчивости, система может не допускать предельных циклов либо допускать один или несколько предельных циклов. Однако в любом случае соответствующие развитию малых начальных возмущений фазовые траектории уходят в бесконечность, что означает неустойчивость возможных предельных циклов. Данные на рис. 3 соответствуют случаю  $\tau=0,01$  на рис. 2, а. Предельные циклы при  $\beta_2=8$ ,  $\beta_3=30$ , т.е.  $b_2=80$ ,  $b_3=300$  показаны на рис. 3 сплошной линией, а выходящая из начала координат фазовой плоскости  $(\alpha, \dot{\alpha})$  фазовая траектория показана пунктиром.

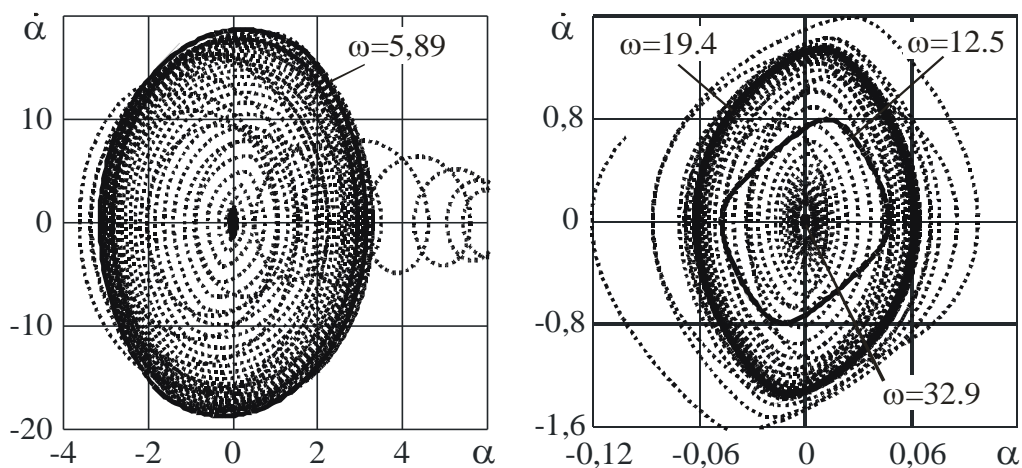


Рис. 3

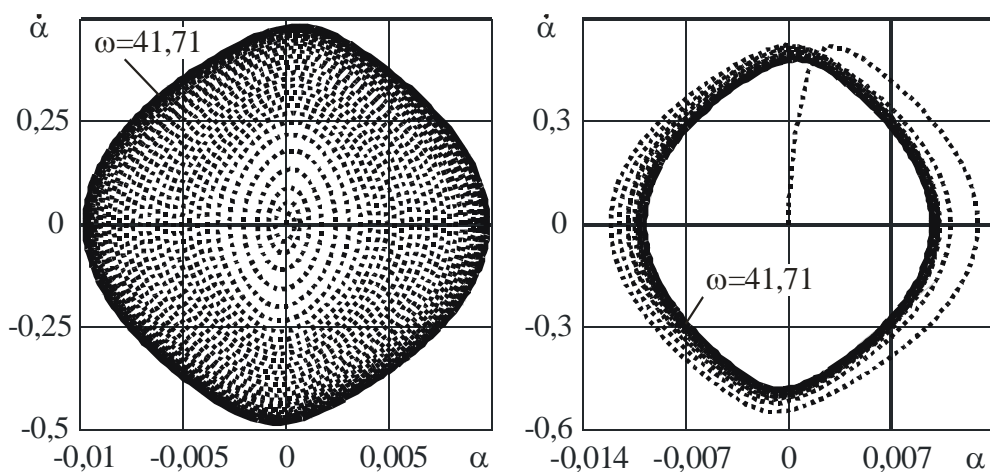


Рис. 4

В верхней части области неустойчивости, находящейся выше показанной на рис. 2 затенением области устойчивости, развитие малых начальных возмущений может приводить к образованию устойчивых малоамплитудных высокочастотных предельных циклов. Данные на рис. 4 соответствуют случаю  $\tau=0,01$  на рис. 2, а при  $\beta_2=50, \beta_3=50$ , т.е.  $b_2=500, b_3=500$ . Однако с ростом амплитуды начального возмущения фазовые траектории могут не «наматываться» на предельный цикл, но уходить на фазовой плоскости в бесконечность. В случае, когда в верхней области неустойчивости  $\beta_3 \gg \beta_2$ , т.е.  $b_3 \gg b_2$ , предельные циклы становятся неустойчивыми, и качественно поведение системы аналогично случаю, представленному на рис. 3.

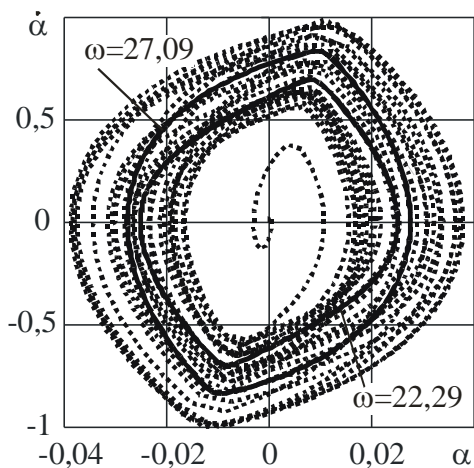


Рис. 5

При удалении точки, описывающей текущие значения параметров обратной связи, вверх от границы устойчивости, т.е. при возрастании параметра  $\beta_2$  (или  $b_2$ ), влияние интегрирующего звена уменьшается. В результате фазовые траектории блуждают в некоторой окрестности малоамплитудных высокочастотных предельных циклов, заполняя некоторую область фазового пространства. Данные на рис. 5 соответствуют рис. 2, б при  $\tau=0,02, \beta_2=70, \beta_3=2$  (т.е.  $b_2=700$ ,

$b_3=20$ ). При этом в области, заполняемой фазовыми траекториями, образуются два предельных цикла, причем внутренний цикл отличается меньшей частотой.

### Заключение

Известно, что дестабилизация системы управления по низшим формам колебаний может возникать за счет неправильного выбора параметров обратной связи. Как показано в настоящей работе, возможны дестабилизация упругих управляемых конструкций по высшим формам колебаний и возникновение малоамплитудных высокочастотных (периодических либо аperiodических) автоколебаний, вызванных наличием запаздывающих звеньев. В связи с этим далее представляет интерес применение моделей упругих элементов конструкций, более точно описывающих их поведение в высокочастотной области (например, с использованием моделей тонкостенных конструкций типа Тимошенко), а также уточнение математических моделей запаздывающих звеньев в системе управления. Указанные уточнения могут существенно повлиять на характер расположения и протяженность областей устойчивости в пространстве параметров обратной связи, а также на характеристики автоколебательных режимов в системе управления. Также представляет интерес исследование устойчивости предельных циклов и построение границ областей существования устойчивых предельных циклов в пространстве параметров обратных связей. Однако решение данных задач выходит за рамки настоящей работы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Злочевский С.И. О стабилизации спутника с гибкими стержнями / С.И. Злочевский, Е.П. Кубышкин // Космические исследования. 1991. Т. 29. Вып. 6. С. 828-839.
2. Андрейченко Д.К. К теории комбинированных динамических систем / Д.К. Андрейченко, К.П. Андрейченко // Известия РАН. Теория и системы управления. 2000. № 3. С. 54-69.
3. Андрейченко К.П. Динамическое моделирование линейных дискретно-континуальных систем / К.П. Андрейченко, Д.К. Андрейченко, А.Б. Смарунь // Прикладная математика и механика. 2000. Т. 64. Вып. 2. С. 183-195.
4. Андрейченко Д.К. Эффективный алгоритм численного обращения интегрального преобразования Лапласа / Д.К. Андрейченко // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2000. Т. 40. № 7. С. 1030-1044.
5. Андрейченко К.П. Устойчивость и предельные циклы системы стабилизации спутника с упругим стержнем и газореактивными двигателями с постоянным временем запаздывания / К.П. Андрейченко, Д.К. Андрейченко // Авиакосмическое приборостроение. 2005. № 2. С. 11-17.

#### **Андрейченко Константин Петрович –**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Прикладная математика и теория навигационных приборов»  
Саратовского государственного технического университета

#### **Андрейченко Дмитрий Константинович –**

доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры «Механика деформируемого твердого тела и прикладная информатика»  
Саратовского государственного технического университета

#### **Шорин Виталий Сергеевич –**

студент группы ПБС-41 факультета электронной техники и приборостроения  
Саратовского государственного технического университета

#### **Наумов Сергей Геннадиевич –**

студент группы ПБС-41 факультета электронной техники и приборостроения  
Саратовского государственного технического университета

**А.В. Ефимов, Ю.В. Чеботаревский, Д.Г. Павлов**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СПЛОШНОЙ ТОНКОЙ КРУГЛОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЕ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ НАГРЕВЕ НЕСТАЦИОНАРНЫМ ВНЕШНИМ ИСТОЧНИКОМ ТЕПЛА**

*С помощью метода конечных элементов проводится исследование термоупругопластического состояния тонкой круглой диэлектрической пластины, нагреваемой нестационарным локальным внутренним источником тепла с центром нагрева, смещенным относительно центра пластины, в процессе разгрузки. Анализируются остаточные напряжения при различных положениях источника нагрева.*

**A.V. Efimov, Y.V. Chebotarevsky, D.G. Pavlov**

**RESIDUAL TENSION DETERMINATION IN A SOLID THIN ROUND DIALECTICAL PLATE AT LOCALLY HEATING FROM NO STATIONARY EXTERNAL HEAT RESOURCE**

*With the help of the method of finite elements the thermo non-flexible flexible conditions are researched of the thin round dialectical plate, heated by no stationary local internal heat resource with the centre of heating displaced relatively to the center of the plate in the process of unload. Residual tension is analyzed at different positions of heat resource.*

В работе [1] рассмотрено термоупругопластическое состояние тонкой круглой диэлектрической пластины радиуса  $R$ , нагреваемой нестационарным локальным внутренним источником тепла с центром нагрева, смещенным относительно центра пластины, в процессе нагружения. Здесь приведем результаты исследования термоупругопластического состояния такой пластины в процессе разгрузки с определением остаточных напряжений.

Очевидно, что переход в различных точках пластины от процесса нагружения к процессу разгрузки определяется характером поведения температуры в данной точке. Как показали результаты исследования температурного поля, приведенные в работе [2], в точке пластины, совпадающей с центром нагрева, максимальное значение температуры достигается в момент окончания импульса. В точках, смещенных относительно центра нагрева, время, по истечении которого достигается максимальное значение температуры, увеличивается. Причём, промежуток времени, по истечении которого в данной точке достигается максимальное значение температуры, тем больше и само значение тем меньше, чем больше расстояние от этой точки до центра нагрева. Однако, в силу локальности и кратковременности нагрева, для точек, лежащих в пределах пластической зоны, промежуток времени, по истечении которого достигается максимальное значение температуры, незначительно отличается от длительности импульса. Поэтому при исследовании процесса разгрузки можно приближенно считать, что переход от нагревания к остыванию происходит в окрестностях центра нагрева в момент окончания импульса, и температурное поле пластины аппроксимировать функцией [1]:

$$\theta = t e^{-t} e^{-k(r^2 + L^2 - 2rL \cos(\varphi - \varphi_0))}, \quad (1)$$

где  $(L, \varphi_0)$  – координаты центра нагрева в полярной системе координат с началом координат в центре пластины;  $t$  – время нагрева пластины;  $k$  – коэффициент сосредоточенности источника.

Запись выражения для температуры в форме (1) означает принятие допущения об одновременном наступлении процесса разгрузки во всех точках пластины.

Постановка задачи о термоупругопластическом состоянии рассматриваемой пластины, как в процессе нагружения, так и в процессе разгрузки, с учетом специфики поведения хрупких диэлектриков при нагреве, в полном объеме приведена в работе [1]. Её решение с применением стандартных конечно-элементных комплексов сведено к минимизации функционала Лагранжа, из условия стационарности которого следует:

$$\int_S (\sigma_{rr} \delta \varepsilon_{rr} + \sigma_{\varphi\varphi} \delta \varepsilon_{\varphi\varphi} + 2\sigma_{r\varphi} \delta \varepsilon_{r\varphi}) dS = 0, \quad (2)$$

где  $\sigma_{ij}$  и  $\varepsilon_{ij}$  ( $i, j=r, \varphi$ ) – компоненты тензоров напряжений и деформаций соответственно;  $S$  – площадь поверхности пластины.

Исследование процесса разгрузки проводилось при условиях, что пластина не имеет смещения как жёсткое целое ( $u(0,0) = v(0,0) = 0, v(R,0) = 0$ , где  $u$  и  $v$  – составляющие вектора перемещения, и её контур свободен от внешней нагрузки ( $\sigma_{rr} = \sigma_{r\varphi} = 0$ ). Расчеты проводились для следующих значений параметров:  $R=10^{-3}$  м,  $k=10^6 \div 10^9$  м<sup>-2</sup>,  $L=(0,3 \div 1) \cdot 10^{-3}$  м,  $t=(1 \div 10) \cdot 10^{-4}$  с,  $E=3,6 \cdot 10^{11}$  н/м<sup>2</sup>,  $\nu=0,3$ .

Анализ полученных результатов показал, что для принятой функции температурного поля, заданных параметров и длительности импульса источника тепла, равного  $10^{-4}$  с, значения температуры в моменты времени  $t > 10^{-3}$  с становятся пренебрежимо малыми. Поэтому при  $t > 10^{-3}$  с напряженно-деформированное состояние пластины практически можно считать остаточным.

Ниже, в качестве примера, на рис. 1-4 приведены графики остаточных напряжений при расположении центра нагрева вдали (рис. 1-2) и вблизи (рис. 3-4) края пластины.

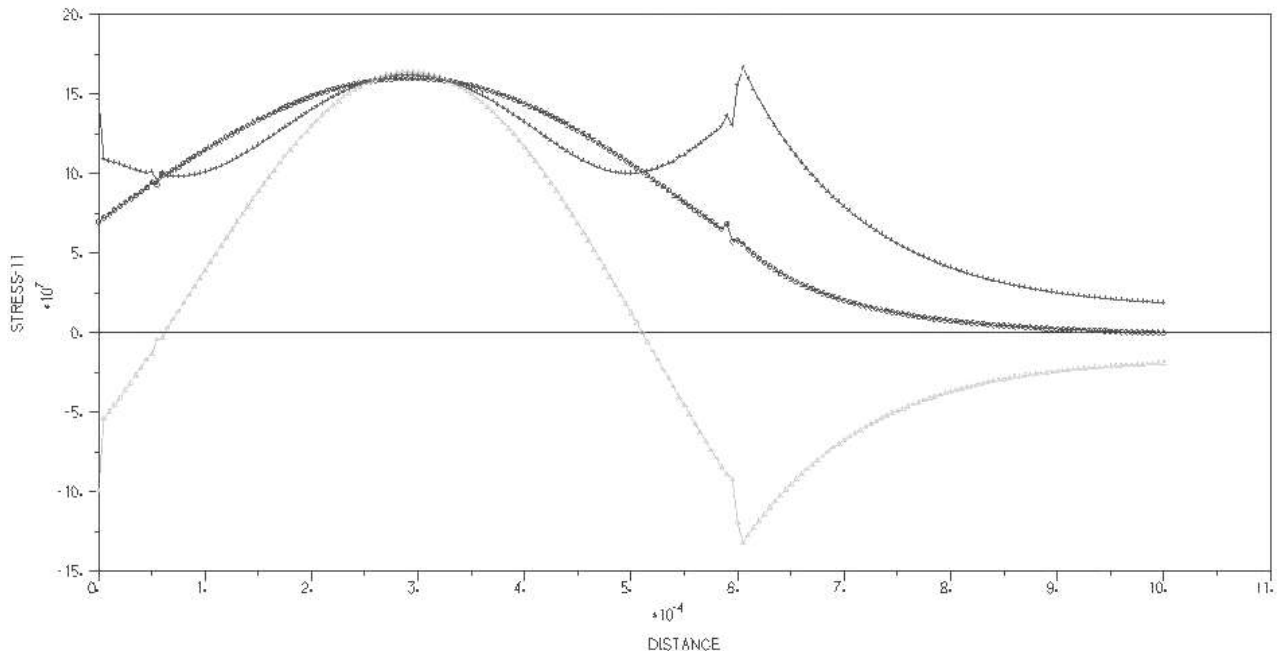


Рис. 1

На приведённых графиках показано поведение интенсивности  $\sigma_{ii}$  (штрихпунктирные линии) и нормальных напряжений  $\sigma_r$  (пунктирные линии) и  $\sigma_\varphi$  (сплошные линии) по радиусу пластины при  $\varphi=0$ , для следующих положений источника нагрева:  $L=0,3 \cdot 10^{-3}$  м (рис. 1),  $L=0,3 \cdot 10^{-3}$  м (рис. 2),  $L=0,85 \cdot 10^{-3}$  м (рис. 3),  $L=0,95 \cdot 10^{-3}$  м (рис. 4).

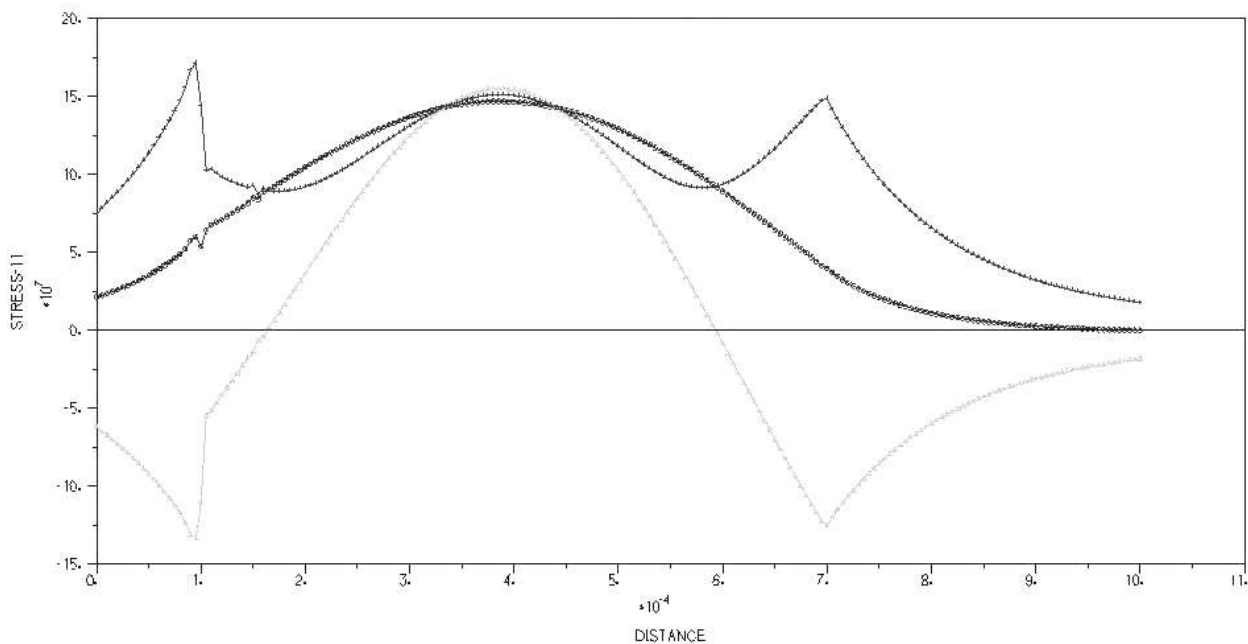


Рис. 2

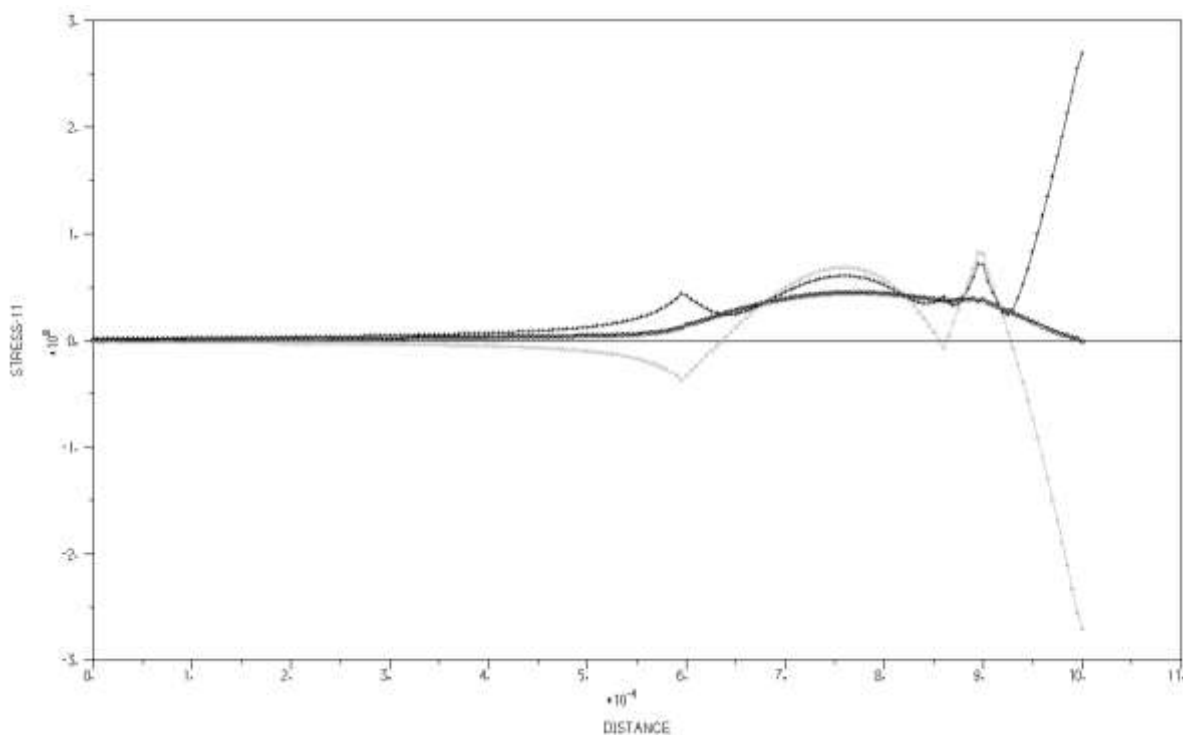


Рис. 3

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что при расположении источника тепла вдали от края ( $L < 0,85 \cdot 10^{-3}$  м) остаточные напряжения  $\sigma_r$  в упругой зоне стремятся к нулю и плавно возрастают в пластической зоне при приближении к центру нагрева, достигая там своего максимального значения. Остаточные напряжения  $\sigma_\phi$  на границе пластической зоны имеют отрицательные значения, близкие по модулю к пределу текучести материала. В центре пластической зоны они становятся растягивающими, достигая там наибольших значений, превосходящих максимум остаточных напряжений  $\sigma_r$ .

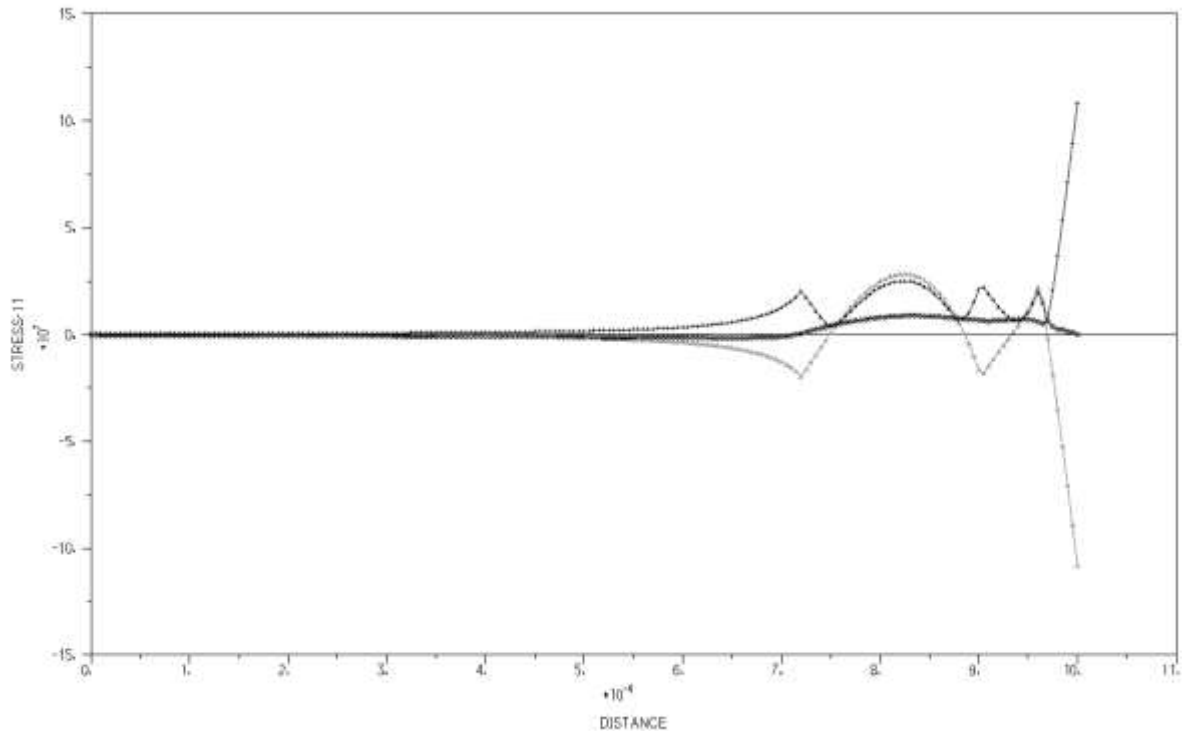


Рис. 4

Как показано в работе [1], в процессе нагружения при расположении центра нагрева вблизи края ( $L \geq 0,85 \cdot 10^{-3}$  м), в пластине имеют место две пластические зоны. Поэтому и распределение остаточных напряжений на рис. 3-4 существенно отличается от их распределения на рис. 1-2. При этом с точки зрения оценки термпрочности наибольший интерес представляет напряжение  $\sigma_\varphi$ , имеющее максимум на краю пластины, значительно превышающий предел пластичности.

Также отмечено, что различия в значениях между остаточными напряжениями  $\sigma_r$  и  $\sigma_\varphi$  увеличиваются по мере увеличения коэффициента сосредоточенности  $k$  и по мере приближения источника нагрева к краю пластины.

В упругой зоне остаточные напряжения  $\sigma_\varphi$  при расположении источника нагрева ближе к краю пластины ( $L > 0,6 \cdot 10^{-3}$  м) стремятся к нулю, а при приближении источника нагрева к центру пластины значение остаточных напряжений  $\sigma_\varphi$  постепенно уменьшается, достигая предела текучести материала на сжатие.

Таким образом, проведенный анализ показал, что наиболее опасными с точки зрения термпрочности рассматриваемого объекта являются остаточные растягивающие напряжения  $\sigma_\varphi$ , возникающие на краю пластины, при расположении центра нагрева вблизи него.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимов А.В. Термоупругопластическое состояние тонкой круглой диэлектрической пластины при локальном нагреве нестационарным источником тепла / А.В. Ефимов, Ю.В. Чеботаревский, Д.Г. Павлов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2003. № 1. С. 37-42.

2. Павлов Д.Г. Температурные поля и напряженно-деформированное состояние круглых пластин при нестационарном локальном нагреве источником тепла: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д.Г. Павлов. Саратов, 1990. 18 с.

3. Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов / под общ. ред. В.И. Мяченкова. М.: Машиностроение, 1989. 520 с.

4. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды: учебник. 3-е изд. / А.А. Ильюшин. М.: Изд-во МГУ, 1990. 310 с.

5. Чеботаревский Ю.В. Напряженное состояние бесконечной пластины при воздействии импульсного нормально распределенного источника тепла / Ю.В. Чеботаревский // Задачи прикладной теории упругости: межвуз. науч. сб. Саратов: СПИ, 1985. С. 118-122.

6. Павлов Д.Г. К решению задачи термопластичности о нагреве тонкой кольцевой пластины локальным источником тепла / Д.Г. Павлов, И.Ю. Харламова, Ю.В. Чеботаревский // Прочность и устойчивость элементов конструкций в агрессивных средах: межвуз. науч. сб. Саратов: СПИ, 1990. С. 56-58.

**Ефимов Алексей Владимирович** –  
аспирант кафедры «Теоретическая механика»  
Саратовского государственного технического университета

**Чеботаревский Юрий Викторович** –  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Теоретическая механика»  
Саратовского государственного технического университета

**Павлов Дмитрий Геннадьевич** –  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Теоретическая механика»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 539.3, 534.1

**А.В. Крысько, В.А. Крысько, Н.Е. Савельева**

## **ХАОТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ЗАМКНУТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК И ПАНЕЛЕЙ.**

### **Часть I**

*Охарактеризованы исследования по нелинейной динамике оболочек, выполненные на кафедре «Высшая математика» Саратовского государственного технического университета за последние 10 лет. В первой части описаны исследования геометрически нелинейных задач замкнутых цилиндрических оболочек. Во второй части – исследования нелинейных задач цилиндрических панелей и сферических оболочек. Эти результаты являются новыми и получены в почти точном решении (методом Бубнова-Галеркина в высших приближениях). Исследования иностранных ученых выполнены в данном направлении с малым числом степеней свободы, что является не вполне корректным и на это обращено особое внимание в настоящей работе.*



A.V. Krysko, V.A. Krysko, N.E. Saveleva

**CHAOTIC VIBRATIONS OF CLOSED CYLINDRICAL SHELLS AND PLATES.****Part I**

*These studies have been performed during the last 10 years at the Department of Higher Mathematics of Saratov State Technical University. In the 1<sup>st</sup> part of present work we consider in more detail geometrically nonlinear problems of closed cylindrical shells, analysis of methods of nonlinear forms of vibrations of shells. In the 2<sup>nd</sup> part of present work we consider in more detail nonlinear problems of cylindrical panels and spherical shells. The aim of the present work is to study nonlinear dynamics of shells. These results are new and obtained in almost exact decision (the Bubnov-Galerkin's method in the maximum approach). The mentioned below work of the foreign scientists are executed with small number of degrees of freedom that are not quite correct and therefore special attention will be addressed.*

**Введение**

Проблемы нелинейной динамики круговых цилиндрических оболочек в настоящий момент являются чрезвычайно актуальными, так как такие конструкции находят широкое применение в космосе (ракеты и средства транспортного запуска). В таких механических системах вес является главной проблемой, и он должен быть настолько низким, насколько это возможно, а предел прочности должен быть настолько высоким, насколько это возможно. Особенно усилились исследования оболочечных систем после случая с шаттлом «Челленджер» [1]. Для таких систем форма колебаний представляет специфический интерес в динамическом поведении оболочек, так как осевые и изгибающие напряжения зависят от первых и вторых производных формы колебаний. Поэтому необходимы точные методы анализа нелинейных форм колебаний оболочек с большой амплитудой. Все это требует детального их изучения. Как известно, в линейной теории колебаний собственные частоты и формы колебаний не зависят от амплитуды колебаний. В нелинейной теории колебаний это не так и величина амплитуды колебаний существенно влияет на частоты и формы колебаний.

Первый обширный обзор исследований по данному направлению был сделан в 1974 году Эвенсеном [36]. Он охватывает исследования с 1955 по 1971 гг., некоторые результаты по данному направлению приводятся в монографии Лейсса [45], в которой содержатся ссылки на 500 источников по линейной теории круговых цилиндрических оболочек. Обзор работ с 1978 по 1983 гг. по нелинейной теории, включающий 17 ссылок, приведен Лейсса [45]. Более поздние исследования по теории замкнутых цилиндрических оболочек приведены в обзоре Amabili и др. [2-8].

При изучении нелинейных колебаний замкнутых цилиндрических оболочек возникают новые неожиданные явления, новые в том смысле, что при изучении линейных колебаний о них даже невозможно было подозревать. Среди этих явлений следует отметить:

1. Зависимость амплитуды от формы колебаний [26-29,54];
2. Явление скачка [35,53];
3. Внутренний резонанс [38,49];
4. Возникновение суб- или супергармонических колебаний [50];
5. Возникновение хаотических колебаний [51,57,60];
6. Существование бифуркационных точек [39,58,59].

Эти 6 признаков будут изучены ниже. В настоящей работе мы остановимся на исследованиях по нелинейной динамике оболочек, выполненных на кафедре «Высшая математи-

ка» Саратовского государственного технического университета за последние 10 лет, но предпочтение отдается исследованиям геометрически нелинейных задачах замкнутых цилиндрических оболочек.

Эти результаты являются новыми и получены с большим числом степеней свободы (методом Бубнова – Галеркина в высших приближениях), причем число степеней свободы было выбрано таким, что последующее его увеличение не привносило в решение изменений. Проведенные ранее исследования [1,6,10,34] выполнены с малым числом степеней свободы, что является не вполне корректным и на это будет обращено особое внимание ниже.

Здесь мы приведем некоторые результаты, полученные авторами данного исследования по изучению хаотических колебаний.

На кафедре «Высшая математика» изучению диссипативных колебаний оболочечных конструкций начали уделять серьезное внимание с 1992 года. За этот период было выполнено большое количество работ по изучению сложных колебаний прямоугольных в плане пластин и сферических оболочек, конических оболочек, сферических оболочек на круглом плане, секториальных пластин и оболочек, а также замкнутых цилиндрических оболочек и бесконечно длинных пластин и оболочек – фактически рассмотрен весь спектр элементов конструкций летательных аппаратов. Некоторые печатные работы приведены в списке литературы настоящего обзора [40,44,63,70-83,93-95,100,103]. Особое внимание при этом уделялось точности получаемых результатов. Исследования проводились методом конечных разностей по пространственным координатам с аппроксимацией  $O(h^2)$ ,  $O(h^4)$ ,  $O(h^6)$ , методом Рунге в высших приближениях и Бубнова – Галеркина, также в высших приближениях, и методом Рунге – Кутты 4-го порядка точности по времени. Это связано с возможностью получения истинности хаоса, в отличие от модели Лоренца, когда низшие приближения обнаруживают хаос, а увеличение аппроксимации приводит к его исчезновению. Кроме того, к известным четырем сценариям (сценарий Ландау [98], сценарий Помо – Манневиля [47], сценарий Фейгенбаума [37], сценарий Рюэля – Такенса [52]) перехода гармонических колебаний к хаотическим удалось добавить еще несколько. Наряду с использованием быстрого преобразования Фурье исследования проводились с помощью вейвлет-анализа, что позволяло анализировать изменение частот во времени. Устойчивость движения анализировалась с помощью метода Ляпунова. Это позволило выявить в сложных колебаниях оболочечных систем такие новые явления как «гипер-хаос» и «гипер-гипер-хаос».

Впервые рассмотрен вопрос об управлении хаотическими колебаниями с помощью некоторых дополнительных воздействий как продольного, так и поперечного типа, что позволило перевести хаотические колебания в гармонические или в хаотические, но с другими свойствами.

Данная работа будет структурирована следующим образом. В первой части будут рассмотрены динамические задачи теории цилиндрических оболочек при полосовом нагружении, выделены некоторые из полученных новых сценариев перехода колебаний оболочки в хаос. В §1 введены основные уравнения, краевые и начальные условия для замкнутой цилиндрической оболочки. §2 посвящен выбору аппроксимации решения и описанию метода исследования. §3 будет посвящен вопросу сходимости метода Бубнова – Галеркина. В §4 рассмотрим сложные колебания замкнутых цилиндрических оболочек. Часть 2 будет посвящена изучению сложного поведения цилиндрических панелей и сферических оболочек.

## § 1. Основные уравнения и предположения

Цилиндрическую оболочку, поперечное сечение которой очерчено по окружности, называют круговой цилиндрической оболочкой и если ее поперечное сечение представляет полную окружность, то она называется замкнутой, если часть окружности – то открытой.

Замкнутая круговая цилиндрическая оболочка как трехмерная область  $\Omega$  в данной системе координат определяется  $\Omega = \{x, y, z \mid (x, y) \in [0; L] \times [0; 2\pi], -h \leq z \leq h\}$  (рис. 1.1). Выберем координатные линии  $x$  и  $y$  таким образом, чтобы они совпадали с линиями кривизны срединной поверхности. Координату  $z$  будем отсчитывать по нормали к поверхности, считая  $z$  положительным по направлению к центру кривизны поверхности (имеется в виду оболочка положительной или нулевой гауссовской кривизны). В нелинейной теории пологих оболочек исходными уравнениями для расчета оболочек примем нелинейные уравнения Власова – Муштари – Донелла [99], записанные в безразмерном виде:

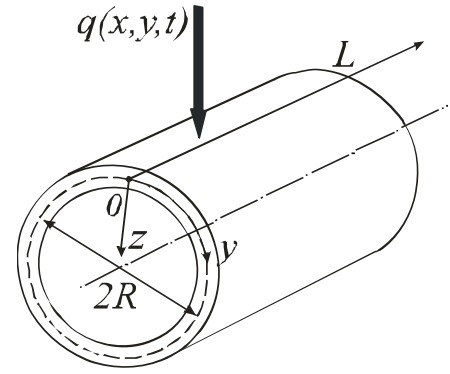


Рис. 1.1. Замкнутая круговая цилиндрическая оболочка

$$\frac{1}{12(1-\mu^2)} \left( \frac{1}{\lambda^2} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \lambda^2 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} \right) - k_y \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} - k_x \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} - L(w, F) - p_y(x, t) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + p_x(y, t) \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + Mq(x, y, t) = \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \varepsilon \frac{\partial w}{\partial t}, \quad (1.1)$$

$$\frac{1}{\lambda^2} \frac{\partial^4 F}{\partial x^4} + \lambda^2 \frac{\partial^4 F}{\partial y^4} + 2 \frac{\partial^4 F}{\partial x^2 \partial y^2} + k_y \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + k_x \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{1}{2} L(w, w) = 0.$$

где  $L(w, F) = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y}$ ,  $w, F$  – функция прогиба и функция усилий

соответственно;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $k_y = \frac{1}{R_y}$ ,  $k_x = 0$  – кривизны оболочки по  $x$  и  $y$ .

Поперечное внешнее давление, приложенное к оболочке, будем задавать в виде  $q(x, y, t) = q_0 \sin(\omega_0 t)$ , где  $q_0$  и  $\omega_0$  – амплитуда и частота гармонического возбуждения. Система (1.1) приведена к безразмерному виду с использованием следующих безразмерных параметров (черточка над безразмерными величинами для простоты опущена):

$$w = h\bar{w}, \quad w_0 = h\bar{w}_0, \quad F = Eh^2\bar{F}, \quad t = t_0\bar{t}, \quad \varepsilon = \bar{\varepsilon}/\tau, \quad \tau = \frac{LR}{h} \sqrt{\frac{\gamma}{Eg}}, \quad x = L\bar{x}, \quad y = R\bar{y},$$

$$k_y = \bar{k}_y \cdot h/R^2 \quad (k_x = 0), \quad q = \bar{q} \cdot Eh^4/L^2R^2, \quad p_x = \bar{p}_x \cdot h/L^2, \quad p_y = \bar{p}_y \cdot h/R^2, \quad M = k_y^2, \quad \lambda = L/R,$$

где  $L$  и  $R=R_y$  – длина и радиус оболочки. Здесь  $t$  – время;  $\varepsilon$  – коэффициент сопротивления среды, в которой происходит движение оболочки;  $p_x(y, t), p_y(x, t)$  – продольная нагрузка;  $q(x, y, t)$  – поперечная нагрузка.

К системе (1.1) следует присоединить граничные условия:

Подвижно защемленная заделка по торцам:

$$w = 0; \frac{\partial w}{\partial x} = 0; F = 0; \frac{\partial F}{\partial x} = 0 \quad \text{при } x = 0; 1$$

$$w = g(x, y, t); \frac{\partial w}{\partial y} = p(x, y, t); F = u(x, y, t); \frac{\partial F}{\partial y} = v(x, y, t) \quad \text{при } y = 0; 2\pi. \quad (1.2)$$

Подвижно защемленная оболочка по торцам с присутствием на торцах гибких ребер:

$$w = 0; \frac{\partial w}{\partial x} = 0; F = 0; \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = 0 \text{ при } x = 0; 1$$

$$w = g(x, y, t); \frac{\partial w}{\partial y} = p(x, y, t); F = u(x, y, t); \frac{\partial F}{\partial y} = v(x, y, t) \text{ при } y = 0; 2\pi. \quad (1.3)$$

Шарнирное опирание по торцам:

$$w = 0; \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0; F = 0; \frac{\partial F}{\partial x} = 0 \text{ при } x = 0; 1$$

$$w = g(x, y, t); \frac{\partial w}{\partial y} = p(x, y, t); F = u(x, y, t); \frac{\partial F}{\partial y} = v(x, y, t) \text{ при } y = 0; 2\pi. \quad (1.4)$$

Шарнирное опирание по торцам с присутствием на торцах гибких ребер:

$$w = 0; \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0; F = 0; \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = 0 \text{ при } x = 0; 1$$

$$w = g(x, y, t); \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = r(x, y, t); F = u(x, y, t); \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = z(x, y, t) \text{ при } y = 0; 2\pi. \quad (1.5)$$

Следует также присоединить начальные условия:

$$w(x, y)|_{t=0} = \varphi_1(x, y), \quad \left. \frac{\partial w}{\partial t} \right|_{t=0} = \varphi_2(x, y). \quad (1.6)$$

Для решения системы (1.1)-(1.6) используется метод Бубнова – Галеркина в представлении Фурье. Методы Бубнова – Галеркина к настоящему времени были применены при решении многочисленных задач механики конструкций, динамики сооружений, гидромеханики, теории гидромеханической устойчивости, магнитной гидродинамики, теории тепло- и массообмена, акустики, теории распространения микроволн, теории переноса нейронов и т.п. С помощью представлений Бубнова – Галеркина были проведены исследования обыкновенных дифференциальных уравнений, уравнений в частных производных и интегральных уравнений. Происхождение метода Бубнова – Галеркина обычно связывают с именем выдающегося русского ученого Ивана Григорьевича Бубнова (1872-1919) [64].

### ***О динамических критериях потери устойчивости пологих оболочек***

В задачах динамики при действии на конструкцию переменной во времени нагрузки чрезвычайно важным является вопрос о динамическом критерии потери устойчивости. Кратко остановимся на некоторых критериях динамической устойчивости, предложенных различными авторами. А.С. Вольмир [65] в качестве динамического критерия принимает быстрый рост прогиба при незначительном увеличении нагрузки или появление точки перегиба графика  $q_1(w)$   $\left( \frac{\partial^2 q}{\partial w^2} = 0 \right)$ .

А.С. Шио, Т.Т. Сунг, Д.С. Рот в задачах динамики [56] показывают, что нагрузка, при которой начинается обратный процесс изменения времени, необходимого для достижения первого максимума в зависимости «нагрузка – время», считается критической.

Б.Я. Кантор [69], рассчитывая методом Ритца в высших приближениях осесимметричные сферические оболочки, в качестве динамического критерия принимает, что оболочка

прохлопывает, если прогиб в центре достигает значения, большего относительной высоты оболочки  $K \cong 2\bar{f}$ , где  $\bar{f} = \frac{f}{h}$  – безразмерная высота подъема оболочки над планом.

В работе В.А. Крысько [71] делается анализ устойчивости оболочек и отмечается, что при потере устойчивости оболочки происходит смена знака усилия в срединной поверхности с отрицательного (сжатия) на положительный (растяжение). Обзор работ по динамическим критериям потери устойчивости дается в работе [62].

В работе [67] вводится критерий, согласно которому критическая динамическая нагрузка определяется из условия, что в новое положение равновесия система приходит с нулевой скоростью. Аналогичный подход использован в работе [55]. Суть данного критерия состоит в следующем. В начале нагружения силы инерции препятствуют внешней нагрузке, затем, пройдя через ноль и сменив знак, они начинают сопутствовать внешней нагрузке. При этом ускорение также меняет знак на противоположный. Значит, в некоторый момент времени скорость оболочки становится равной нулю, а затем происходит резкое возрастание прогиба. Момент обращения скорости оболочки в ноль принимается за критический.

В работе [96] предлагается в качестве критерия потери устойчивости такой момент времени, когда деформации упругого тела являются неустойчивыми, то есть такой момент  $t_0$ , когда упругому телу можно дать такое возмущение, при котором поле перемещения изменится без изменения скорости и ускорения.

В некоторых работах предложен подход к задаче определения динамической потери устойчивости, связанный с приведением динамической задачи к квазистатической. Согласно этому подходу докритические усилия в срединной поверхности оболочки определяются с учетом сил инерции из динамических соотношений, в то время как сам процесс выпучивания рассматривается со статических позиций. Такая техника «замораживания во времени» обычно используется в практике для сложных конструкций.

Некоторые авторы в качестве динамического критерия потери устойчивости принимают момент появления пластических деформаций оболочечной конструкции.

В работе [46] для арок показано, что процесс прощелкивания арки характеризуется двумя различными механизмами: «прямым» и «непрямым», или «связанным» прощелкиванием. В первом случае прощелкивание системы происходит, когда неустойчивое состояние равновесия сопровождается по симметричной форме, несимметричные формы оказываются неустойчивыми. Во втором случае потеря устойчивости происходит при сложном взаимодействии симметричной и несимметричной форм системы, т.е. система теряет устойчивость по несимметричной форме. Значит, характер потери устойчивости по симметричной и несимметричной формам совершенно разный и, следовательно, должно существовать два динамических критерия потери устойчивости.

## § 2. Метод исследования – метод Бубнова – Галеркина в представлении Фурье

Как отмечалось выше, мы будем использовать в настоящей работе метод Бубнова-Галеркина в представлении Фурье в высших приближениях [66]. Рассмотрим более подробно аппроксимацию решения, принятую в этих работах, и схему применения метода. Функции  $w$  и  $F$ , являющиеся решениями, приближенно аппроксимируем аналитическим выражением, содержащим конечное число произвольных параметров, и представляем в виде произведения двух функций, зависящих от времени и от координат.

$$w = \sum_{i=0}^{N_1} \sum_{j=0}^{N_2} A_{ij}(t) \varphi_{ij}(x, y), \quad F = \sum_{i=0}^{N_1} \sum_{j=0}^{N_2} B_{ij}(t) \psi_{ij}(x, y). \quad (2.1)$$

Координатные системы  $\{\varphi_{ij}(x, y), \psi_{ij}(x, y)\}$  выберем так, чтобы функции  $\varphi_{ij}(x, y), \psi_{ij}(x, y)$  были для  $\forall i, j$  линейно независимы, непрерывны вместе со своими част-

ными производными до четвертого порядка включительно в области  $\Omega$ , и чтобы  $\varphi_{ij}(x, y), \psi_{ij}(x, y)$  удовлетворяли одному из соответствующих краевых условий, кроме того, требуется, чтобы  $\varphi_{ij}(x, y), \psi_{ij}(x, y)$  обладали свойством полноты. Коэффициенты  $A_{ij}(t)$  и  $B_{ij}(t)$  являются искомыми функциями времени. Для удобства обозначим левые части уравнений системы (1.1)  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  соответственно:

$$\Phi_1(w, F, \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}, \dots) + M \cdot q(x, y, t) = 0, \quad \Phi_2(w, F, \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}, \dots) = 0. \quad (2.2)$$

Применяя процедуру Бубнова – Галеркина к (2.2), получим:

$$\int_0^1 \int_0^{\xi} \Phi_1 \varphi_{rs}(x, y) dx dy + \int_{x_1 y_1}^{x_2 y_2} M q(x, y, t) \varphi_{rs}(x, y) dx dy = 0, \quad (2.3)$$

$$\int_0^1 \int_0^{\xi} \Phi_2 \psi_{rs}(x, y) dx dy = 0, \quad r = 0, 1, \dots, N_1; \quad s = 0, 1, \dots, N_2.$$

С учетом (2.3) уравнения (2.2) запишутся

$$\sum_{rs} [\sum_{ij} A_{ij} \sum_{kl} H_{ijklrs} + \sum_{ij} B_{ij} C_{1,ijrs} + \sum_{ij} A_{ij} W_{ijrs} + M q Q_{rs} + \sum_{ij} A_{ij} \sum_{kl} B_{kl} D_{1,ijklrs} + \sum_{ij} \left[ \frac{d^2 A_{ij}}{dt^2} + \varepsilon \frac{d A_{ij}}{dt} \right] G_{ijrs}] = 0,$$

$$\sum_{rs} [\sum_{ij} A_{ij} C_{2,ijrs} + \sum_{ij} B_{ij} \sum_{kl} P_{ijklrs} + \sum_{ij} A_{ij} \sum_{kl} A_{rs} D_{2,ijklrs}] = 0. \quad (2.4)$$

Здесь знак  $\sum_{rs}[*]$  перед каждым уравнением системы (2.4) указывает, что под данным уравнением понимается система  $rs$  такого вида уравнений, а интегралы процедуры Бубнова – Галеркина имеют вид:

$$H_{ijklrs} = \int_0^1 \int_0^{\xi} \frac{1}{12(1-\mu^2)} \left[ \frac{1}{\lambda^2} \frac{\partial^2 \varphi_{ij}}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \varphi_{kl}}{\partial x^2} + \lambda^2 \frac{\partial^2 \varphi_{ij}}{\partial y^2} \frac{\partial^2 \varphi_{kl}}{\partial y^2} + 2 \frac{\partial^2 \varphi_{ij}}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 \varphi_{kl}}{\partial x \partial y} \right] \varphi_{rs} dx dy,$$

$$C_{1,ijrs} = \int_0^1 \int_0^{\xi} \left[ -k_y \frac{\partial^2 \psi_{ij}}{\partial x^2} - k_x \frac{\partial^2 \psi_{ij}}{\partial y^2} \right] \varphi_{rs} dx dy, \quad C_{2,ijrs} = \int_0^1 \int_0^{\xi} \left[ k_y \frac{\partial^2 \varphi_{ij}}{\partial x^2} + k_x \frac{\partial^2 \varphi_{ij}}{\partial y^2} \right] \psi_{rs} dx dy,$$

$$D_{1,ijklrs} = \int_0^1 \int_0^{\xi} [-L(\varphi_{ij}, \psi_{kl})] \varphi_{rs} dx dy, \quad D_{2,ijklrs} = \int_0^1 \int_0^{\xi} \frac{1}{2} L(\varphi_{ij}, \varphi_{kl}) \psi_{rs} dx dy, \quad (2.5)$$

$$P_{ijklrs} = \int_0^1 \int_0^{\xi} \left[ \frac{1}{\lambda^2} \frac{\partial^2 \psi_{ij}}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \psi_{kl}}{\partial x^2} + \lambda^2 \frac{\partial^2 \psi_{ij}}{\partial y^2} \frac{\partial^2 \psi_{kl}}{\partial y^2} + 2 \frac{\partial^2 \psi_{ij}}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 \psi_{kl}}{\partial x \partial y} \right] \psi_{rs} dx dy,$$

$$G_{ijrs} = \int_0^1 \int_0^{\xi} [-\varphi_{ij} \varphi_{rs}] dx dy, \quad Q_{rs} = \int_{x_1 y_1}^{x_2 y_2} q(x, y, t) \varphi_{rs} dx dy, \quad W_{ijrs} = \int_0^1 \int_0^{\xi} \left[ p_y(x, t) \frac{\partial^2 \varphi_{ij}}{\partial x^2} + p_x(y, t) \frac{\partial^2 \varphi_{ij}}{\partial y^2} \right] \varphi_{rs} dx dy.$$

Интегралы (2.5), за исключением, быть может,  $Q_{rs}$ , если поперечная нагрузка приложена не ко всей поверхности оболочки, вычисляются по всей срединной поверхности оболочки. Здесь  $(x_1, x_2)$  и  $(y_1, y_2)$  – координаты приложения поперечной нагрузки. После применения процедуры Бубнова – Галеркина получена система дифференциальных уравнений в обыкновенных производных относительно функций  $A_{ij}(t)$  и  $B_{ij}(t)$ , записанная в матричной форме:

$$\mathbf{G}(\ddot{\mathbf{A}} + \varepsilon \dot{\mathbf{A}}) + \mathbf{H}\mathbf{A} + \mathbf{W}\mathbf{A} + \mathbf{C}_1\mathbf{B} + \mathbf{D}_1\mathbf{A}\mathbf{B} = \mathbf{Q}q(t),$$

$$\mathbf{C}_2\mathbf{A} + \mathbf{P}\mathbf{B} + \mathbf{D}_2\mathbf{A}\mathbf{A} = 0. \quad (2.6)$$

где  $\mathbf{G} = \|G_{ijrs}\|$ ,  $\mathbf{C}_1 = \|C_{1ijrs}\|$ ,  $\mathbf{C}_2 = \|C_{2ijrs}\|$ ,  $\mathbf{D}_1 = \|D_{1ijklrs}\|$ ,  $\mathbf{D}_2 = \|D_{2ijklrs}\|$ ,  $\mathbf{W} = \|W_{ijrs}\|$ ,  $\mathbf{P} = \|P_{ijrs}\|$ ,  $\mathbf{A} = \|A_{ij}\|$ ,  $\mathbf{B} = \|B_{ij}\|$ ,  $\mathbf{Q} = \|Q_{ij}\|$ .

Далее второе уравнение системы (2.6) разрешается относительно неизвестного коэффициента  $B$  и решается методом обратной матрицы на каждом шаге по времени (2.7):

$$B = [-\mathbf{P}^{-1}\mathbf{D}_2\mathbf{A} - \mathbf{P}^{-1}\mathbf{C}_2]\mathbf{A}. \quad (2.7)$$

Умножая на  $\mathbf{G}^{-1}$  первое уравнение системы (2.6) и обозначая  $\dot{\mathbf{A}} = \mathbf{R}$ , приходим к задаче Коши для нелинейной системы уравнений первого порядка (2.8):

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{R}} = -\bar{\varepsilon}\mathbf{R} - [\mathbf{G}^{-1}\mathbf{C}_1 + \mathbf{G}^{-1}\mathbf{D}_1\mathbf{A}] \cdot \mathbf{B} - \mathbf{G}^{-1}\mathbf{H}\mathbf{A} - \mathbf{G}^{-1}\mathbf{W}\mathbf{A} + q(\bar{t})\mathbf{G}^{-1}\mathbf{Q} \\ \dot{\mathbf{A}} = \mathbf{R} \end{cases} \quad (2.8)$$

Проведенное преобразование возможно, т.к. обратные матрицы  $\mathbf{G}^{-1}$  и  $\mathbf{P}^{-1}$  существуют, если координатные функции линейно независимы. Далее систему (2.8) объединяем с начальными условиями (1.6) и полученную задачу Коши решаем методом Рунге – Кутты четвертого порядка точности. Шаг по времени выбирается по правилу Рунге.

Рассмотрим шарнирно опертую по криволинейному кругу замкнутую цилиндрическую оболочку. Для этого представим  $\varphi_{ij}$ ,  $\psi_{ij}$  из (2.1) в виде произведения двух функций, каждая из которых зависит только от одного аргумента, удовлетворяющих краевым условиям (1.5):

$$w = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=0}^{N_1} A_{ij}(t) \sin(i\pi x) \cos(jy), \quad F = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=0}^{N_2} B_{ij}(t) \sin(i\pi x) \cos(jy). \quad (2.9)$$

Интегралы процедуры Бубнова – Галеркина вычисляются по формулам:

$$I_{1,r} = \int_{x_1}^{x_2} \sin(r\pi x) dx = \frac{\cos(r\pi x_1) - \cos(r\pi x_2)}{r\pi}, \quad I_{2,s} = \int_{y_1}^{y_2} \cos(s\pi y) dy = \frac{\sin(s\pi y_2) - \sin(s\pi y_1)}{s\pi}$$

$$I_{3,ir} = \int_0^1 \sin(i\pi x) \sin(r\pi x) dx = \begin{cases} \frac{1}{2}, & i = r, \\ 0, & i \neq r, \end{cases} \quad I_{4,js} = \int_0^{2\pi} \cos(j\pi y) \cos(s\pi y) dy = \begin{cases} 2\pi, & j = s = 0, \\ \pi, & j = s \neq 0, \\ 0, & j \neq s, \end{cases}$$

$$I_{5,ikr} = \int_0^1 \sin(i\pi x) \sin(r\pi x) \sin(k\pi x) dx = \begin{cases} \frac{1}{4\pi} \left[ -\frac{\cos(\alpha_1\pi)}{\alpha_1} - \frac{\cos(\alpha_2\pi)}{\alpha_2} - \frac{\cos(\alpha_3\pi)}{\alpha_3} - \frac{\cos(\alpha_4\pi)}{\alpha_4} + \right. \\ \left. + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{\alpha_3} - \frac{1}{\alpha_4} \right], & \alpha_v \neq 0; \\ \left[ \frac{\cos(\alpha_v\pi)}{\alpha_v} \approx 0, \frac{1}{\alpha_v} \approx 0 \right], & v = 1, 2, 3, \quad \alpha_v = 0; \end{cases}$$

$$I_{6,jls} = \int_0^{2\pi} \cos(jy) \cos(ly) \sin(sy) dy = 0$$

$$I_{7,ikr} = \int_0^1 \cos(i\pi x) \cos(k\pi x) \sin(r\pi x) dx = \begin{cases} \frac{1}{4\pi} \left[ \frac{\cos(\alpha_1\pi)}{\alpha_1} - \frac{\cos(\alpha_2\pi)}{\alpha_2} - \frac{\cos(\alpha_3\pi)}{\alpha_3} - \frac{\cos(\alpha_4\pi)}{\alpha_4} - \right. \\ \left. - \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{\alpha_3} + \frac{1}{\alpha_4} \right], & \alpha_v \neq 0; \\ \left[ \frac{\cos(\alpha_v\pi)}{\alpha_v} \approx 0, \frac{1}{\alpha_v} \approx 0 \right], & v = 1, 2, 3, \quad \alpha_v = 0; \end{cases}$$

$$I_{8,jls} = \int_0^{2\pi} \sin(jy) \sin(ly) \cos(sy) dy = \begin{cases} \frac{1}{4} \left[ -\frac{\sin(\beta_1\pi)}{\beta_1} + \frac{\sin(\beta_2\pi)}{\beta_2} + \frac{\sin(\beta_3\pi)}{\beta_3} - \frac{\sin(\beta_4\pi)}{\beta_4} + \right. \\ \left. + \frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} - \frac{1}{\beta_3} + \frac{1}{\beta_4} \right], & \beta_v \neq 0; \\ \left[ \frac{\sin(\beta_v\pi)}{\beta_v} \approx 0, \frac{1}{\beta_v} \approx 0 \right], v=1,2,3,4, & \beta_v = 0; \end{cases}$$

Здесь:

$$\alpha_1 = j+k-r, \quad \alpha_2 = k+r-i, \quad \alpha_3 = r+i-k, \quad \alpha_4 = i+k+r, \\ \beta_1 = j+l-s, \quad \beta_2 = l+s-j, \quad \beta_3 = s+j-l, \quad \beta_4 = j+l+s.$$

Далее введем обозначения

$$I_{Q,rs} = I_{1r}I_{2s}, \quad I_{P,rs} = (s^2 p_x(t) + r^2 p_y(t))\pi^2 I_{3,ir}I_{4,js}, \quad I_{AB,rs} = (s^2 k_x + r^2 k_y)\pi^2 I_{3,ir}I_{4,js}, \\ I_{ijklrs} = \pi^2 [(i^2 l^2 + j^2 k^2) I_{5ikr} I_{6jls} - 2ijkl I_{7ikr} I_{8jls}], \quad I'_{rs} = I_{3,ir} I_{4,js}, \\ J_{1,ijkl}^{rs} = \frac{\pi^2}{12(1-\mu^2)} \left[ \frac{r^4}{\lambda^2} + 2r^2 s^2 + \lambda^2 s^4 \right] \cdot I_{3,ir} I_{4,js}, \quad J_{2,ijkl}^{rs} = \left[ \frac{r^4}{\lambda^2} + 2r^2 s^2 + \lambda^2 s^4 \right] \cdot \pi^2 I_{3,ir} I_{4,js}.$$

Тогда с учетом выписанных интегралов итоговая система уравнений (1.1) запишется в виде:

$$\sum_{rs} \left\{ \sum_{ij} \sum_{kl} \left[ J_{1,ijkl}^{rs} A_{ij} + I_{AB} B_{rs} + I_P A_{ij} + I_Q q(t) + A_{ij} B_{kl} I_{ijklrs} + \left( \frac{d^2 A_{ij}}{dt^2} + \varepsilon \frac{dA_{ij}}{dt} \right) I'_{rs} \right] \right\} = 0, \\ \sum_{rs} \left\{ \sum_{ij} \sum_{kl} \left[ J_{2,ijkl}^{rs} B_{ij} + I_{AB} A_{rs} + \frac{1}{2} A_{ij} A_{kl} I_{ijklrs} \right] \right\} = 0. \quad (2.10)$$

### § 3. Достоверность полученных результатов

Достоверность результатов для случая цилиндрической оболочки установлена в работах [84-86]. Кратко остановимся на некоторых результатах.

Изложенный выше алгоритм Бубнова–Галеркина позволяет решать широкий класс задач как статических, так и динамических. Решение статических задач возможно с помощью метода установления, впервые примененного для оболочек В.И. Феодосьевым [101].

Решая задачу Коши при  $\varepsilon = \varepsilon_{кр}$  для ряда значений параметра поперечной постоянной во

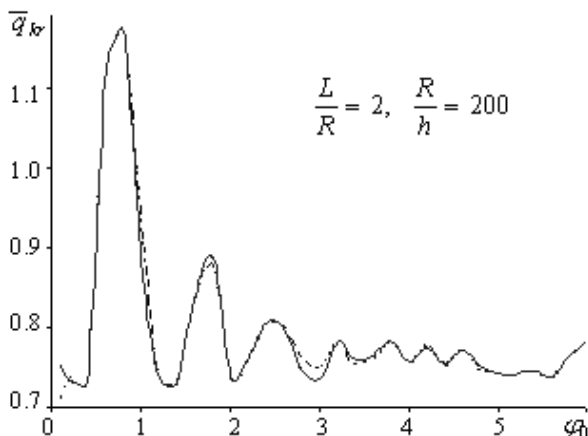


Рис. 3.1. Зависимость критических нагрузок от ширины полосы давления

времени нагрузки, мы получим для  $\{q_i\} \rightarrow \{w_i\}$ , что позволит построить зависимости  $q(w)$  и исследовать напряженно-деформированное состояние конструкции. Воспользуемся этим подходом для замкнутых цилиндрических оболочек с  $\lambda=2$  и сравним результаты с решениями, полученными для статических задач Н.И. Ободан [61]. Рассмотрим случай приложения поперечного внешнего давления, распределенного в пределах полосы с центральным углом  $\varphi_0$ . С этой целью построена зависимость  $\bar{q}_{kr}$  от ширины полосы давления  $\bar{q}_{kr}(\varphi_0)$  при  $N_1=1, N_2=13$  в (2.9) (рис. 3.1).



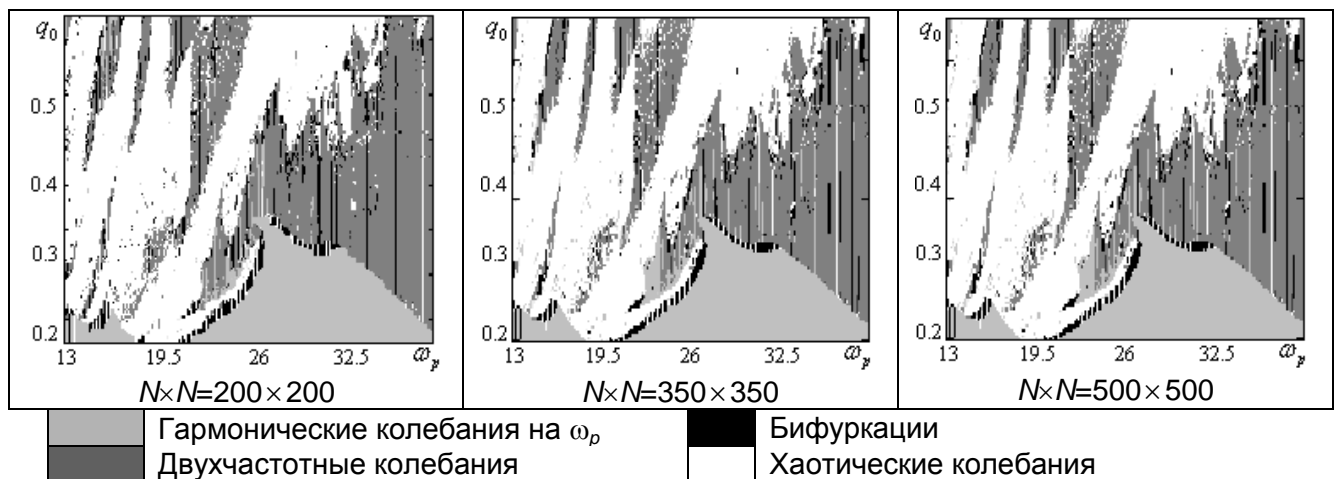
Здесь  $\bar{q}_{kr} = q_{kr} / \tilde{q}_{kr}$ , где  $\tilde{q}_{kr}$  – классическое критическое значение в случае равномерного внешнего давления, которое вычисляется по формуле Мизеса – Папковича. Для получения  $q_{kr}(\varphi_0)$  следует построить для  $\forall \varphi_0 \in [0; 2\pi]$  множество  $\{q_i, w_i\}$ , по которым определяется критическая нагрузка  $q_{kr}$ . Изучим зависимость критических нагрузок от ширины полосы давления  $\varphi_0$ . Зависимость  $\bar{q}_{kr}(\varphi_0)$  носит немонотонный, колебательный характер. При увеличении  $\varphi_0$  от нуля следует серия максимумов и минимумов, начиная с  $\varphi_0 \approx 4,0$ , критические нагрузки колеблются на уровне  $\bar{q}_{kr} \approx 0.75$ .

Чтобы убедиться в достоверности полученных результатов, воспользуемся данными, приведенными в [61]. Зависимость, полученная методом установления в настоящей работе, изображена сплошной линией, а зависимость, полученная в [61] – штриховой линией. Сопоставляя два графика (которые представлены на рис. 3.2), получаем практически полное совпадение результатов с решениями, приведенными в [61], что позволяет судить о достоверности результатов, полученных вышеописанным методом.

### Сходимость метода Бубнова – Галеркина для нестационарной задачи

Исследование сходимости метода Бубнова – Галеркина в представлении Фурье проводилось в работах [87,88,90,92] для случая замкнутой цилиндрической оболочки, в работе [23] – для случая цилиндрической панели и в работе [84] – для сферической панели. Сходимость метода Бубнова – Галеркина анализировалась в зависимости от числа  $N_2$  в ряде (2.9) для цилиндрической оболочки при ширине полосы давления  $\varphi_0 = 6.0$  рад =  $343^\circ$  для  $q_0 = 0,32947$ ,  $\omega_p = 2,3$ . Следуя идее А. Пуанкаре о том, что лучше изучать все многообразие орбит, чем следить за какой-то конкретной, мы построили карту типа колебаний для управляющих параметров  $\{q_0, \omega_p\}$  для  $L = \lambda/R = 2$ . Предварительно исследовался вопрос о сходимости решения при увеличении количества разбиений области  $\{q_0, \omega_p\}$  (см. табл. 3.1).

Таблица 3.1



Условные обозначения для типа колебаний в таблице остаются прежними по мере изложения материала статьи. Расчеты показали, что практическая сходимость достигается для  $N \times N \geq 350 \times 350$ . Такие карты позволяют изучить все многообразие поведения оболочки. Идентификация типа колебаний цилиндрической оболочки при построения карты  $\{q_0, \omega_p\}$  для каждого сигнала  $w(t)$  проводилась с помощью анализа спектра мощности  $S(\omega)$  и ляпуновских показателей. В дальнейшем карта  $\{q_0, \omega_p\}$  разбивалась на  $350 \times 350$  частей.

Проанализируем карты динамических режимов  $\{q_0, \omega_p\}$ , построенные в различных приближениях. На рис. 3.2 приведены 6 таких карт (условные обозначения см. в табл. 3.1).

Так как построение карт основано на анализе спектров мощности и ляпуновских показателей, то эти карты достаточно полно иллюстрируют процесс сходимости спектра мощности и характера колебаний по приближениям.

Таким образом, получаем, что при малых значениях  $N_2$  при одних и тех же значениях амплитуды вынуждающей силы наблюдаем гармонические колебания, зоны хаоса отсутствуют на всех изучаемых частотах ( $N_2=9,10$ ). Далее, с увеличением параметра  $N_2$ , происходит появление обширных зон, как бифуркаций, так и хаотических колебаний, при этом наибольшие области хаоса присутствуют при  $\omega_p \leq \omega_0$  ( $N_2=11$ ). Окончательно получаем сходящийся процесс при  $N_2 \geq 13$ , что подтверждается и вышеописанными исследованиями, т.е. здесь наблюдается сходимость метода при  $N_2=13$  и характера колебаний.

Здесь следует заметить, что в рассматриваемом классе задач увеличение числа степеней свободы приводит не к упрощению характера колебаний, как в модели Лоренца, а к серьезному их усложнению. В работе [90] решена задача истинности хаоса в зависимости от числа мод в (2.9). Получено, что при увеличении числа членов ряда (2.9) колебания механической системы могут перейти от гармонических в хаотические при одних и тех же значениях управляющих параметров  $q_0$  и  $\omega_p$ , но не наоборот.

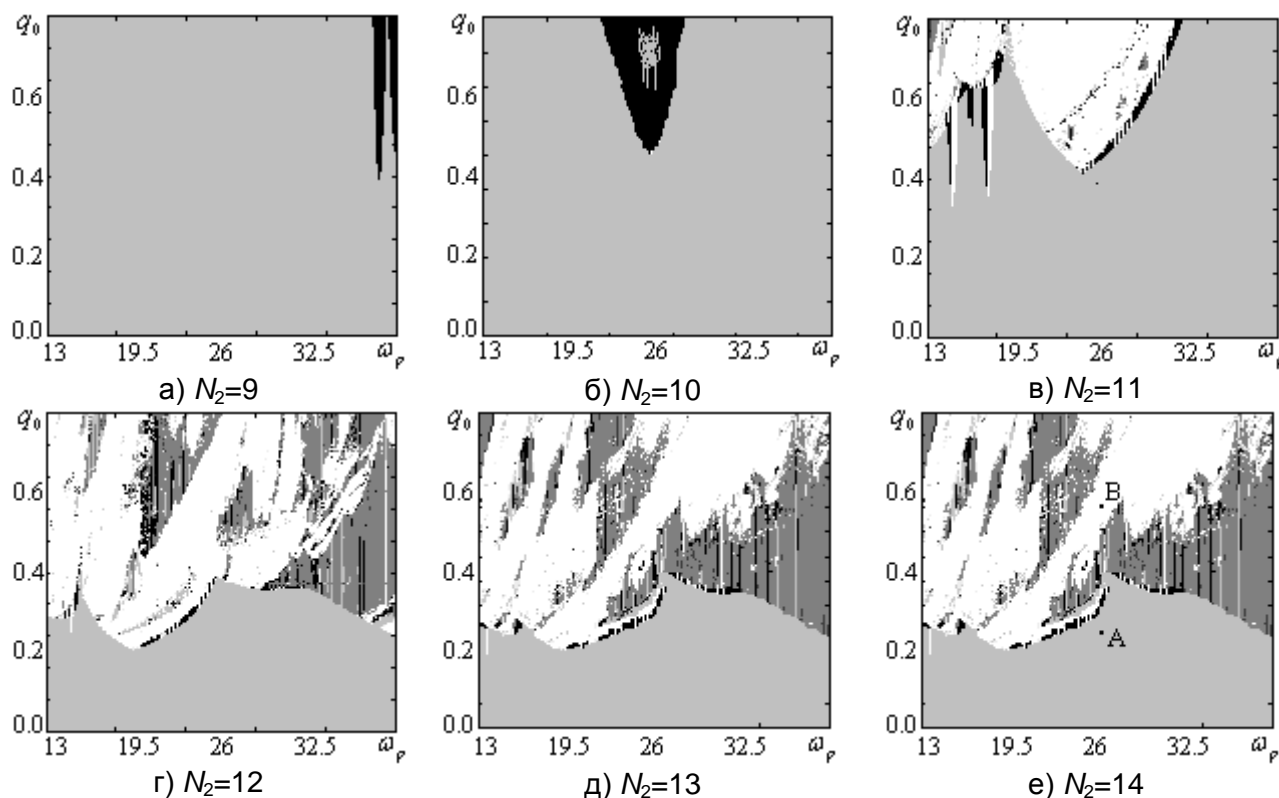


Рис. 3.2. Карты динамических режимов в зависимости от числа приближений  $N_2$  в (2.9)

Проанализируем вклад каждого из коэффициентов  $A_{1j}$  в разложении (2.9) в окончательный результат. Первый индекс принят равным 1, так как в данном случае рассматривается случай приложения полосовой нагрузки на оболочку, в этом случае по продольной координате нагрузка прикладывается ко всей поверхности оболочки и в аппроксимации решения по продольной координате достаточно взять один член ряда. Зафиксируем  $q_0=0,1$ ,  $k_y=112,5$ ,  $\lambda=2$ ,  $\varphi_0=\varphi_2-\varphi_1=6,0$  и рассмотрим зависимости  $A_{1j}(t)$  для  $N_2=13$ . На рис. 3.3 представлены зависимости  $A_{1j}(t)$ . Анализ зависимостей  $A_{1j}(t)$  показывает, что при данном значении  $N_2=13$  основной вклад в общую картину колебаний вносят средние коэффициенты разложения. Также

следует заметить, что характер зависимостей  $A_{1j}(t)$  для каждого  $j$  различен не только по амплитуде колебаний, но и по частоте.

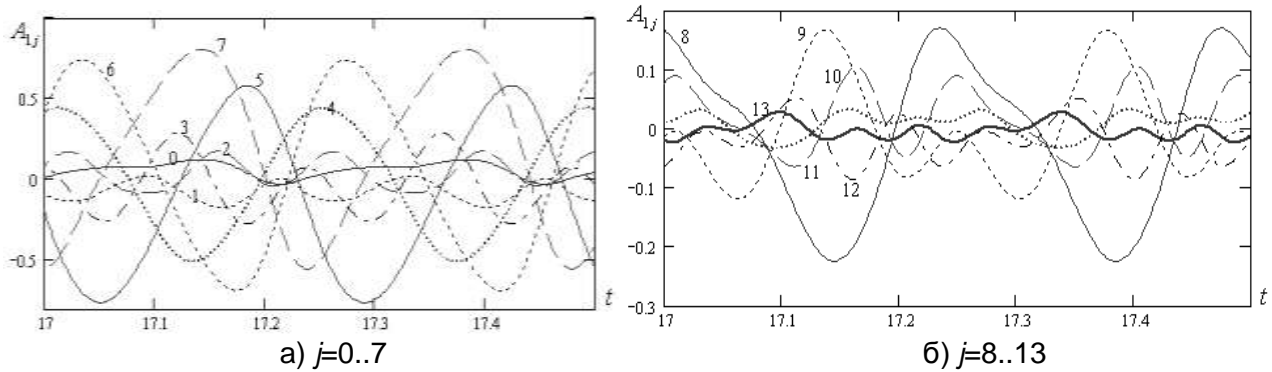


Рис. 3.3. Зависимости  $A_{1j}(t)$  при  $N_2=13$

На рис. 3.4 представлены зависимости  $\max(A_{1j}(q_0))$  для некоторых значений  $j=0, 2, 4, 7, 9, 11, 13$ . При изменении амплитуды нагрузки вклад каждого из коэффициентов в картину колебаний меняется. Так, при малых значениях  $q_0$  основной вклад составляют первые коэффициенты в аппроксимации решения, при увеличении амплитуды нагрузки  $q_0$  основной вклад составляют уже средние коэффициенты разложения. По мере изменения амплитуды  $q_0$  вклад каждого из коэффициентов меняется. Получаем, что старшие коэффициенты вносят существенный вклад в общую картину колебаний системы, т.е. увеличение значения  $N_2$  приводит к существенным уточнениям результатов, и отбрасывание старших коэффициентов в ряде (2.9) приводит к ошибке аппроксимации и, следовательно, к изменению характера динамики системы.

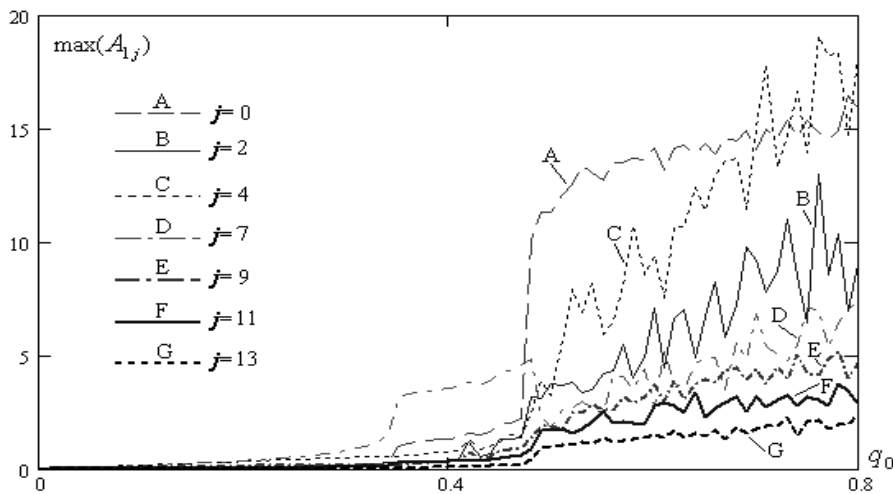


Рис. 3.4. Зависимости  $\max(A_{1j}(q_0))$  при  $N_2=13$

Для анализа поведения оболочки рассмотрим поведение функции усилий для замкнутых цилиндрических оболочек в случае неравномерного внешнего давления. Из теории гибких оболочек известно, что усилия в срединной поверхности определяются следующим образом:

$$N_x = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}, \quad N_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}.$$

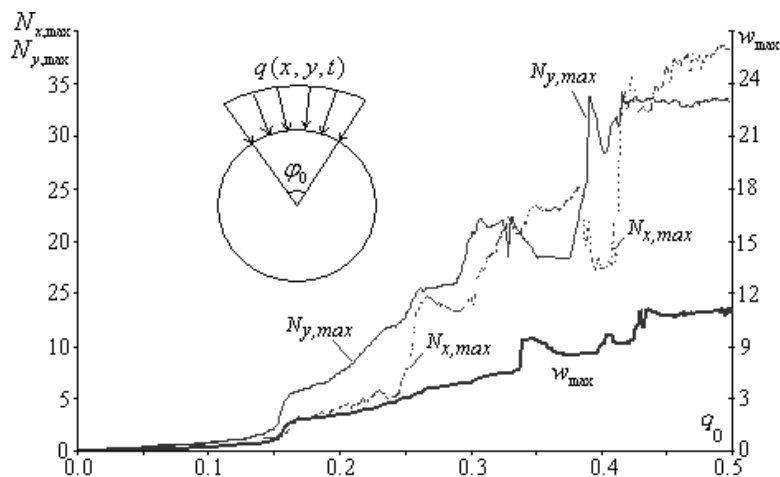


Рис. 3.5. Зависимости  $(N_{x,max}, q_0)$ ,  $(N_{y,max}, q_0)$  и  $(w_{max}, q_0)$

Исследуем зависимости  $(N_{x,max}, q_0)$  и  $(N_{y,max}, q_0)$ . Указанные характеристики приведены на рис. 3.5 (по основной оси), а также приведена зависимость  $(w_{max}, q_0)$  (по вспомогательной оси). Легко заметить, что зависимость  $(N_{y,max}, q_0)$  хорошо согласуется с графиком  $(w_{max}, q_0)$ . Резкому увеличению прогиба при малом изменении нагрузки зависимости  $(w_{max}, q_0)$  (жесткая потеря устойчивости) соответствует резкое увеличение  $N_{y,max}$ .

Приведем зависимость прогиба и усилий от времени. На рис 3.6 представлены такие зависимости  $(w, t)$  (рис. 3.6,а) и  $(N_y, t)$  (рис. 3.6,б) в интервале времени  $t \in [20; 27]$ . Можно заметить, что графики  $(N_{y,max}, q_0)$  и  $(w_{max}, q_0)$  имеют схожий характер поведения и являются зеркалами друг друга. Максимумам функции прогиба соответствуют максимумы функции  $N_{y,max}$ . Функция  $N_y(t)$  подобна  $w(t)$  и имеет тот же период, что и функция прогиба  $w(t)$ . Спектры мощности для  $N_y(t)$  и  $w(t)$  также одинаковы (одночастотные колебания на частоте возбуждения  $\omega_p$ ), т.е. говорить о характере поведения системы (цилиндрической оболочки) можно, анализируя как поведение функции прогиба, так и усилия. Результаты аналогичны.

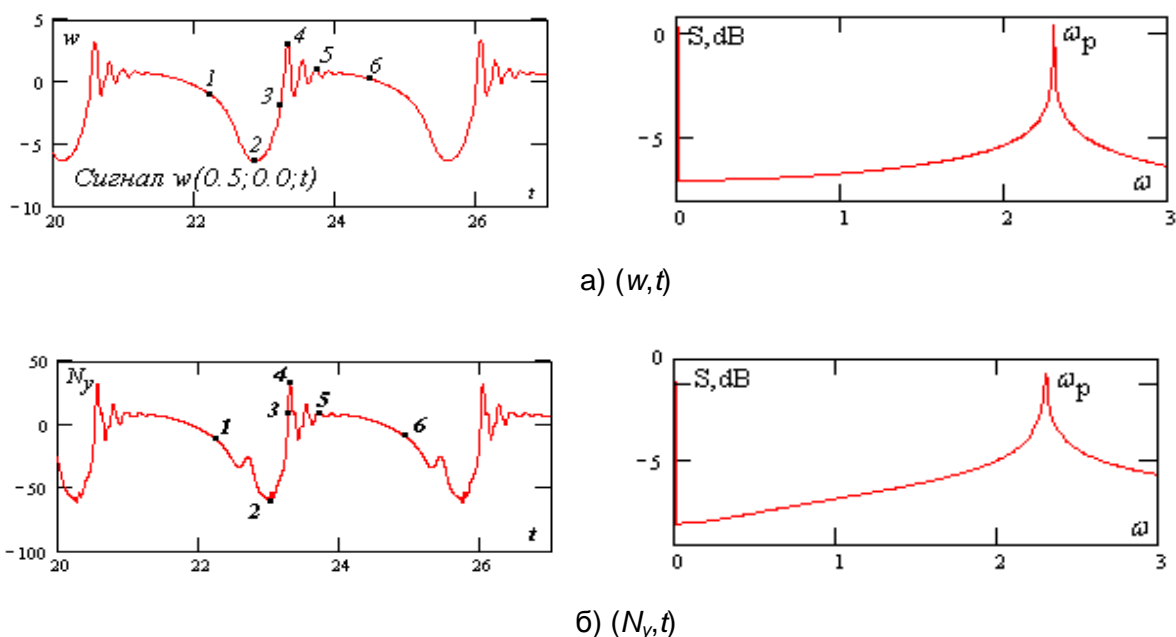


Рис. 3.6. Зависимости  $(w, t)$ ,  $(N_y, t)$  и спектры мощности

Смене знака функции  $N_y$  соответствует хлопок оболочки, так знаку «минус» функции  $N_y$  соответствует сжатие оболочки по окружной координате (отрицательное значение прогиба), а знаку «+» соответствуют, наоборот, положительные прогибы и расширение оболочки. Смена знака сопровождается хлопком. Смена знака происходит через промежуточное положение, когда прогибы оболочки малы и в случае перехода «плюс» → «минус» происходит «дрожание» оболочки около нулевого круга (рис. 3.6, точка 6).

Таблица 3.2

$t_1$	1	2	3	4	5	6
$w$ $x=0,5$ $y \in [0; 2\pi]$						
$w$ $x \in [0; 1]$ $y \in [0; 2\pi]$						
$N_y$ $x=0,5$ $y \in [0; 2\pi]$						
$N_y$ $x \in [0; 1]$ $y \in [0; 2\pi]$						

Чтобы проследить знак усилия и влияние смены этого знака на формы изгиба оболочки, рассмотрим значение усилия и функции прогиба во всех точках по окружной координате при фиксированном значении  $x=0,5$  и в разные фиксированные значения времени, и сопоставим полученные данные (табл. 3.2). Тонкой линией приведены, так же как и далее, сечения в недеформированном состоянии, а жирной – ее деформированное состояние в некоторый момент времени. Во второй и четвертой строках таблицы приведены объемные изменения цилиндрической оболочки и усилия соответственно при  $0 \leq x \leq 1$ ;  $0 \leq y \leq 2\pi$ . Идеально ровный цилиндр соответствует недеформированному состоянию. Моментам времени  $t=1, 2, \dots, 6$  из табл. 3.2 соответствуют точки 1, 2, ..., 6 графиков 3.7, а и 3.7, б. Получаем, что тем областям цилиндрической оболочки, где имеются локальные вмятины, соответствуют области выпучивания функции усилий, и наоборот. Если функция усилий имеет знак «минус», то в центральной точке окружности  $A$  ( $x=0,5$ ;  $y=\pi$ ) прогибы отрицательные, т.е. оболочка сжимается, аналогично для знака «плюс» – оболочка расширяется, прогибы положительные.

**§ 4. Анализ сложных колебаний замкнутых цилиндрических оболочек**

Аналізу складних коливань замкнутих циліндричних оболонок кругового сечення кінцевої довжини присвячені роботи [55-61]. В цих роботах досліджуються коливання циліндричної оболонки під дієюм полосової і рівномірно розподіленої знакоперемінної періодичної навантаження  $q(t) = q_0 \sin(\omega_0 t)$ , де  $q_0$  і  $\omega_0$  – амплітуда і частота гармонічного возбудження і сценарії переходу даної механічної системи в хаос при різних кутах розворота полоси навантаження і геометричних параметрів оболонки.

В нашіє часе відомо декілька таких сценаріїв переходу коливань просторових конструкцій в виде балок, пластин і оболонок в просторово-часовому хаосі. Це сценарій Ландау [98], сценарій Фейгенбаума [37], сценарій Рюэля – Такенса – Ньюхауза [52], сценарій Помо – Манневіля [47].

Авторами нашої роботи були виявлені нові сценарії переходу в хаос коливань оболонки при дієм полосової навантаження по полосі  $\varphi_0=343^\circ$ ,  $\varphi_0=180^\circ$  і  $\varphi_0=90^\circ$  [55,57,58,64]. Встановлено, що сценарій суттєво залежить від ширини полоси тиснення. Для отримання сценарія переходу в хаос при дієм зовнішньої періодичної навантаження досліджені наступні основні характеристики: залежність  $w_{\max}(q_0)$ , сигнал  $w(0.5,0.0;t)$ , фазовий портрет  $w(w')$ , спектр потужності  $S(\omega)$ , сечення Пуанкаре  $(w_t, w_{t+T})$ , де  $T$  – період вимушеної сили, в залежності від граничних значень  $q_0$ .

В роботі [88] виявлено декілька особливостей. Система переходить в стан хаосу через послідовність удвоєння + утроєння періоду і навпаки, т.е. для розподілених систем в виде замкнутих циліндричних оболонок присутствує збільшення періоду з парним і непарним його числом. Наблюдалась перемежаємость хаос – хаос – хаос. Жестка втрата стійкості супроводжувалась появою незалежної частоти в спектрі потужності або виникновієм бифуркацій удвоєння і утроєння періоду. В роботі [43] були виявлені невеликі зони в областях хаосу, де працює сценарій Фейгенбаума (перехід в хаос через каскад удвоєнь). Теоретичне значення вираховується по наступній формулі:

$$d_n = \frac{q_{0,n} - q_{0,n-1}}{q_{0,n+1} - q_{0,n}} = 4.66916224.....$$

Виявлено послідовність з 4 бифуркацій удвоєння,

поэтому возможно получить константу Фейгенбаума с высокой точностью, совпадающую с известным теоретическим значением на 99,98% (табл. 4.1).

Таблица 4.1

$n$	1	2	3	4
$q_{0,n}$	0.49906371389	0.49980112	0.499962922	0.499997579
$d_n$		4.55766531564	4.66853210413	

В роботі [90] виявлено новий сценарій переходу просторових коливань механічної системи від гармонічних в хаотическіє через дві незалежні частоти і їх лінійні комбінації. Також виявлені невеликі зони в множині керуючих параметрів  $\{q_0, \omega_p\}$ , де перехід в хаос здійснюється по сценарію Фейгенбаума. В табл. 4.2 наведені 6 знайдених в роботі бифуркацій для циліндричної оболонки і отримано значення константи Фейгенбаума. При цьому отримане значення розходиться з відомим теоретичним значенням на 0.14%.

Таблица 4.2

$n$	1	2	3	4	5	6
$q_{0,n}$	0.3182705	0.45605	0.5663	0.58527	0.589	0.5898
$d_n$		1.249701.....	5.811808...	5.085791...	4.6625...	

При исследовании хаотических колебаний в данной работе [86] не строились диаграммы бифуркаций, как это обычно делается при исследовании функций в случае широкого класса двузначных отображений интервала в себя, а строилась шкала бифуркаций, которая зависит от  $\{q_0, \omega_p\}$  при фиксированном значении  $\omega_p$ .

В [97] разработан еще один новый сценарий перехода колебаний оболочки в состояние хаоса, который основан на известном сценарии Фейгенбаума и сценарии Рюэля – Такенса – Ньюхауза, этот новый модифицированный сценарий в работе [91] назван сценарием Рюэля – Такенса – Фейгенбаума. Выявлена последовательность из 4 бифуркаций удвоения периода. Вычислена константа Фейгенбаума. При малых значениях амплитуды нагрузки наблюдаем двухчастотные колебания на двух независимых частотах  $\omega_1$  и  $\omega_p$ . Движение не синхронизированное, т.е.  $\frac{\omega_p}{\omega_1} = \frac{m}{n} = 6.0483877$  – иррационально. Далее, все четыре бифуркации Хопфа возникают вместе с независимой частотой колебаний  $\omega_1$ .

В [89] исследовались сложные колебания замкнутых цилиндрических оболочек при действии знакопеременного давления, приложенного по полосе шириной  $\varphi_0 = \pi/2$ . Система при ширине полосы давления  $\varphi_0 = \pi/2$  переходит в состояние хаоса через последовательность независимых частот, их линейных комбинаций и первой бифуркации Хопфа. Это приводит к явлению потери устойчивости оболочки.

Работа [68] является также обобщением предыдущих работ, в ней проведено сравнение полученных новых сценариев при приложении поперечной нагрузки по полосам  $\varphi_0 = 343^\circ$ ,  $\varphi_0 = 180^\circ$ ,  $\varphi_0 = 90^\circ$  и по двум полосам, каждая шириной  $\varphi_{01} = \varphi_{02} = 90^\circ$ , описанных в работах [88-90]. Для определения тех значений  $\varphi_0$ , при которых цилиндрическая оболочка менее всего подвержена хаотическим колебаниям, строились зависимости длины зоны хаоса от параметра  $\varphi_0 \cdot \ell(\varphi_0)$  при равенстве остальных условий, и анализировалась эта зависимость совместно с критическими нагрузками  $q_{kr}(\varphi_0)$  для каждого  $\varphi_0$ . Длина зон хаоса вычислялась с использованием шкалы характера колебаний для каждого конкретного значения  $\varphi_0$ . На рис. 4.1 и 4.2 приведены эти графики.

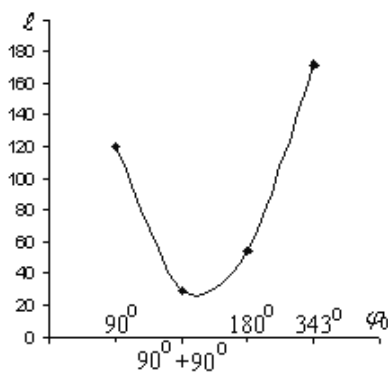


Рис. 4.1. Зависимость  $\ell(\varphi_0)$

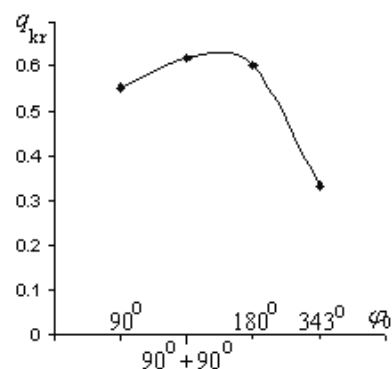


Рис. 4.2. Зависимость  $q_{kr}(\varphi_0)$

Зависимость  $\ell(\varphi_0)$  носит немонотонный, колебательный характер. При движении по параметру  $\varphi_0$  наблюдаем минимум хаоса при  $\varphi_{01} = \varphi_{02} = 90^\circ$ . Замечено, что при  $\varphi_0 = 180^\circ$  и при делении полосы на две равные полосы, длина зоны хаоса меняется не существенно, тем не менее, двухполосное приложение внешнего давления является более предпочтительным. Максимум длины зоны хаоса наблюдается при ширине полосы давления в  $\varphi_0 = 343^\circ$ . Сопоставляя зависимости  $\ell(\varphi_0)$  и  $q_{kr}(\varphi_0)$ , получено, что чем больше длина зоны хаоса в шкале колебаний, тем меньше критическая нагрузка.

Следует построить для изученных значений ширины полосы давления  $q_0$  карты характера колебаний в зависимости от управляющих параметров  $\{q_0, \omega_p\}$  (рис. 4.3). Эти карты позволяют изучить все многообразие поведения оболочки. Получаем, что характер колебаний существенно зависит от угла загрузки. При малых значениях  $q_0$  суммарная площадь зоны хаоса достаточно велика и состоит из двух подобластей, соответствующих значениям частоты  $\omega_p < \omega_0$  и  $\omega_p > \omega_0$ . При увеличении зоны загрузки оболочки получаем уменьшение площади области хаоса и смещение на низкие и средние частоты.

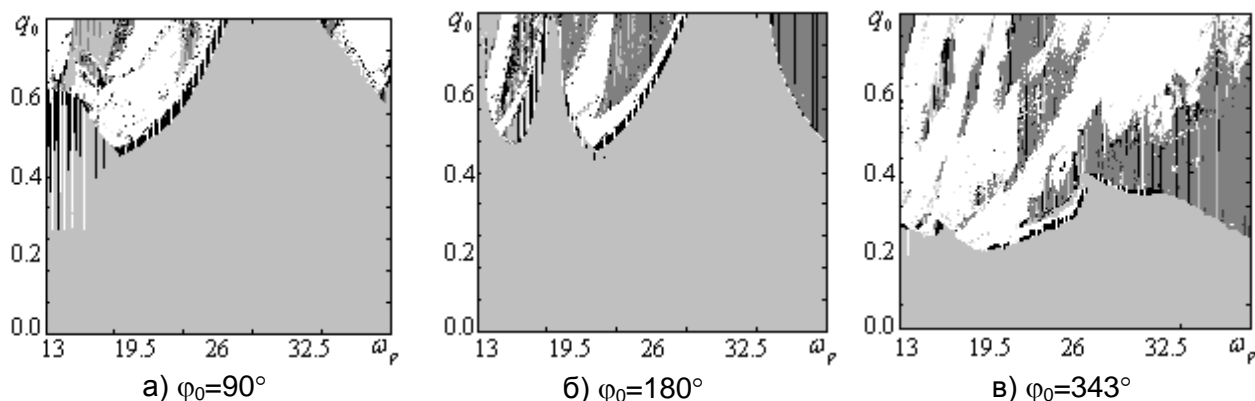


Рис. 4.3. Карты динамических режимов для цилиндрической оболочки при  $\lambda=2$

При большой площади внешнего давления области хаоса рассредоточены по всей карте, но большая часть сосредоточена при  $\omega_p < \omega_0$ , при этом суммарная площадь зон хаоса существенно велика, также значительны области бифуркаций Андронова – Хопфа, которые сосредоточены при  $\omega_p > \omega_0$ . Подробно сценарии перехода в хаос колебаний цилиндрической оболочки в зависимости от ширины полосы давления  $q_0$  описаны в работах [88-90].

Таким образом, управляя шириной полосы внешнего давления, можно влиять на характер колебаний цилиндрической оболочки и переводить колебания указанной механической системы из хаотических в регулярные, или хаотические, но с другими свойствами (эволюция хаос – гипер-хаос – гипер-гипер-хаос).

В работах [87,90] проанализирована эволюция странного аттрактора с изменением управляющих параметров (амплитуды  $q_0$  и частоты  $\omega_p$  вынуждающей силы). В вышеописанных сценариях были выявлены два возможных пути развития: эволюция с сохранением первоначальной топологической структуры или резкие (бифуркационные) изменения этой структуры. Первому варианту соответствует возникновение (разрушение) бифуркаций Хопфа, утроения (упятиречения) периода колебаний системы. Резкие (бифуркационные) скачки сопровождаются появлением независимой частоты колебаний или, наоборот, связаны с исчезновением второй частоты и новой перестройкой системы – переходом на одночастотные колебания.

В работе [86] при исследовании перехода в хаос замкнутых цилиндрических оболочек при действии знакопеременного внешнего давления, приложенного по полосе  $q_0=180^\circ$ , выделяется ряд особенностей, характерных для такого типа систем при динамическом нагружении. Система переходит в состояние хаоса через последовательность удвоение + утроение периода и наоборот, то есть для распределенных систем в виде замкнутых цилиндрических оболочек при неоднородном поперечном периодическом воздействии присутствует увеличение периода с четным и нечетным его числом (табл. 4.3). В таблице представлены такие характеристики колебаний, как сигнал  $w(t)$ , фазовый портрет  $w(w')$ , спектр мощности  $S(\omega)$ , сечение Пуанкаре  $w_i(w_{i+T})$ , модальный портрет  $w(w_{yy})$  и формы волнообразования цилиндриче-

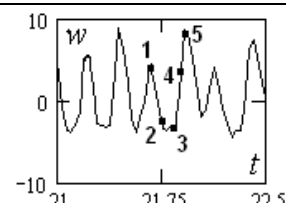
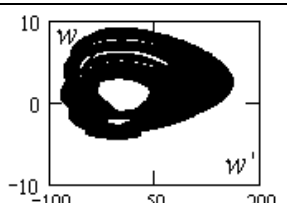
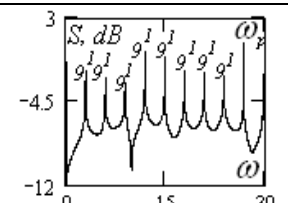
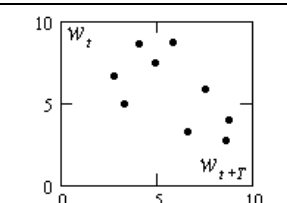
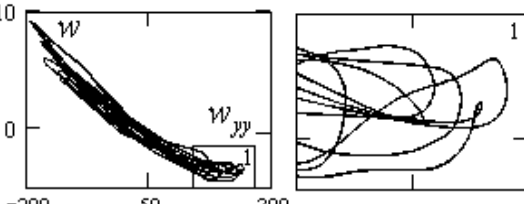







ской оболочки в пространстве в различные значения времени для явления 9-кратного увеличения периода колебаний.

Все характеристики колебаний находятся в соответствии друг с другом. Так, при возникновении в спектре явления 9-кратного увеличения периода колебаний в сечении Пуанкаре возникает 9 точек, а в модальном портрете наблюдаем 9-кратные предельные циклы. Заметим, что явление 9-кратного увеличения периода подтверждается теоремой А.Н. Шарковского [102]: Пусть  $I$  – конечный или бесконечный интервал в пространстве  $R$ . Предположим, что отображение  $f: I \rightarrow I$  непрерывно. Если существует точка  $f_0$  периода  $n$ , то существует точка  $f$  периода  $k$  для  $\forall k \in Z$ , причем  $k > n$  из следующего списка (называемого упорядочением Шарковского):

- 3, 5, 7, 9, ...
- 2·3, 2·5, 2·7, 2·9, ...
- 2<sup>2</sup>·3, 2<sup>2</sup>·5, 2<sup>2</sup>·7, 2<sup>2</sup>·9, ...
- 2<sup>3</sup>·3, 2<sup>3</sup>·5, 2<sup>3</sup>·7, 2<sup>3</sup>·9, ...

Таблица 4.3

Сигнал $w(t)$	Фазовый портрет $w(w')$	Спектр мощности $S(\omega)$	Сечение Пуанкаре $w_t(w_{t+T})$	
				
Модальный портрет $w(w_{yy})$				
				

В спектральной области после перехода механической системы к хаосу и появления движений мелких масштабов форма спектра мощности принимает вид, характерный для процессов с каскадом энергии вверх по спектру.

Также в этой работе [86] выявлен новый критерий жесткой потери устойчивости оболочки: жесткая потеря устойчивости сопровождается появлением независимой частоты в спектре мощности или возникновением бифуркаций удвоения и утроения периода.

Далее перейдем к рассмотрению влияния геометрических размеров оболочки на сложные колебания замкнутой цилиндрической оболочки при фиксированной ширине полосы давления  $\varphi_0 = 6.0 \text{ рад} = 343^\circ$ . Выберем несколько значений параметра  $\lambda$ : 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8. Для каждого из них будут построены следующие характеристики: сигнал  $w(t; x_0; y_0)$ , фазовый портрет  $w(w')$ , спектр мощности  $S(\omega)$ , сечение Пуанкаре  $w_t(w_{t+T})$ , где  $T$  – период коле-

баний вынуждающей силы в центральной точке оболочки  $(x_0, y_0) = (0, 5; \pi)$ . Вместе с тем исследуются зависимость  $w_{\max}(q_0)$  при фиксированном значении частоты вынуждающей силы  $\omega_p = \omega_0$  ( $\omega_0$  – частота собственных линейных колебаний) и шкала характера колебаний. Для исследования пространственных колебаний изучались формы волнообразования цилиндрической оболочки при  $0 \leq x \leq 1; 0 \leq y \leq 2\pi$  и формы поперечного сечения  $x = 0,5; 0 \leq y \leq 2\pi$ .

Изучение зависимостей  $w_{\max}(q_0)$  для каждого  $\lambda$  позволяет установить зоны жесткой потери устойчивости и тем самым выявить критерий динамической потери устойчивости для оболочек указанного типа. С помощью шкал характера колебаний оболочки можно проследить процесс перехода колебаний от гармонических в хаотические и определить сценарии. На рис. 4.4, 4.5 представлены такие зависимости. Условные обозначения приведены на рис. 4.5.

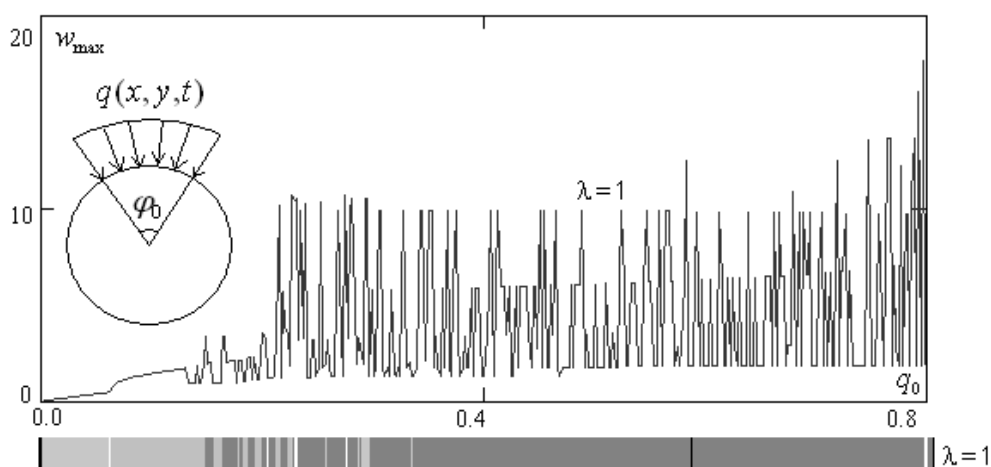


Рис. 4.4. Зависимость  $w_{\max}(q_0)$  и шкала характера колебаний для  $\lambda = 1$

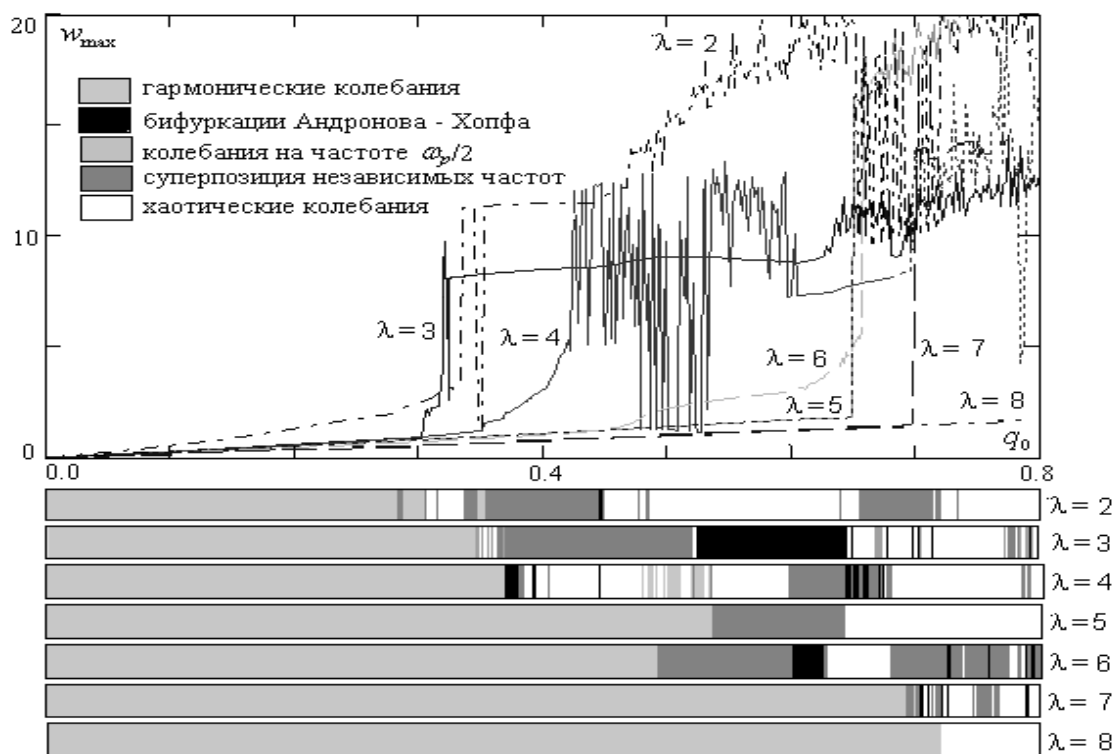
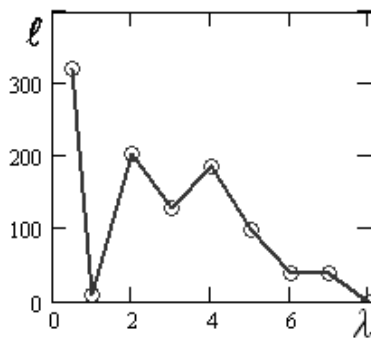
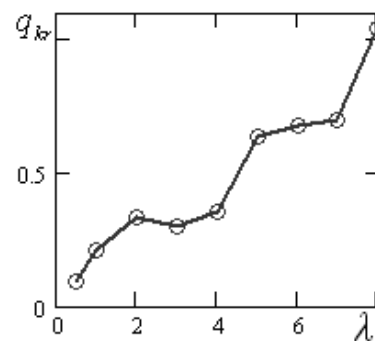


Рис. 4.5. Зависимости  $w_{\max}(q_0)$  и шкалы характера колебаний для контрольных значений  $\lambda$

Для всех параметров  $\lambda$  можно выделить некоторые общие свойства. Так, жесткая потеря устойчивости обязательно сопровождается сменой характера колебаний, «дрожанию» графиков  $w_{\max}(q_0)$  соответствуют зоны хаоса на шкалах колебаний, при увеличении  $q_0$  от 0 следует большая зона гармонических колебаний, которой на графике  $w_{\max}(q_0)$  соответствует плавный рост прогибов.

Для определения тех значений  $\lambda$ , при которых цилиндрическая оболочка менее всего подвержена хаотическим колебаниям, построим зависимости длины зоны хаоса от параметра  $\lambda$  при равенстве остальных условий и рассмотрим эту зависимость вместе с критическими нагрузками для каждого  $\lambda$ . Длина зон хаоса вычисляется с использованием шкалы характера колебаний для каждого конкретного значения  $\lambda$ . На рис. 4.6 и 4.7 приведены эти графики. Зависимости  $q_{kr}(\lambda)$  и  $\ell(\lambda)$  носят немонотонный колебательный характер. При движении по параметру  $\lambda$  от 0 в зависимости  $\ell(\lambda)$  следует два локальных минимума и два локальных максимума, в зависимости  $q_{kr}(\lambda)$  – один локальный минимум и один локальный максимум. После  $\lambda \geq 4$  наблюдаем монотонно убывающую зависимость в  $\ell(\lambda)$ , что соответствует монотонно возрастающему участку на графике  $q_{kr}(\lambda)$ . Таким образом, получаем, что для длинных оболочек ( $\lambda \geq 4$ ) при увеличении критической нагрузки зона хаоса уменьшается, т.е. чем меньше критическая нагрузка для оболочки, тем больше площадь хаотических колебаний. Для коротких и средних оболочек зависимости  $q_{kr}(\lambda)$  и  $\ell(\lambda)$  не монотонны.

Рис. 4.6. Зависимость  $\ell(\lambda)$ Рис. 4.7. Зависимость  $q_{kr}(\lambda)$ 

Следовательно, динамические критические нагрузки существенно зависят от относительной длины оболочки и различны для коротких ( $\lambda < 4$ ) и длинных ( $\lambda \geq 4$ ) оболочек. Следовательно, одним из возможных способов управления колебаниями механической системы и увеличения величины динамической критической нагрузки может служить изменение ее геометрических размеров при равенстве остальных условий.

Анализируя все вышесказанное, приходим к выводу о том, что жесткая потеря устойчивости сопровождается возникновением первой бифуркации Хопфа и переходом на колебания на частоте  $\omega_0/2$ . Т.е., механизм перехода через точку потери устойчивости одинаков. Исключение составляют лишь два случая:  $\lambda=1$  – при жесткой потере устойчивости колебания переходят от гармонических одночастотных к квазипериодическим двухчастотным колебаниям;  $\lambda=6$  – наоборот, происходит переход от двухчастотных колебаний к хаотическим колебаниям на частоте возбуждения.

Следовательно, сценарии перехода от гармонических колебаний в хаотические существенно зависят от относительной длины оболочки и различны для коротких ( $\lambda < 4$ ) и длинных ( $\lambda \geq 4$ ) оболочек. На рис. 4.8 представлены карты характера колебаний  $\{q_0, \omega_p\}$  в зависимости от управляющих параметров  $\{q_0, \omega_p\}$  для различных значений длины оболочки  $\lambda$  при  $\varphi_0=6$ . Анализ этих карт еще раз подтверждает утверждение о том, что тип колебаний суще-

ственно зависит от длины цилиндрической оболочки. Следовательно, одним из возможных способов управления колебаниями механической системы может служить изменение ее линейных размеров при равенстве остальных условий.

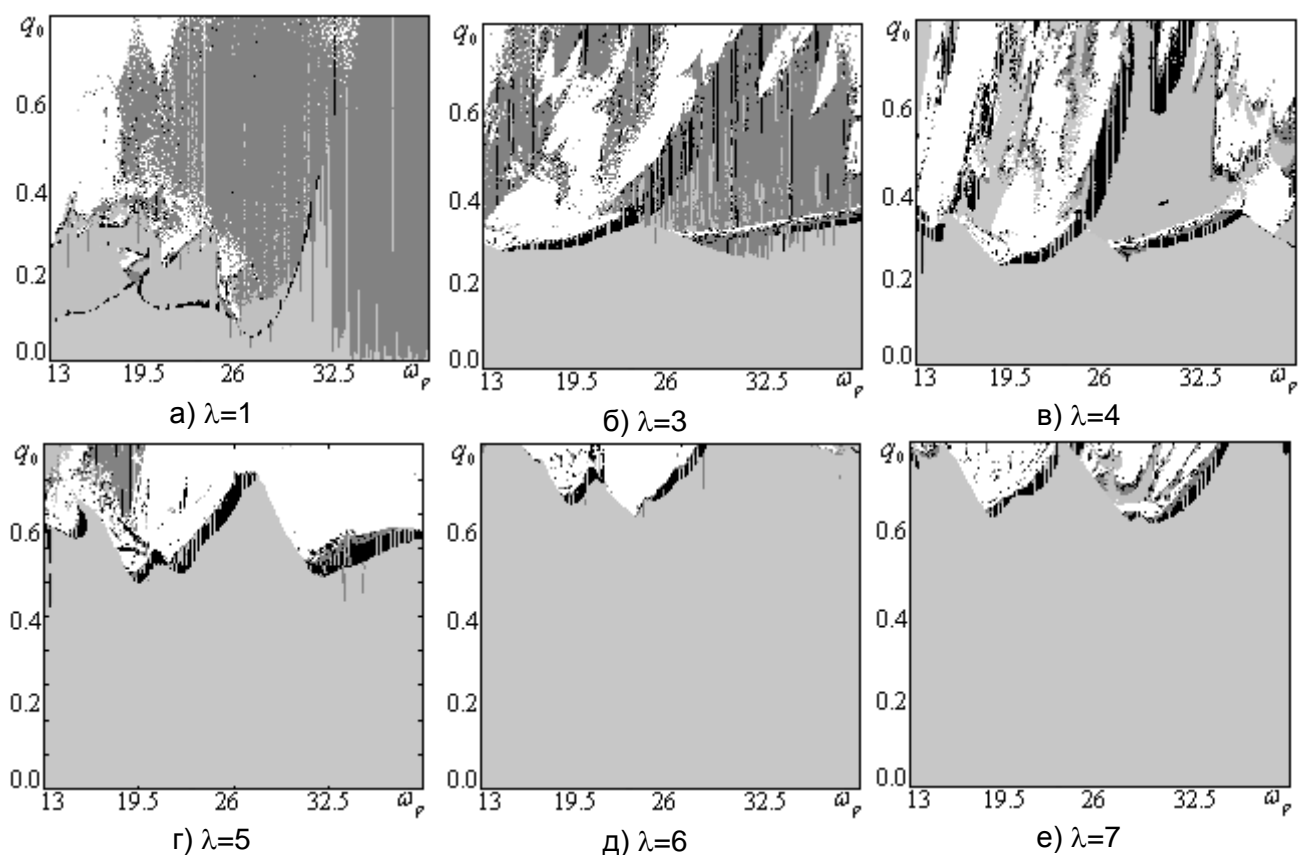


Рис. 4.8. Карты динамических режимов для цилиндрической оболочки при  $q_0=6$

Важным вопросом в изучении динамики цилиндрических оболочек является вопрос о выявлении их колебаний в зависимости от различных случаев нагружения. Этот вопрос рассматривался в работах [87,90], где изучались три различных случая нагружения замкнутой цилиндрической оболочки поперечным внешним давлением:

1.  $q=q_0$ ,  $\varepsilon=0$  – импульс бесконечной продолжительности во времени, внешнее давление не зависит от времени  $t$  и отсутствует диссипация системы;
2.  $q=q_0$ ,  $\varepsilon=\varepsilon_{kr}$  – статическая задача;
3.  $q=q_0 \sin(\omega_p t)$ ,  $\varepsilon=9$  – знакопеременная нагрузка,  $\omega_p$  – собственная частота линейных колебаний.

Исследована зависимость критических нагрузок для цилиндрической оболочки от типа приложенного внешнего давления (рис. 4.9). Сравнивая полученные результаты, можно заметить, что в случае приложения внешнего давления, не зависящего от времени, явление динамической потери устойчивости происходит приблизительно при одной амплитуде давления. Но в случае действия импульса бесконечной продолжительности во времени, после потери устойчивости оболочка находится в состоянии «хлопок – выхлоп», т.е. следует серия явлений потерь устойчивости. В случае статической задачи максимальные прогибы оболочки после потери устойчивости начинают равномерно убывать. Глобальная потеря устойчивости в случае знакопеременного давления происходит при большей амплитуде, и далее следует еще одна потеря устойчивости, после чего колебания стабилизируются, а затем переходят в состояние хаоса.

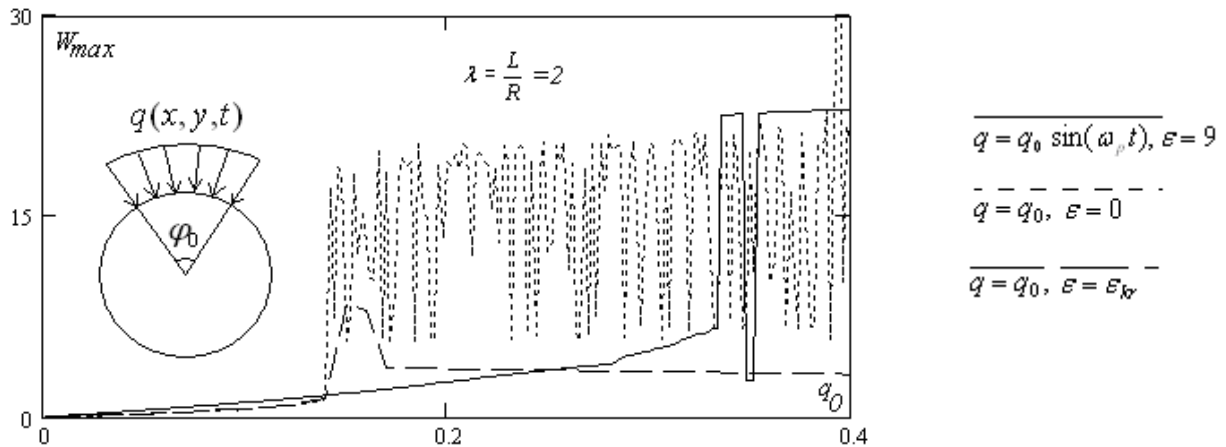


Рис. 4.9. Зависимости  $w_{max}(q_0)$  для трех типов нагрузок

Таким образом, получено, что при определении критических нагрузок для задач статики и действия импульса бесконечной продолжительности во времени, значения этих нагрузок при различных значениях параметра  $\lambda$  практически совпадают и существенно отличаются от критических нагрузок в случае действия поперечного внешнего давления, изменяющегося по гармоническому закону. Это утверждение справедливо для различных значений ширины полосы приложенного давления.

В сложных колебаниях замкнутых цилиндрических оболочек чрезвычайно важным вопросом является вопрос управления колебаниями таких конструкций. Этому вопросу посвящена работа [91], где предложен способ управления хаосом путем преобразования хаотического поведения системы в регулярное или хаотическое, но с другими свойствами, с помощью малых целенаправленных продольных знакопеременных периодических воздействий  $p_y(x, t) = p_0(x) \sin(\omega_p t)$ , а также действия внешней поперечной нагрузки в противофазе. Установлено, что приложение продольной нагрузки приводит к смене типа колебаний механической системы, причем изменение может происходить как от хаотических колебаний к гармоническим (или к возникновению бифуркаций Андронова – Хопфа), так и наоборот, т.е. гармонических колебаний к хаосу (рис. 4.10).

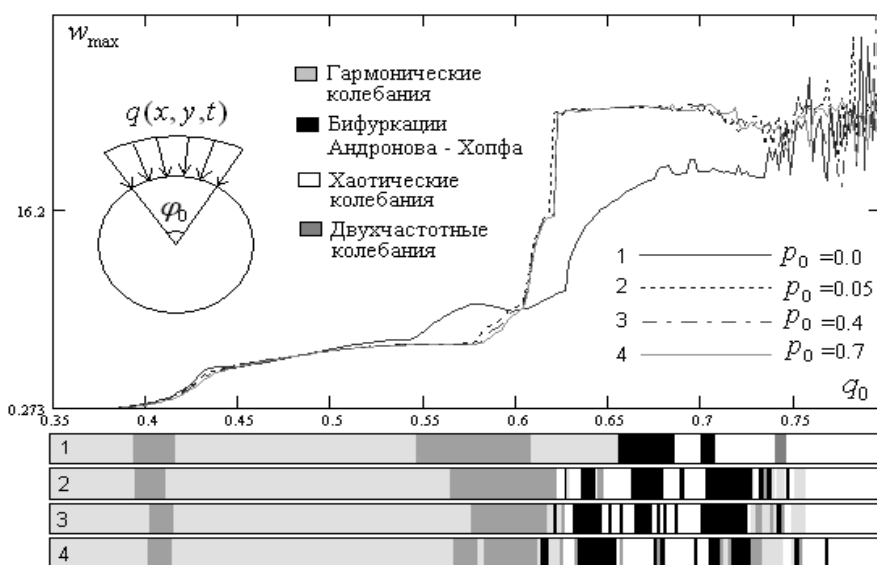


Рис. 4.10. Зависимости  $w_{max}(q_0)$  и шкалы характера колебаний

Таким образом, выводя систему из состояния хаоса при одних значениях нагрузки, можем получить хаотические колебания при других. Во втором случае получено снижение критических нагрузок для механической системы и уменьшение закритического прогиба. Также удалось снизить области хаотических колебаний, переведя их в гармонические.

В работе представлено действие продольной знакопеременной нагрузки на множестве частот колебаний  $\{\omega_0 - \omega_0/2; \omega_0 + \omega_0/2\}$ . (рис. 4.11, а, б). Для этого построены карты характера колебаний для множества управляющих параметров  $\{q_0, \omega_p\}$ .

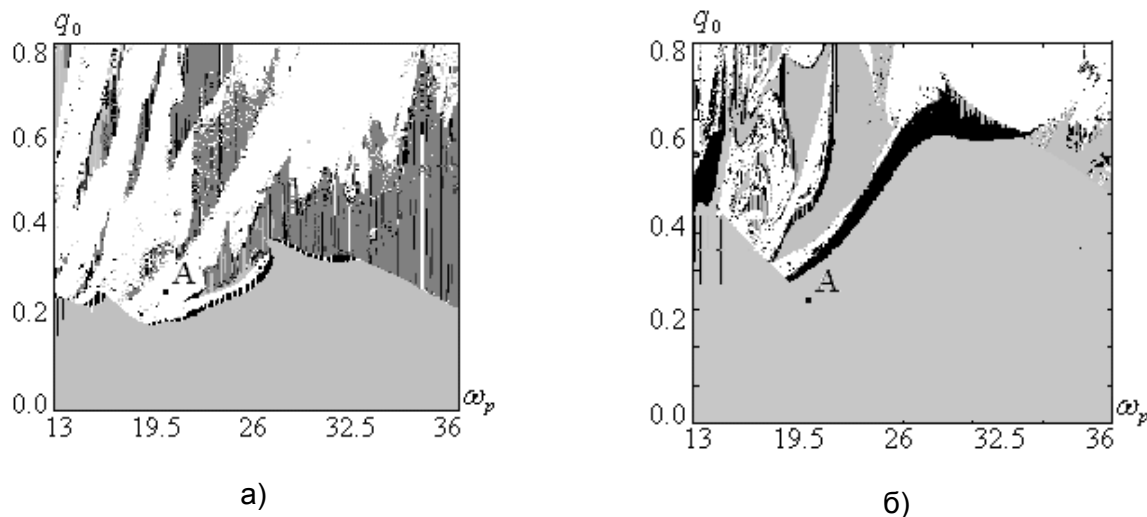


Рис. 4.11. Карты динамических режимов для цилиндрической оболочки с  $\lambda=5$  при  $\varphi_0=343^\circ$ : а) действие поперечной нагрузки  $q=q_0 \sin(\omega_p t)$ ; б) совместное действие поперечной нагрузки  $q(t)=q_0 \sin(\omega_p t)$  и продольной нагрузки  $q_y(t)=10 \sin(\omega_p t)$

Очевидно, что дополнительное параметрическое воздействие приводит к существенным изменениям в общей картине колебаний. Так, удалось существенно уменьшить области хаотических колебаний на низких частотах, а также на высоких частотах. Возросли зоны гармонических колебаний, особенно на высоких частотах. При этом увеличилась амплитуда поперечной нагрузки  $q_0$ , при которой возникает первое появление хаотических колебаний с  $q_0=0,18$  до  $q_0=0,3$ . Однако существуют точки карты, которые находились в зоне гармонических колебаний до дополнительного приложения продольной нагрузки, которые перешли в область хаотических колебаний после приложения продольного давления.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что приложение продольной нагрузки совместно с поперечным внешним давлением приводит к смене типа колебаний механической системы на всех изученных частотах, причем изменение может происходить как от хаотических колебаний к гармоническим, так и наоборот, т.е. от гармонических колебаний к хаосу. Таким образом, выводя систему из состояния хаоса при одних значениях нагрузки, можем получить хаотические колебания при других.

В работе [89] изучаются статические и динамические задачи теории цилиндрических

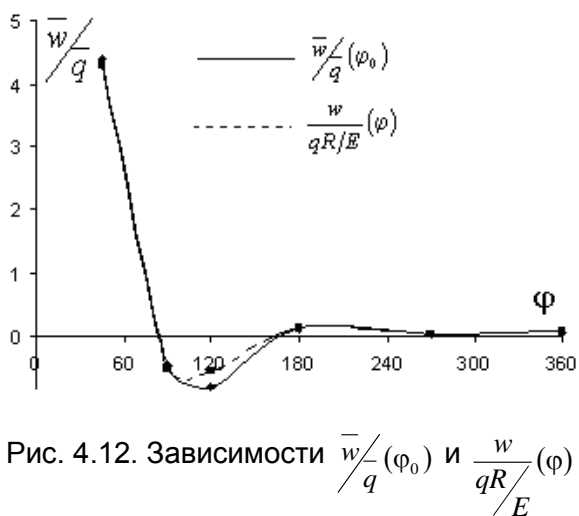


Рис. 4.12. Зависимости  $\frac{\bar{w}}{q}(\varphi_0)$  и  $\frac{w}{qR/E}(\varphi)$

оболочек при поперечном неравномерном нагружении. Задачи исследуются двумя методами: аналитически (в рядах) и методом Бубнова – Галеркина в высших приближениях. Показано хорошее совпадение результатов, полученных обоими методами для линейных стационарных задач, это позволяет утверждать, что результаты, полученные с помощью метода Бубнова – Галеркина, обладают высокой точностью, что дает возможность распространить метод Бубнова – Галеркина на решение более сложного класса математических задач, описывающих динамические нелинейные механические системы. На рис. 4.12 приведены зависимости

$\frac{w}{qR/E}(\varphi)$  (аналитическое решение) и  $\frac{\bar{w}}{\bar{q}}(\varphi)$  (численное решение), где  $\bar{w}$  и  $\bar{q}$  – безразмерные

прогиб и нагрузка. Были также сопоставлены численное решение, полученное с помощью метода Бубнова – Галеркина в высших приближениях, и аналитическое решение для некоторых контрольных углов загрузки, и вычислены относительные погрешности результатов. Таким образом, максимальная погрешность составила 8%. Исходя из данных, приведенных на рис. 4.12, можно заключить, что результаты численного эксперимента практически совпадают с аналитическим решением, что позволяет судить о достоверности полученных данных. Относительная погрешность складывается из погрешности численных методов (метод обратной матрицы, метод Рунге – Кутты, метод установления) и погрешности вычислений. Для геометрически нелинейных задач статики и динамики решения получены методом Бубнова – Галеркина в высших приближениях. Анализ примеров полного нелинейного расчета задач статики указывает на значительное расхождение полученных результатов с соответствующими данными, полученными на линейной модели. Выполнение нелинейного расчета позволяет существенно уточнить поведение конструкций при внешнем давлении и рассчитать критическое внешнее давление для данного типа механических систем.

При исследовании динамических нелинейных систем переход через точку динамической потери устойчивости сопровождается сменой характера колебаний. Таким образом, критическая точка характеризует не только быстрое изменение (рост) прогибов при малом изменении внешней нагрузки, но также и качественное изменение поведения системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Amabili M. Non-linear vibrations of simply supported circular cylindrical shells coupled to quiescent fluid / M. Amabili, F. Pellicano, M.P. Paidoussis // *Journal of Fluids and Structures*. 1998. № 12. P. 883-918.
2. Amabili M. Addendum to «Non-linear vibrations of simply supported circular cylindrical shells coupled to quiescent fluid» / M. Amabili, F. Pellicano, M.P. Paidoussis // *Journal of Fluids and Structures*. 1998. № 13. P. 785-788.
3. Amabili M. Non-linear dynamic and stability of circular cylindrical shells containing flowing fluid. Part I: stability / M. Amabili, F. Pellicano, M.P. Paidoussis // *Journal of Sound and Vibration*. 1999. № 225. P. 655-699.
4. Amabili M. Non-linear dynamic and stability of circular cylindrical shells containing flowing fluid. Part II: large-amplitude vibration without flow / M. Amabili, F. Pellicano, M.P. Paidoussis // *Journal of Sound and Vibration*. 1999. № 228. P. 1103-1124.
5. Amabili M. Non-linear dynamic and stability of circular cylindrical shells containing flowing fluid. Part III: truncation effect without flow and experiments / M. Amabili, F. Pellicano, M.P. Paidoussis // *Journal of Sound and Vibration*. 2000. № 237. P. 523-556.
- 6/ Amabili M. Non-linear dynamic and stability of circular cylindrical shells containing flowing fluid. Part IV: large-amplitude vibration with flow / M. Amabili, F. Pellicano, M.P. Paidoussis // *Journal of Sound and Vibration*. 2000. № 237. P. 617-640.
- 7/ Amabili M. Non-linear vibrations and multiple resonances of fluid-filled, circular shells. Part 1: equations of motion and numerical results / M. Amabili, F. Pellicano, A.F. Vakakis // *Journal of Vibration and Acoustics*. 2000. № 122. P. 346-354.

8. Amabili M. Non-linear vibrations and multiple resonances of fluid-filled, circular shells. Part 2: perturbation analysis / M. Amabili, F. Pellicano, A.F. Vakakis // *Journal of Vibration and Acoustics*. 2000. № 122. P. 355-364.
9. Arnold V.I. *Mathematical Methods of Classical Mechanics* / V.I. Arnold // New York: Springer-Verlag, 1978. 421 p.
10. Awrejcewicz J. Analysis of complex parametric vibrations of plates and Shells using Bubnov-Galerkin approach / J. Awrejcewicz, A.V. Krysko // *Archive of Applied Mechanics*. 2003. № 72. P. 495-503.
11. Awrejcewicz J. Spatial-temporal chaos an solutions exhibited by von Karman model / J. Awrejcewicz, V.A. Krysko, A.V. Krysko // *Int. J. Bifurcation Chaos*. 2002. Vol. 12, № 7. P. 1445-1513.
12. Awrejcewicz J. Neoclassical Thermoelastic Problems in Nonlinear Dynamics of shells. Application of the Bubnov-Galerkin and Finite Difference Numerical Methods / J. Awrejcewicz, V.A. Krysko // Berlin, New-York, London, Paris, Tokyo. Springer-Verlag, 2003. 430 p.
13. Awrejcewicz J. Nonlinear coupled problems in dynamics of shells / J. Awrejcewicz, V.A. Krysko // *Int. Journal of Engineering Science*. 2003. № 41. P. 583-607.
14. Awrejcewicz J. Solutions and haos exhibited by flexible plates sinusoidally excited Non-linear Dynamics. Chaos / J. Awrejcewicz, V.A. Krysko, A.V. Krysko // *Control and Their Applications to Engineering Sciences*. Brazil. San-Paulo, 2000. Vol. 5. P. 258-267.
15. Awrejcewicz J. Feigenbaum Scenario Exhibited by Thin Plate Dynamics / J. Awrejcewicz, V.A. Krysko // *Nonlinear Dynamics*. 2001. № 24. P.373-398.
16. Awrejcewicz J. Complex Parametric Vibration of Flexile Rectangular Plates / J. Awrejcewicz, V.A. Krysko, A.V. Krysko // *Mecanica*. 2004. № 39. P.221-224.
17. Awrejcewicz J. Regular and chaotic behavior of flexible plates / J. Awrejcewicz, V.A. Krysko, A.V. Krysko // *Third International Conference on Thin-Walled Structures: Advances and developments*. London, 2001. P. 349-356.
18. Awrejcewicz J. Solution exhibited by the Von Karman equations / J. Awrejcewicz, V.A. Krysko, A.V. Krysko // *Proceedings of the Seventh PAN American Congress of Applied Mechanics*. Chile. 2002. Vol. 9. P. 653-659.
19. Awrejcewicz J. Spatial – Temporal Chaos and Solutions Exhibited by von Karman Model / J. Awrejcewicz, V.A. Krysko, A.V. Krysko // *International Journal of Bifurcation and Chaos in Applied Sciences and Engineering*. 2002. Vol. 12. № 7. P. 1465-1513.
20. Awrejcewicz J. Symmetric and non-symmetric oscillations and bifurcations of periodically excited plates with non-homogeneous boundary conditions / J. Awrejcewicz, V.A. Krysko, A.V. Krysko // *Fouth International Colloquium of Computation of Shell & Spatial Structures*. Chania-Crete. Greece, 2000. P. 1-9.
21. Awrejcewicz J. Bifurcations of a Thin Plate-Strip Excited Transversally and Axially / J. Awrejcewicz, V.A. Krysko, G.G. Narkaitis // *Nonlinear Dynamics*. Kluwer Academic Publisher. 2003. № 32. P.187-209.
22. Awrejcewicz J. Vibration analysis of the plates and shells of moderate thickness / Awrejcewicz, V.A. Krysko // *J. Techn. Phys*. 1999. № 3. P. 277-305.
23. Awrejcewicz J. Parametic vibrations of flexible cylindrical shells /J.Awrejcewicz, V.A.Krysko, N.E. Saveleva // *III International symposium Trends in Continuum Physics: International Conference* / Posnan. Poland, 2004. P. 234-242.
24. Awrejcewicz J. *Nonlinear Dynamics of Continuous Elastic Systems* / J. Awrejcewicz, V.A. Krysko, A.F. Vakakis. Berlin, New-York, London, Paris, Tokyo. Springer-Verlag, 2004. 356 p.
25. Azrar L. *Semi-analytical and Asymptotic-numerical Methods for Non-linear Vibrations. Applications to large amplitude vibrations of beams and plates* / L. Azrar. Ph.D. Thesis, Ecole Mohammadia d'Ingenieurs Rabat, Morocco, 1999. 192 p.



26. Bbennouna M. K. Non-linear Dynamic Behaviour of a Clamped-clamped Beam with Consideration of Fatigue Life / M. K. Bbennouna. Ph.D. Thesis, University of Southampton, England, 1982. 184 p.
27. Benamar R. Memoire de Certificat Pre'paratoire a la Recherche. Comportement dynamique nonlineaire des plaques minces rectangulaires encastrees aux grandes amplitudes / R. Benamar // Ecole Mohammadia d'Ingenieurs, Rabat: Morocco, 1986. P. 913-934.
28. Benamar R. Non-linear Dynamic Behavior of Fully Clamped Beams and Rectangular Isotropic and Laminated Plates / R. Benamar. Ph.D. Thesis, University of Southampton, England, 1990. 254 p.
29. Benamar R. The effects of large vibration amplitudes on the mode shapes and natural frequencies of thin elastic structures. Part I: simply supported and clamped-clamped beams / R. Benamar, M.M. Bennouna, R.G. White // Journal of Sound and Vibration. 1991. № 149. P. 179-195.
30. Benamar R. The effects of large vibration amplitudes on the mode shapes and natural frequencies of thin elastic structures. Part II: fully clamped rectangular isotropic plates / R. Benamar, M.M. Bennouna, R.G. White // Journal of Sound and Vibration. 1993. № 164. P. 295-316.
31. Benamar R. The effects of large vibration amplitudes on the mode shapes and natural frequencies of thin elastic structures. Part III: fully clamped rectangular isotropic plates – measurements of the mode shape amplitude dependence and the spatial distribution of harmonic distortion / R. Benamar, M.M. Bennouna, R.G. White // Journal of Sound and Vibration. 1994. № 175. P. 377-395.
32. Bennouna M.M. The effects of large vibration amplitudes on the fundamental mode shape of a clamped-clamped uniform beam / M.M. Bennouna, R.G. White // Journal of Sound and Vibration. 1984. № 96. P. 309-331.
33. Chen J.C. Non-linear vibration of cylindrical shells / J.C. Chen, C.D. Babcock // American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal. 1975. № 13. P. 868-876.
34. Chiricov B.V. A universal instability of many-dimensional oscillator systems / B.V. Chiricov // Physics Reports. 1979. № 52. P. 263-379.
35. Clarkson B.L. Review of sonic technology / B.L. Clarkson // NASA Contractor Report 4587, Langley Research Centre, Hampton, 1994. P. 46-78.
36. Evensen D.A. Non-linear vibrations of circular cylindrical shells / D.A. Evensen, Y.C. Fung, E.E. Sechler // Thin Walled Structures: Theory, Experiment and Design. Englewood Cliffs. Prentice-Hall, 1974. P. 133-155.
37. Feigenbaum M.J. Quantitative Universality for a Class of Nonlinear Transformation / M.J. Feigenbaum // J. Stat. Phys. 1978. Vol. 19. № 1. P. 25-52.
38. Han W. Geometrical non-linear vibration analysis of thin, rectangular plates using the hierarchical finite element method: the fundamental mode of isotropic plates / W. Han, M. Petyt // Computers and Structures. 1997. № 63. P. 295-308.
39. Ibrahim R.A. Structural modal multifurcation with internal resonance. I-Deterministic approach. II-Stochastic approach / R.A. Ibrahim, A.A. Afaneh, B.H. Lee // Journal of Vibration and Acoustics. 1993. № 115. P. 182-201.
40. Krysko V.A. Stochastic vibrations of flexible flat axisymmetric shells exposed inhomogeneous loading / V.A. Krysko, I.V. Kravtsova // Dynamical of System – Theory and Applications: International Conference. Lodz. Poland, 2003. P. 189-197.
41. Krysko V.A. On the solution of a coupled thermomechanical problem for non-homogeneous Timoshenko-type shells / V.A. Krysko, J. Awrejcewicz, V.M. Bruk // J. Math. Appl. 2003. № 273. P. 409-416.
42. Krysko V.A. Bifurcations of Thin Plate-Strip Excited Transversally and Axially / V.A. Krysko, J. Awrejcewicz, G.G. Narkaitis // Nonlinear Dynamics. 2003. № 32. P. 87-209.

43. Krysko V.A. Ruelle – Takens – Feigenbaum’s Scenario and Counting of Feigenbaum’s constant / V.A. Krysko, N.E. Saveleva // Dynamics of system – theory and applications: International Conference. Lodz. Poland, 2003. P. 243-253.

44. Krysko V.A. Complicated vibrations spherical and conical variable thickness shells / V.A. Krysko, T.V. Tschekaturova // Dynamics of system – theory and applications: International Conference. Lodz. Poland, 2003. P. 585-603.

45. Leissa A. W. Vibration of Shells / A.W. Leissa // NASA SP-2SS, Reprinted 1993, by the Acoustical Society of America. 1973. P. 201-218.

46. Lock M.H. Snapping of a Shallow Sinusoidal Arch under a Step Pressure Load / M.H. Lock // AIAA Journal. 1966. Vol. 4. № 7. P. 379-428.

47. Manneville P. Physica / P. Manneville, Y. Pomeau. 1980. Vol. 1D. P. 219-228.

48. Moussaoui F. The effect of large vibration amplitudes on the mode shapes and natural frequencies of thin elastic shells, coupled transverse-circumferential mode shapes of an isotropic circular cylindrical shells / F. Moussaoui, R. Behamar // Second International Conference on Applied Mathematics and Engineering Sciences. London, 1998. P. 872-883.

49. Moussaoui F. The effect of large vibration amplitudes on the mode shapes and natural frequencies of thin elastic shells. Part I: coupled transverse-circumferential mode shapes of isotropic circular cylindrical shells of infinite length / F. Moussaoui, R. Behamar, R.G. White // Journal of Sound and Vibration. 2000. № 232. P. 917-943.

50. Nayfeh A.H. Non-linear Oscillations / A.H. Nayfeh, D.T. Mook // New York: John Wiley & Sons, 1979. 621 p.

51. Non-linear analysis of the space shuttle super-lightweight LO<sub>2</sub> tank. Part II: behaviour under 3g end-of-flight loads / M.P. Nemeth, R.D. Young, T.J. Collins, J.H. Starnes // Proceedings of the Structures, Structural Dynamics and Material Conference. 1998. P. 345 – 368.

52. Ruelle D. On the Nature of Turbulence / D. Ruelle, F. Takens // Comp. Math. Phys. 1971. Vol. 20. № 2. P. 167-192.

53. Sathyamoorthy M. Large amplitude vibrations of certain deformable bodies. Part I: disc, membranes and rings / M. Sathyamoorthy, K.A. Pandalai // Journal of the Aeronautical Society of India. 1972. № 24. P. 409-414.

54. Sathyamoorthy M. Large amplitude vibrations of certain deformable bodies. Part II: plates and shells / M.Sathyamoorthy, K.A. Pandalai // Journal of the Aeronautical Society of India. 2001. № 25. P. 1-10.

55. Sathyamoorthy M. Non-linear vibrations of plates – a review / M. Sathyamoorthy, K.A. Pandalai // Shock Vibration Digest. 1983. № 15. P. 3-16.

56. Shian A.C. Dynamic Buckling of conical shells with Imperfection / A.C. Shian, T.T. Soong, D.S. Roth // AIAA Journal, 1974. Vol. 12. № 6. P. 24-30.

57. Thomson J.M.T. Non-linearity and Chaos in Engineering Dynamics / J.M. Thomson, S.R. Bishop // Centre for Non-linear Dynamics, University College London. John Wiley & Sons, 1994. P. 1112-1176.

58. White R.G. Effects of non-linearity due to large deflections in the resonance testing of structures / R.G. White // Journal of Sound and Vibration. 1971. № 16. P. 255-267.

59. White R.G. Developments in the acoustic fatigue design process for composite aircraft structures / R.G. White // Composite Structures. 1990. № 16. P. 171-192.

60. Wolfe H.F. An Experimental Investigation of Non-linear Behavior of Beams and Plate Excited to High Levels of Dynamics Response / H. F. Wolfe. Ph.D. Thesis, University of Southampton, England, 1995. 201 p.

61. Андреев Л.В. Устойчивость оболочек при неосесимметричной деформации / Л.В. Андреев, Н.И. Ободан, А.Г. Лебедев. М.: Наука, 1988. 208 с.

62. Баутин Н.Н. Поведение динамических систем вблизи границ области устойчивости состояний равновесия и периодических движений / Н.Н. Баутин, Л.П. Шильников // Бифуркация рождения цикла и ее приложения. М.: Мир, 1984. С. 143-147.
63. Бахтиева Л.У. Исследование устойчивости тонких оболочек и пластин при динамических нагрузках: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук / Л.У. Бахтиева. Казань, 1981. 16 с.
64. Бубнов И.Г. Строительная механика корабля / И.Г. Бубнов. СПб.: Издание Морского министерства, 1912. 330 с.
65. Вольмир А.С. Устойчивость упругих систем / А.С. Вольмир. М.: Физматгиз, 1963. 880 с.
66. Галеркин Б.Г. Метод решения уравнений в представлении Фурье в высших приближениях / Б.Г. Галеркин // Вестник инженеров. 1915. № 19. С. 897-908.
67. Даревский В.М. Устойчивость оболочек при динамической нагрузке / В.М. Даревский // Тр. VII Всесоюз. конф. по теории оболочек и пластин. М.: Наука, 1970. С. 68-79.
68. Десятова А.С. Компьютерное моделирование стохастических колебаний балок, сферических, секториальных и цилиндрических оболочек / А.С. Десятова, И.В. Кравцова, Н.Е. Савельева // Федеральная итоговая научно-техническая конференция творческой молодежи по естественным, техническим и гуманитарным наукам. М.: МИЭМ, 2003. С. 10-11.
69. Кантор Б.Я. Нелинейные задачи теории неоднородных пологих оболочек / Б.Я. Кантор. Киев: Наукова думка, 1971. 136 с.
70. Киреева О.Н. Математические модели сложных нелинейных колебаний балок при наличии ограничений на прогиб: дис. ... канд. физ.-мат. наук / О.Н. Киреева. М., 2002. 121 с.
71. Крысько А.В. Математическое моделирование нелинейных распределенных систем в виде пластинчатых конструкций: дис. ... докт. физ.-мат. наук / А.В. Крысько. М., 2003. 347 с.
72. Крысько А.В. О нелинейных параметрических колебаниях гибких пологих оболочек и пластин / А.В. Крысько // Прикладная механика. Киев. 2003. Т. 39. № 9. С. 25 – 37.
73. Крысько А.В. Динамика цилиндрических панелей при действии продольных знакопеременных нагрузок (консервативные и диссипативные системы) / А.В. Крысько, С.А. Мицкевич, Ю.В. Чеботаревский // Нелинейная динамика механических и биологических систем. Саратов: СГТУ, 2000. С. 219-227.
74. Крысько В.А. Выпучивание гибких пластин под действием продольных и поперечных нагрузок / В.А.Крысько, С.А.Комаров, Н.В. Егурнов // Прикладная механика. 1996. Т. 32. № 9. С. 80-87.
75. Крысько В.А. Стохастические колебания сферических осесимметричных оболочек (метод Ритца) / В.А.Крысько, Т.В. Щекатурова // Нелинейные колебания механических и биологических систем: труды Междунар. конф. / Саратов: СГТУ, 2003. С. 49-62.
76. Крысько В.А. Стохастические колебания конических оболочек переменной толщины / В.А. Крысько, Т.В. Щекатурова // Известия вузов. Машиностроение. 2004. № 5. С. 3-13.
77. Крысько В.А. Пространственно-временной хаос в балках, пластинках и оболочках / В.А. Крысько, А.В.Крысько, Ю.В. Чеботаревский // VIII Всерос. съезд по теоретической и прикладной механике. Пермь, 2001. С. 369-370.
78. Крысько В.А. Сложные симметричные колебания и бифуркации пластинок при действии продольных знакопеременных нагрузок / В.А. Крысько, Т.А. Вахлаева, А.В. Крысько // Вестник Н.-Новгородского государственного университета. Механика. 2000. Вып. 2. С. 153-160.
79. Крысько В.А. Метод флуктуационного анализа с исключённым трендом (DFA) в теории нелинейных колебаний осесимметричных конических оболочек / В.А. Крысько, Н.П. Ерофеев, Т.В. Щекатурова // Нелинейные колебания механических и биологических систем: Труды Междунар. конф. Саратов: СГТУ, 2003. С.173-185.

80. Крысько В.А. Динамика и статика гибких секториальных пологих оболочек / В.А. Крысько, И.В. Кравцова // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2004. № 2. С. 27-36.

81. Крысько В.А. Динамика и статика гибких осесимметричных оболочек при действии распределенной знакопеременной нагрузки в зависимости от величины параметра пологости и краевых условий / В.А. Крысько, И.В. Кравцова // Известия вузов. Машиностроение. 2004. № 12. С. 3-9.

82. Крысько В.А. Мягкая и жесткая потеря устойчивости гибких осесимметричных сферических оболочек при знакопеременной нагрузке / В.А. Крысько, И.В. Кравцова // Математическое моделирование и краевые задачи: труды XIII межвуз. науч. конф. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2003. С. 100 – 103.

83. Крысько В.А. Стохастические колебания гибких осесимметричных шарнирно-подвижных по контуру сферических оболочек / В.А. Крысько, И.В. Кравцова // Известия вузов. Машиностроение. 2004. № 1. С. 11-20.

84. Крысько В.А. Хаотические колебания гибких прямоугольных в плане оболочек. Часть 1. Метод Бубнова – Галеркина в высших приближениях / В.А. Крысько, И.В. Кравцова, Н.Е. Савельева // Авиакосмическое приборостроение. 2005. № 8. С. 2-8.

85. Крысько В.А., Крысько А.В. Проблемы бифуркаций и жесткой потери устойчивости нелинейной теории пластин / В.А. Крысько, А.В. Крысько // Механика оболочек и пластин в XXI веке. Саратов: СГТУ, 1999. С. 50-67.

86. Крысько В.А. Колебания замкнутых цилиндрических оболочек при неосесимметричном знакопеременном внешнем давлении / В.А. Крысько, Н.Е. Савельева // Нелинейные колебания механических и биологических систем: труды Междунар. конф. Саратов: СГТУ, 2003. С. 45-57.

87. Крысько В.А. Об оптимальном нагружении замкнутых цилиндрических оболочек при нагружении знакопеременным внешним давлением / В.А. Крысько, Н.Е. Савельева // Проблемы прочности материалов и конструкций на транспорте: материалы VI Междунар. науч. конф. СПб.: С.-Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2004. С. 132-133.

88. Крысько В.А. Сложные колебания замкнутых цилиндрических оболочек при неосесимметричном неравномерном знакопеременном внешнем давлении / В.А. Крысько, Н.Е. Савельева // Известия вузов. Машиностроение. 2004. № 7. С. 3-14.

89. Крысько В.А. Статика и динамика замкнутых цилиндрических оболочек при неоднородном нагружении / В.А. Крысько, Н.Е. Савельева // Проблемы прочности материалов и конструкций на транспорте: материалы VI Междунар. науч. конф. / СПб.: С.-Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2004. С. 134-135.

90. Крысько В.А. Стохастическая динамика замкнутых цилиндрических оболочек при неосесимметричном внешнем давлении / В.А. Крысько, Н.Е. Савельева // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2003. № 1. С. 10-25.

91. Крысько В.А., Савельева Н.Е. Управление пространственно-временным хаосом в цилиндрических оболочках / В.А. Крысько, Н.Е. Савельева // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2004. № 4. С. 10-19.

92. Крысько В.А. Устойчивость замкнутых цилиндрических оболочек при неравномерном внешнем давлении / В.А. Крысько, Н.Е. Савельева // Известия вузов. Строительство. 2005. № 4. С. 34-44.

93. Крысько В.А. Колебания конических осесимметричных оболочек переменной толщины / В.А. Крысько, Т.В. Щекатурова // Проблемы прочности материалов и конструкций на транспорте: материалы VI Междунар. науч. конф. СПб.: С.-Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2004. С. 222-233.

94. Крысько В.А. Сценарии перехода к хаосу осесимметричных оболочек при конечных прогибах / В.А. Крысько, Т.В. Щекатурова // Математическое моделирование и краевые задачи: труды XII межвуз. конф. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2002. С. 104-107.
95. Крысько В.А. Хаотические колебания конических оболочек / В.А. Крысько, Т.В. Щекатурова // Известия РАН. Механика твердого тела. 2004. № 5. С. 153-163.
96. Кузнецов Е.Б. О действии динамических нагрузок на некоторые системы с проселкиванием / Е.Б.Кузнецов, Н.А. Кулаков, В.И. Шалашилин // Избранные проблемы прикладной механики. М.: Наука, 1974. 261 с.
97. Куцемако А.Н. Колебания замкнутых цилиндрических оболочек при действии поперечной равномерной знакопеременной нагрузки / А.Н. Куцемако, Н.Е. Савельева // Математическое моделирование и краевые задачи: труды XIII межвуз. науч. конф. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2003. С. 109-112.
98. Ландау Д. Докл. АН СССР / Д. Ландау. 1944. Т. 7. С. 203-217.
99. Муштари Х.М. Нелинейная теория упругих оболочек / Х.М. Муштари, К.З. Галимов // Казань: Таткнигиздат, 1957. 432 с.
100. Салий Е.В. Математическое моделирование динамики пологих оболочек с учетом геометрической и физической нелинейностей: дис...канд. физ.-мат. наук / Е.В. Салий. М., 2001. 117 с.
101. Феодосьев В.И. Об одном способе решения задач устойчивости деформируемых систем / В.И. Феодосьев // Прикладная математика и механика. 1963. Т. 27, № 2. С. 265-275.
102. Шарковский А.Н. Существование циклов непрерывного отображения в себя / А.Н. Шарковский // Уральский математический журнал. 1964. Т. 16. № 1. С. 61-71.
103. Щекатурова Т.В. Исследования осесимметричных на круглом плане гибких пластинок при действии знакопеременной нагрузки / Т.В. Щекатурова // Математическое моделирование и краевые задачи: труды XIII межвуз. конф. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2003. С. 169-171.

**Крысько Антон Вадимович –**

доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры «Прикладная математика и теория навигационных приборов»  
Саратовского государственного технического университета

**Крысько Вадим Анатольевич –**

доктор технических наук, Соросовский профессор,  
Заслуженный деятель науки и техники РФ,  
заведующий кафедрой «Высшая математика»  
Саратовского государственного технического университета

**Савельева Наталья Евгеньевна –**

аспирант кафедры «Высшая математика»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 539.3, 534.1

**А.В. Талонов**

**ОПИСАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНЫХ СРЕД  
С ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ**

*Предлагается методика описания прочностных свойств структурно-неоднородных сред с периодической структурой до стадии разрушения конструкции. Этот вопрос является чрезвычайно важным, так как до появления магистральной трещины наблюдается допредельное разрушение материалов, связанное с развитием большого числа микротрещин. В качестве критерия разрушения одного из компонентов неоднородного материала может быть использован критерий, предложенный автором работы.*

**A.V. Talonov**

## **STRUCTURAL-NONUNIFORM MEDIUM STRENGTH PROPERTIES DESCRIPTION WITH PERIODIC STRUCTURE**

*The strength properties description of the structural-nonuniform medium with periodic structure up to the stage of destruction of a design is offered here. This question is extremely important because before occurrence of the main crack the preliminary destruction of materials connected to development of the big number of microcracks is observed. As criteria of one of a component destruction of a non-uniform material the suggested by the author criteria can be used.*

### **Введение**

При расчете устойчивости конструкций часто возникает необходимость моделирования прочностных свойств материалов с периодической структурой. К подобным материалам могут быть отнесены большинство композиционных материалов, а также геоматериалы и мерзлые грунты.

Многочисленные экспериментальные исследования показывают, что до стадии разрушения конструкции при появлении магистральной трещины наблюдается допредельное разрушение материалов, связанное с развитием большого числа микротрещин [1]. Стадия допредельного разрушения характеризуется изменением свойств отдельных компонентов структурно-неоднородного материала вследствие развития микротрещин при сохранении целостности конструкции. Для теоретического описания процесса допредельного разрушения в структурно-неоднородном материале возникает необходимость разработки методов усреднения полей напряжения в средах, содержащих неоднородности в широком спектре размеров.

1. Рассмотрим линейно-упругую среду с периодической макроструктурой, ослабленную большим числом микротрещин. Будем предполагать, что распределение микротрещин в каждом материале позволяет выделить элемент объема с характерным размером  $\omega$ , содержащий большое число микротрещин и удовлетворяющий условию  $\omega \ll \Delta \ll H$ , где  $\Delta$  – характерный размер макронеоднородностей в среде (слоев, волокон, макровключений),  $H$  – характерный размер рассматриваемого материала, содержащего большое число ячеек периодичности. Для описания прочностных свойств подобных сред рассмотрим процесс развития микротрещин на масштабном уровне, характеризуемом размером  $\omega$ . В работах [2,4] было показано, что изменение макроскопического тензора деформаций элемента среды, ослабленного большим числом изолированных трещин, подверженного воздействию внешнего поля напряжений  $\sigma_{ik}$ , может быть представлено в виде:

$$\delta \varepsilon_{ik} = \delta \varepsilon_{ik}^0 + \frac{1}{2} \delta \int (n_i V_k + n_k V_i) F(Y) dY, \quad (1.1)$$

где  $\varepsilon_{ik}^0$  – тензор деформации сплошной линейно-упругой среды;  $n_i$  – компоненты нормального единичного вектора к поверхности трещины;  $V_i$  – компоненты вектора среднего скачка

смещений берегов трещин;  $F(Y)$  – функция распределения микротрещин по набору определяющих параметров  $Y$  (размеры, пространственная ориентация трещин и др.). Компоненты вектора среднего скачка смещений берегов трещин определяются из решения задачи теории упругости о подвижке берегов изолированного разреза (моделирующего трещину) во внешнем поле напряжений. В общем случае возможности роста трещин и взаимодействия берегов в поле сжимающих напряжений вектор среднего скачка смещений берегов трещины будет являться функцией траектории нагружения.

В работах [2-3] в рамках решения задачи теории упругости о подвижке берегов изолированной трещины были получены соотношения компонент вектора среднего скачка смещений сдвиговых и отрывных трещин в поле растягивающих и сжимающих напряжений. В работе [4] было исследовано развитие изолированной сдвиговой трещины в поле сжимающих напряжений и получены соотношения для среднего скачка смещений с учетом возможности роста трещин в процессе нагружения. Условие предельного равновесия трещины определялось неравенством:

$$(K_1/K_{1c})^2 + (K_2/K_{2c})^2 < 1, \quad (1.2)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  – коэффициенты интенсивности отрывных и сдвиговых напряжений;  $K_{1c}$ ,  $K_{2c}$  – постоянные, связанные с разрушением материала.

В работах [2,3] для описания кинетики роста изолированной трещины была предложена следующая зависимость скорости роста трещины  $v$  от коэффициентов интенсивности напряжений:

$$v = \begin{cases} 0 & K < K_{1c} \\ v_0 A \exp(\lambda K) & K_{1c} \leq K < K^* \\ v_0 & K \geq K^* \end{cases} \quad (1.3)$$

где  $K = \sqrt{K_1^2 + (K_{1c} K_2 / K_{2c})^2}$ ;  $v_0$  – предельная скорость роста трещин;  $K^*$  – порог разрушения с предельной скоростью;  $A$ ,  $\lambda$  – постоянные, определяемые материалом.

С учетом возможности роста трещин деформация трещиноватой среды в общем виде определяется уравнением:

$$\partial \varepsilon_{ik} = \partial \varepsilon_{ik}^0 + S_{ijkl} \partial \sigma_{jl} + B_{ijkl} \sigma_{jl}, \quad (1.4)$$

где компоненты тензоров  $S_{ijkl}$ ,  $B_{ijkl}$  определяются из соотношения (1.1) на основе решения задачи о подвижке берегов изолированной трещины во внешнем поле напряжений с учетом кинетики роста трещин. В работе [4] были получены соотношения для компонент тензоров  $S_{ijkl}$ ,  $B_{ijkl}$  рассчитанные для случая нагружения трещиноватой среды в поле сжимающих напряжений для сложноподвиженного состояния.

В случае, если функция распределения трещин не меняется в среде, деформационное уравнение может быть записано в виде:

$$\delta \varepsilon_{ik} = S_{ijkl}^0 \delta \sigma_{jl} + S_{ijkl}^c \delta \sigma_{jl}, \quad (1.5)$$

где  $S_{ijkl}^c$  – тензор, описывающий неупругие деформационные свойства среды, связанные с наличием трещин, тензор  $S_{ijkl}^0$  для однородной упругой среды определяется следующим соотношением:

$$S_{ijkl}^0 = -\frac{\nu_0}{E_0} \delta_{ik} \delta_{jl} + \frac{1+\nu_0}{E_0} (\delta_{il} \delta_{kj} + \delta_{ij} \delta_{kl}), \quad (1.6)$$

где  $E_0$  и  $\nu_0$  – модуль Юнга и коэффициент Пуассона сплошной линейно-упругой среды.

Компоненты тензора  $S_{ijkl}^c$  описывают деформационные свойства среды, связанные с наличием микротрещин, и пропорциональны степени трещиноватости среды  $\Omega = N\bar{l}^3$ , где  $N$  – объемная концентрация трещин;  $\bar{l}$  – средний размер трещин. Для реальных материалов степень трещиноватости становится близкой к единице только на стадии полного разрушения материала и для описания деформационных свойств трещиноватой среды уравнение (1.5) может быть представлено в виде:

$$\delta\sigma_{ik} = C_{ijkl}^0 \delta\varepsilon_{jl} - C_{ijkl}^0 S_{jlpq}^c C_{pqnm}^0 \delta\varepsilon_{nm} + C_{ijkl}^0 S_{jlpq}^c C_{pqnm}^0 S_{nmwr}^c C_{wrtv}^0 \delta\varepsilon_{tv} + O(\Omega^3), \quad (1.7)$$

$$C_{ijkl}^0 = \frac{E_0}{2(1+\nu_0)} \left( \delta_{ij}\delta_{kl} + \delta_{il}\delta_{kj} + \frac{2\nu_0}{1-2\nu_0} \delta_{ik}\delta_{jl} \right).$$

Таким образом, упругие характеристики трещиноватой среды на стадии допредельного разрушения определяются следующим соотношением:

$$C_{ijkl} = C_{ijkl}^0 - C_{iknm}^0 S_{nmpq}^c C_{pqjl}^0 + C_{iktv}^0 S_{vtpq}^c C_{pqnm}^0 S_{nmwr}^c C_{wrtj}^0. \quad (1.8)$$

2. Для описания характеристик среды с периодической макроструктурой (по сравнению с характерным размером микротрещин) предлагается использовать метод асимптотического усреднения [5-7]. Рассмотрим периодическую среду с характерным размером ячейки периодичности 1. Тогда система уравнений теории упругости в перемещениях запишется в виде:

$$\frac{\partial}{\partial x_k} \left[ C_{ijkl}(\xi) \frac{\partial u_j}{\partial x_k} \right] = f_i(x) \quad i, j, k, l = 1, 2, 3, \quad (2.1)$$

где  $C_{ijkl} \square 1$  – периодический тензор, компоненты которого бесконечно дифференцируемые всюду, кроме, быть может, некоторых поверхностей  $S_i$ , на которых они терпят разрывы первого рода, а  $\xi = x/\varepsilon$  – вектор так называемых «быстрых» переменных;  $\varepsilon$  – параметр, определяемый как отношение размера ячейки периодичности к характерному размеру задачи. Для среды, содержащей много ячеек периодичности, выполняется условие  $\varepsilon \ll 1$ .

Будем рассматривать задачу теории упругости с граничными условиями смешанного типа (см. рисунок):

$$u_i|_{\partial G_1} = u_i^0, \quad C_{ijkl} \frac{\partial u_l}{\partial x_j} n_k \Big|_{\partial G_2} = F_i, \quad (2.2)$$

где  $\delta G = \delta G_1 \cup \delta G_2$  – кусочно-гладкая граница рассматриваемой области пространства, занимаемая средой,  $\delta G_1 \cap \delta G_2 = \emptyset$ ;  $u^0$  – заданный на поверхности тела вектор перемещений;  $F$  – заданная на поверхности нагрузка;  $n = (n_1, n_2, n_3)$  – вектор нормали к границе тела.

На поверхностях  $S_i$ , где терпят разрыв компоненты тензора жесткости  $C_{ijkl} \square$ , предполагается выполнение условий идеального контакта, которые имеют следующий вид:

$$[u_i]_{\Sigma_i} = 0, \quad \left[ C_{ijkl} \frac{\partial u_l}{\partial x_j} n_k \right]_{\Sigma_i} = 0. \quad (2.3)$$

Условия идеального контакта говорят о том, что на границе раздела сред с различными характеристиками перемещения и вектор напряжения не терпят разрыва.

В рамках метода асимптотического усреднения [5-6] решение задачи ищется в виде:

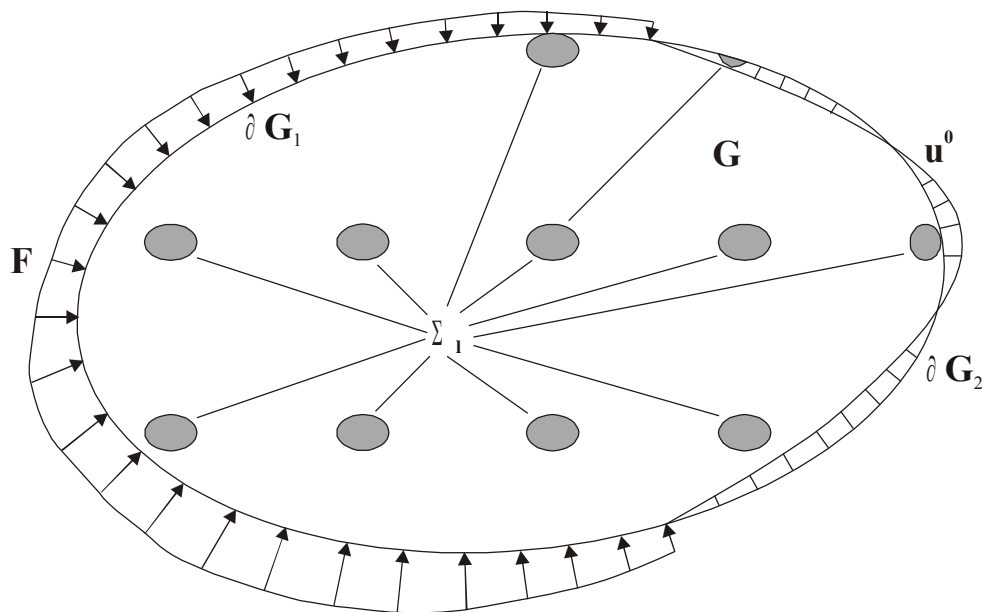
$$u_i = u_i^{(0)}(x, \xi) + \varepsilon u_i^{(1)}(x, \xi) + \varepsilon^2 u_i^{(2)} + \dots \quad (2.4)$$

где  $u_i^{(k)}(x, \xi) \square 1$  – периодические по  $\xi$  трёхмерные функции.



Подставим сумму (2.4) в левую часть уравнения (2.1) и воспользуемся правилом дифференцирования сложной функции. В результате получим:

$$\begin{aligned} & \varepsilon^{-2} \frac{\partial}{\partial \xi_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(0)}}{\partial \xi_l} \right) + \varepsilon^{-1} \left( \frac{\partial}{\partial \xi_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(1)}}{\partial \xi_l} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(0)}}{\partial x_l} \right) + \frac{\partial}{\partial x_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(0)}}{\partial \xi_l} \right) \right) + \\ & + \varepsilon^0 \left( \frac{\partial}{\partial \xi_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(2)}}{\partial \xi_l} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(1)}}{\partial x_l} \right) + \frac{\partial}{\partial x_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(1)}}{\partial \xi_l} \right) + \frac{\partial}{\partial x_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(0)}}{\partial x_l} \right) \right) + \quad (2.5) \\ & + \varepsilon^1 \left( \frac{\partial}{\partial \xi_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(2)}}{\partial x_l} \right) + \frac{\partial}{\partial x_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(2)}}{\partial \xi_l} \right) + \frac{\partial}{\partial x_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(1)}}{\partial x_l} \right) \right) + \varepsilon^2 \frac{\partial}{\partial x_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(2)}}{\partial x_l} \right) + \dots = f_i. \end{aligned}$$



Неоднородная среда под действием внешних сил:  
 $\delta G_1$  – граница области, на которой задана поверхностная нагрузка;  
 $\delta G_2$  – граница области, на которой заданы перемещения;  
 $\Sigma_1$  – поверхности контакта разнородных материалов

Приравняем слагаемые порядков  $\varepsilon^{-2}$ ,  $\varepsilon^{-1}$ ,  $\varepsilon^0$  к нулю, чтобы был возможен предельный переход при  $\varepsilon \rightarrow 0$ , и отбросим слагаемые порядков  $\varepsilon^1$  и  $\varepsilon^2$ , которые составят невязку уравнения (2.5). Тогда асимптотика решения задачи  $u_i$  будет удовлетворять уравнению (2.1) с точностью до членов порядка  $\varepsilon$ . При этом функции  $u_i^{(0)}(x, \xi)$ ,  $u_i^{(1)}(x, \xi)$ ,  $u_i^{(2)}(x, \xi)$  будут определяться из следующих условий:

$$\frac{\partial}{\partial \xi_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(0)}}{\partial \xi_l} \right) = 0, \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial}{\partial \xi_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(1)}}{\partial \xi_l} \right) = - \frac{\partial}{\partial \xi_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(0)}}{\partial x_l} \right) - \frac{\partial}{\partial x_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(0)}}{\partial \xi_l} \right), \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial}{\partial \xi_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(2)}}{\partial \xi_l} \right) = - \frac{\partial}{\partial \xi_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(1)}}{\partial x_l} \right) - \frac{\partial}{\partial x_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(1)}}{\partial \xi_l} \right) - \frac{\partial}{\partial x_k} \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_j^{(0)}}{\partial x_l} \right) + f_i, \quad (2.8)$$

где  $x$  и  $\xi$  считаются независимыми переменными.

Подставляя разложение (2.4) в граничное условие (2.2), получаем следующие соотношения:

$$[u_i^{(0)}]_{\partial G_1} = u_i^0, \quad \left[ C_{ijkl} \frac{\partial u_k^{(0)}}{\partial \xi_l} n_j \right]_{\partial G_2} = 0, \quad (2.9)$$

$$[u_i^{(1)}]_{\partial G_1} = 0, \quad \left[ \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_k^{(0)}}{\partial x_l} + C_{ijkl} \frac{\partial u_k^{(1)}}{\partial \xi_l} \right) n_j \right]_{\partial G_2} = F_i, \quad (2.10)$$

$$[u_i^{(2)}]_{\partial G_1} = 0, \quad \left[ \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_k^{(1)}}{\partial x_l} + C_{ijkl} \frac{\partial u_k^{(2)}}{\partial \xi_l} \right) n_j \right]_{\partial G_2} = 0. \quad (2.11)$$

Аналогично могут быть записаны контактные условия (2.3):

$$[u_i^{(0)}]_{\Sigma_l} = 0, \quad \left[ C_{ijkl} \frac{\partial u_k^{(0)}}{\partial \xi_l} n_j \right]_{\Sigma_l} = 0, \quad (2.12)$$

$$[u_i^{(1)}]_{\Sigma_l} = 0, \quad \left[ \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_k^{(0)}}{\partial x_l} + C_{ijkl} \frac{\partial u_k^{(1)}}{\partial \xi_l} \right) n_j \right]_{\Sigma_l} = 0, \quad (2.13)$$

$$[u_i^{(2)}]_{\Sigma_l} = 0, \quad \left[ \left( C_{ijkl} \frac{\partial u_k^{(1)}}{\partial x_l} + C_{ijkl} \frac{\partial u_k^{(2)}}{\partial \xi_l} \right) n_j \right]_{\Sigma_l} = 0. \quad (2.14)$$

Следует отметить, что при рассмотрении среды с периодической структурой компоненты тензора жесткости также будут являться периодическими функциями и зависеть только от локальной переменной  $\xi$ .

Уравнения (2.6)-(2.8) с граничными и контактными условиями (2.9)-(2.14) образуют цепочку уравнений для определения асимптотики решения задачи (2.1).

В работах [5,7] было показано, что решением уравнения (2.6) при условии периодичности функции  $C_{ijkl}(\xi)$ , граничных и контактных условиях (2.13), (2.14) является функция, не зависящая от  $\xi$ , т.е.  $u_i^0(x, \xi) = U_i(x)$  и последующие члены разложения функции  $u_i$  (2.4) могут быть представлены в виде:

$$u_i^{(m)}(x, \xi) = N_{i i_2 \dots i_m}(\xi) \frac{\partial^m U_i(x)}{\partial x_{i_1} \partial x_{i_2} \dots \partial x_{i_m}}, \quad (2.15)$$

где  $N_{i i_2 \dots i_m}(\xi)$  – матрицы-функции, удовлетворяющие условию периодичности, т.е.  $\langle N_{i i_2 \dots i_m}(\xi) \rangle \geq 0$ .

Задача нахождения матриц-функций  $N_{i_1}(\xi)$  и  $N_{i_2}(\xi)$  определяется подстановкой соотношения (2.15) в уравнения (2.7) и (2.8). Значение матриц-функций определяется контактными условиями и структурой ячейки периодичности.

Используя соотношение (2.15) и условие периодичности функций  $N_{i_1}(\xi)$ ,  $N_{i_2}(\xi)$ ,  $C_{ijkl}(\xi)$ , можно показать, что необходимым и достаточным условием разрешимости уравнения (2.8) с контактными условиями (2.14) в классе 1-периодических функций, является следующее равенство:

$$\left\langle C_{ijkl} + C_{ijkn} \frac{\partial N_l}{\partial \xi_m} \right\rangle \frac{\partial^2 U_j}{\partial x_k \partial x_l} = f_i. \quad (2.16)$$

Данное условие можно рассматривать как уравнение для определения нулевой поправки в соотношении (2.4). При этом следующую матрицу:

$$C_{ijkl} = \left\langle C_{ijkl} + C_{ijkml} \frac{\partial N_l}{\partial \xi_m} \right\rangle \quad (2.17)$$

можно рассматривать как эффективные упругие модули среды с периодической структурой.

Пусть  $v_i$ ,  $\xi_j$ ,  $\sigma_{ij}$  – компоненты перемещений, деформаций и напряжений находятся из решения усреднённой задачи теории упругости в перемещениях (нулевое приближение в методе асимптотического усреднения), а  $C_{ijkl}$  – элементы эффективного тензора жёсткости, которые определяются соотношением (2.17). Тогда локальные изменения поля напряжений в первом приближении определяются выражением:

$$\sigma_{ij}(x, \xi) \approx C_{ijkl} \frac{\partial u_k^{(1)}}{\partial x_l} = \left( C_{ijkl} + C_{ijkml} \frac{\partial N_l}{\partial \xi_m} \right) \hat{C}_{klpq}^{-1} \hat{\sigma}_{pq}. \quad (2.18)$$

3. В рамках метода асимптотического усреднения с помощью соотношений (2.16)-(2.18) для заданной конфигурации ячейки периодичности и условий нагружения среды может быть определено распределение поля напряжений в неоднородной периодической среде. Использование в соотношении для локального поля напряжений тензоров жесткости, определяемых соотношением (1.8), позволяет учесть влияние микротрещин в среде.

Для каждого из компонентов неоднородной среды закон изменения степени трещиноватости с учетом кинетики роста трещин на стадии допредельного разрушения, определяемой соотношением (1.3), может быть записан в виде:

$$\partial \Omega_i = \Omega_{0j} \partial \left[ 1 + \nu_0 \int_0^t (C_j K^n H(K - K_{cj}) H(K_{ff} - K) + H(K - K_{ff})) dt \right]^3, \quad (3.1)$$

$$K = \sqrt{\pi l_0} \langle (\Omega_j / \Omega_0)^{1/6} / (1 - \Omega_j / \Omega^*) \tau^* \rangle, \quad j=1, 2, \dots, n,$$

где  $\Omega_j$  – степень трещиноватости, характеризующая  $j$ -ю компоненту неоднородной среды и соответственно  $C_j$ ,  $K_{cj}$ ,  $K_{ff}$ ,  $l_{0j}$ ,  $\Omega_{0j}$  – параметры и характеристики исходной трещиноватости одного из компонентов материала.

Влияние процессов развития трещиноватости в других компонентах учитывается в соотношении для эффективного коэффициента интенсивности напряжений, где проводится усреднение степени трещиноватости среды. Неоднородность поля напряжений может быть учтена следующим образом:

$$\tau^* = (I_2(1 + \mu^2))^{1/2} + 2\mu I_1,$$

$$I_1 = \zeta_{11ij} \sigma_{ij} + \zeta_{22ij} \sigma_{ij} + \zeta_{33ij} \sigma_{ij},$$

$$I_2 = \frac{1}{6} \left[ (\zeta_{11ij} \sigma_{ij} - \zeta_{22ij} \sigma_{ij})^2 + (\zeta_{22ij} \sigma_{ij} - \zeta_{33ij} \sigma_{ij})^2 + (\zeta_{33ij} \sigma_{ij} - \zeta_{11ij} \sigma_{ij})^2 \right] +$$

$$+ (\zeta_{12ij} \sigma_{ij})^2 + (\zeta_{23ij} \sigma_{ij})^2 + (\zeta_{13ij} \sigma_{ij})^2. \quad (3.2)$$

$$\zeta_{ij} = \left( C_{ijkl} + C_{ijkml} \frac{\partial N_l}{\partial \xi_m} \right) \hat{C}_{klpq}^{-1}, \quad (3.3)$$

где  $\mu$  – усредненное значение коэффициента трения между берегами трещин.

В качестве критерия разрушения одного из компонентов неоднородного материала может быть использовано условие [8]:  $\Omega_j = \Omega^*$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Прочность и деформация горных пород в допредельной и запредельной областях / А.Н. Ставрогин, Б.Г. Тарасов, О.А. Ширкес, Е.Д. Певзнер // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1981. № 6. С. 28-34.
2. Вавакин А.С. Эффективные упругие характеристики тел с изолированными трещинами, плоскостями и жесткими неоднородностями / А.С. Вавакин, Р.Л. Салганик // Известия АН СССР. Механика твердого тела. 1978. № 2. С. 36-41.
3. Талонов А.В. Расчет деформационных свойств трещиноватых горных пород с учетом допредельного разрушения / А.В. Талонов, Б.М. Тулинов // Известия АН СССР. Физика Земли. 1987. № 6. С. 12-18.
4. Талонов А.В. Расчет деформации хрупких материалов с учетом допредельного разрушения / А.В. Талонов, Б.М. Тулинов // Прикладная механика и техническая физика. 1989. № 3. С. 13-17.
5. Победря Б.Е. Механика композиционных материалов / Б.Е. Победря. М.: МГУ, 1984. 336 с.
6. Митропольский Ю.А. Метод усреднения в нелинейной механике / Ю.А. Митропольский. Киев: Наукова думка, 1971. 168 с.
7. Бахвалов Н.С. Осреднение процессов в периодических средах / Н.С. Бахвалов, Г.П. Панасенко. М.: Наука, 1984. 352 с.
8. Талонов А.В. Структура плоской волны разрушения в хрупких телах / А.В. Талонов, Б.М. Тулинов // Известия АН СССР. Механика твердого тела. 1991. № 6. С. 51-57.

**Талонов Алексей Владимирович** –  
кандидат физико-математических наук, доцент  
Московского государственного инженерно-технического института  
(технического университета)

---

# НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

---

УДК 629.113.004.67

**А.С. Денисов, А.Т. Кулаков, А.А. Гафиятуллин, Д. Л. Панкратов**

## **АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ УСЛОВИЙ СМАЗКИ ШАТУННЫХ ПОДШИПНИКОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*Дан анализ основных составляющих давления масла в шатунных подшипниках коленчатого вала двигателя с учетом конструктивных и режимных параметров. Проведена оценка изменения условий смазки шатунных подшипников в процессе эксплуатации с учетом влияния износа деталей. Дана оценка усовершенствованного коленчатого вала двигателей КамАЗ с учетом полученных результатов.*

**A.S. Denisov, A.T. Kulakov, A.A. Gafiyatullin, D.L. Pankratov**

## **ANALYTICAL RESEARCH OF THE CONDITIONS CHANGE OF THE CONCORD BEARING GREASE IN THE PROCESS OF EXPLOITATION**

*The analysis of the basic components of the oil pressure in the concord bearings of the knee shaft of the drive taking into consideration the constructive and regime parameters are given in the article. The evaluation of the conditions change of the concord bearing grease in the process of exploitation was verified taking into consideration the influences of the parts wear. The improved knee shaft of the KamAZ drives and the considered obtained results are evaluated here as well.*

Анализ проворачивания шатунных вкладышей коленчатого вала и отложений в полостях шатунных шеек [1] свидетельствует о том, что через шатунную шейку, на которой произошло проворачивание вкладышей, проходило меньшее количество масла. Следовательно, фактором, способствующим проворачиванию вкладышей, является снижение расхода масла через шатунный вкладыш.

Недостаточная смазка подшипников коленчатого вала связана с конструкцией и эксплуатацией системы смазки двигателя. Масло, подаваемое масляным насосом, идет на смазку и охлаждение распределительного вала, цилиндропоршневой группы, турбокомпрессоров, коренных и шатунных вкладышей.

Расчеты системы смазки недостаточно точно показывают, какое давление масла необходимо для смазки шатунных подшипников, а также режимы работы двигателя, при которых шатунные подшипники не испытывают масляного голодания.

Закономерности изнашивания и изменения геометрической формы деталей в процессе эксплуатации обуславливают появление отказов – то есть нарушение работоспособности. Зачастую это используют как дискретное событие. Однако это можно отнести к критической стадии развития отказа, при которой возникают недопустимые (патологические) нарушения технического состояния. В процессе эксплуатации важно предупредить их возникновение, что можно сделать на основе кинетики предотказного состояния [2, 3].

При этом основное внимание следует уделять аналитическому исследованию процессов движения масла по каналам системы смазки. Рассмотрим наиболее распространенную схему подвода масла к шатунным подшипникам, которая применяется долгое время и на двигателях КамАЗ-740 (рис. 1). Масло по каналам в блоке цилиндров подводится в кольцевую канавку, выполненную в верхнем коренном вкладыше. Из нее по одному или диаметрально противоположным каналам масло входит в коленчатый вал. При этом подача масла может быть пульсирующей или непрерывной. На двигателях КамАЗ-740 для первой шатунной шейки масло подается с пульсациями через одно отверстие, а для остальных непрерывно. Пройдя по каналам, масло поступает в центробежную ловушку, из которой через два отверстия, просверленных противоположно друг другу в плоскости, перпендикулярной кривошипу (позднее через одно отверстие), масло поступает в шатунный подшипник одного и другого цилиндров.

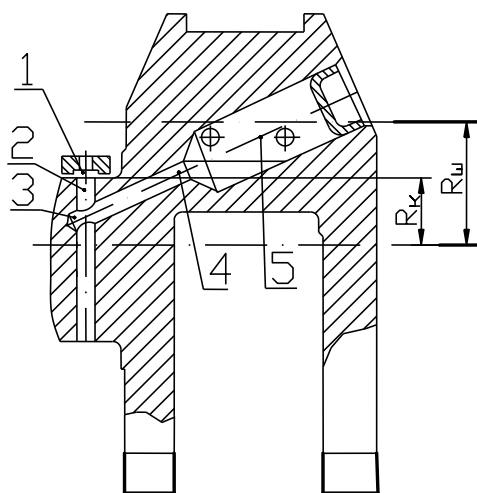


Рис. 1. Схема смазки шатунного подшипника двигателя КамАЗ:

- 1 – кольцевой канал;
- 2 – канал в коренной шейке;
- 3 – вход в канал подвода к шатунной шейке;
- 4 – канал подвода; 5 – полость

ние в этих точках будет равно

Для постоянного подвода масла в шатунный подшипник давление на входе в него незначительно отличается от давления в коренных подшипниках [4]

$$P_{ш} = P_{к} + \gamma \frac{\omega^2}{2g} (r_{ш}^2 - r_{к}^2) - \kappa P_{к}, \quad (1)$$

где  $P_{ш}$  – давление масла на входе в коренной подшипник;  $\kappa$  – коэффициент потерь из-за утечек в кольцевом канале вкладыша;  $r_{к}$  – радиус коренной шейки;  $r_{ш}$  – радиус вращения выходных отверстий в шатунном подшипнике (кривошипа);  $\omega$  – угловая скорость;  $\gamma$  – плотность масла;  $g$  – ускорение силы тяжести.

В уравнении (1)  $P_{к} - \kappa P_{к}$  – это давление непосредственно в кольцевом канале коренного подшипника (определяется экспериментально). Однако, в уравнении (1) не учитываются потери давления, связанные с переходом из кольцевого неподвижного канала вкладыша во вращающийся канал коленчатого вала. При отсутствии вращения коленчатого вала переход из кольцевого канала в канал коленчатого вала ( $\omega=0$ ) из точки 1 в точку 2 (рис. 1) давлени

$$P_1 = P_2. \quad (2)$$

При вращении коленчатого вала равенство (2) нарушается. Рассмотрим удельную энергию жидкости в точках 1 и 2, используя уравнение Бернулли для точки 1 [5]

$$E_1 = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1. \quad (3)$$

Жидкость в кольцевом канале коренного подшипника неподвижна и  $V_1=0$  ( $V_1$  – скорость в точке 1;  $Z_1$  – кинетическая энергия в точке 1)  $Z_1=0$ , тогда

$$E_1 = \frac{P_1}{\gamma}. \quad (4)$$

Поскольку в точке 2 жидкость совершает сложное движение, то она приобретает скорость движения ( $V_2$ ) в переносном движении (окружную скорость)

$$V_2 = \omega r_k . \quad (5)$$

Поэтому ее энергия складывается из энергии давления в относительном движении, и кинетической, и вращения в непрерывном движении

$$E_2 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} . \quad (6)$$

Так как переход из точки 1 в точку 2 совершается только за счет внутренней энергии единицы массы жидкости без дополнительного сообщения энергии извне, то

$$E_1 = E_2 , \quad (7)$$

откуда

$$P_2 = P_1 - \gamma \frac{V_2^2}{2g} . \quad (8)$$

То есть, при переходе масла из канавки вкладыша в канал коренной шейки давление снижается на величину

$$\Delta P_\kappa = \gamma \frac{V_2^2}{2g} = \gamma \frac{\omega^2 r_k^2}{2g} = \gamma \frac{1}{2g} \left( \frac{\pi n}{30} \right)^2 r_k^2 10^{-4} , \quad (9)$$

где  $n$  – частота вращения коленчатого вала,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $r_k$  – радиус коренной шейки ( $4,75 \cdot 10^{-2}$  м);  $\gamma = 900 \text{ кг/м}^3$  – плотность масла;  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – ускорение силы тяжести.

С увеличением частоты вращения коленчатого вала может происходить «динамическое запирание» канала в коренной шейке. Расчет по формуле (9) показал, что при  $n = 2930 \text{ мин}^{-1}$  потери давления составляют 0,09 МПа. Следовательно, в выражении (1) должны учитываться и эти потери

$$P_{ш} = P_\kappa + \gamma \frac{\omega^2}{2g} (r_i^2 - r_r^2) - \kappa P_\kappa - \Delta P_\kappa . \quad (10)$$

По результатам расчетов потери давления от кольцевого канала коренного подшипника до оси коленчатого вала составляют

$$\Delta P_{13} = \gamma \frac{\omega^2}{2g} r_r^2 + \Delta P_\kappa = 0,18 \text{ МПа} . \quad (11)$$

Измерение давления в кольцевом канале коренного подшипника [6] позволило определить величину потерь давления на утечки и гидравлические сопротивления,  $\kappa P_\kappa$  при  $n = 2930 \text{ мин}^{-1}$ , которые составили 0,12 МПа. Следовательно, при номинальном давлении в системе смазки 0,45 МПа [7] при частоте  $n = 2930 \text{ мин}^{-1}$  до точки 3 (рис. 1) теряется давление  $\Delta P_\Sigma = 0,3 \text{ МПа}$  или 67% и составляет в ней  $P_3 = 0,15 \text{ МПа}$ .

Приращение давления от центробежных сил на участке 3-5 (рис. 1) до шатунных подшипников при  $n = 2930 \text{ мин}^{-1}$  составляет

$$\Delta P_{ш\sigma} = \gamma \frac{\omega^2}{2g} r_{ш}^2 = 0,15 \text{ МПа} . \quad (12)$$

При достижении равенства  $P_3 = P_{ш\sigma}$  может наступить разрыв потока масла в шатунный подшипник. На режимах, когда  $\Delta P_{ш\sigma}$  превышает давление на входе в канал подвода к шатунной шейке  $P_3$ , может наступить разрыв потока масла, что приводит к снижению расхода масла через подшипник и появлению пульсаций. В этих условиях значительно ухудшается теплоотвод от шатунных подшипников, что повышает напряженно-деформированное состояние шатунных вкладышей и увеличивает вероятность их проворачивания.

Давление в элементах системы смазки двигателя является одним из основных параметров, определяющих расход масла по потребителям и теплоотвод от поверхностей трения. Необходимо проанализировать их взаимосвязь в процессе эксплуатации для снижения вероятности разрыва масляного потока.

При определенных условиях эксплуатации режимах работы двигателя (скоростном, тепловом, нагрузочном) расход масла через сопряжения деталей и каналы обусловлен геометрическими параметрами, свойством масла и движением. Используя уравнения расхода жидкости через отверстия и насадки [5], определим расход масла в точке 1 (рис. 1)

$$Q_1 = Q_s + Q_k = \mu F_s \sqrt{2g \frac{P_1}{\gamma}} + \mu F_k \sqrt{2g \frac{P_1}{\gamma}} = \mu \sqrt{2g \frac{P_1}{\gamma}} (F_s + F_k), \quad (13)$$

где  $Q_1$  – расход масла через точку 1 (рис. 1);  $Q_s$  – расход масла через зазоры в коренном подшипнике;  $Q_k$  – расход масла через канал в коренной шейке в точке 2 (рис. 1);  $\mu$  – коэффициент расхода;  $F_s$  – площадь поперечного сечения сопряжения вал-коренной вкладыш через зазор  $S$ ;  $F_k$  – площадь поперечного канала в поперечной шейке;  $P_1$  – давление жидкости в точке 1 (рис. 1).

В процессе эксплуатации, вследствие изнашивания, зазор  $S$  в коренном подшипнике возрастает по экспоненциальной зависимости [8,9]

$$S = S_0 e^{bl}, \quad (14)$$

где  $S_0$  – зазор в конце приработки, приведенный к началу эксплуатации;  $b$  – коэффициент интенсификации, учитывающий влияние зазора на интенсивность изнашивания;  $l$  – наработка двигателя.

Расход масла в точке 1 обусловлен производительностью масляного насоса, которая изменяется с износом незначительно [10,11] (2-3%), поэтому можно считать, что при  $Q = \text{const}$  площадь сечения  $F_s$  связана с зазором  $S$  линейно.

$$F_s = \pi r_k s. \quad (15)$$

С учетом (14) получим

$$F_s = \pi r_k S_0 e^{bl} = F_{so} e^{bl}, \quad (16)$$

где  $F_{so} = \pi r_k S_0$  – площадь сечения в конце приработки, приведенная к началу эксплуатации.

Поэтому в процессе эксплуатации  $Q_s$  возрастает по экспоненциальной зависимости

$$Q_s = Q_{so} e^{bl}, \quad (17)$$

где  $Q_{so} = \mu \sqrt{2g \frac{P_1}{\gamma}} F_{so}$  – расход через коренной подшипник в конце приработки, приведенный к началу эксплуатации (рис. 2). С учетом условия (13) для  $Q_k$  получим

$$Q_k = Q_1 - Q_s = Q_1 - Q_{so} e^{bl}. \quad (18)$$

Из шатунных шеек (грязеуловителей) вследствие роста зазоров расход через зазоры увеличивается аналогично  $Q_s$  (17)

$$Q_{uo} = \mu F_{uo} \sqrt{2g \frac{P_{uo}}{\gamma}} = \mu \sqrt{2g \frac{P_{uo}}{\gamma}} F_{uo} e^{bl} = Q_{uo} e^{bl}, \quad (19)$$

где  $Q_{uo}$  – расход через шатунный подшипник в конце приработки, приведенной к началу эксплуатации;  $P_{uo}$  – давление масла в шатунной полости.

Приведенные соотношения показывают, что условие разрыва масляного потока к шатунным подшипникам наступает при  $l_p$  (рис. 2)

$$Q_k = Q_{uo}, \quad (20)$$

или

$$Q_1 - \mu F_{so} \sqrt{2g \frac{P_1}{\gamma}} e^{bl} = \mu F_{uo} \sqrt{2g \frac{P_{uo}}{\gamma}} e^{bl}. \quad (21)$$



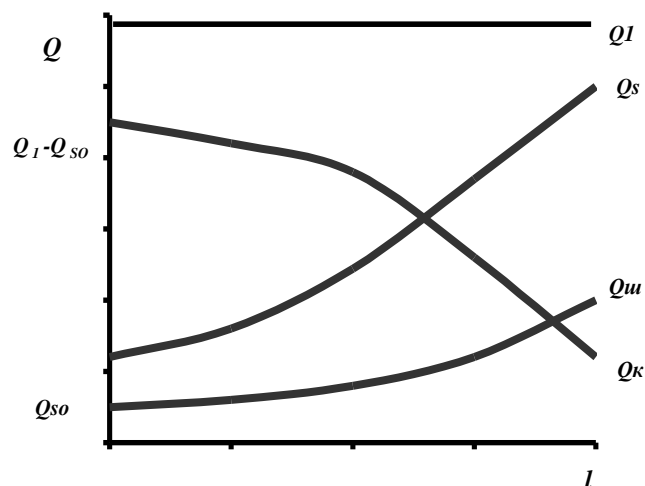


Рис. 2. Изменение расхода масла через подшипники коленчатого вала в процессе эксплуатации

Данные условия связывают параметры расхода и давление масла в различных участках схемы смазки коренных и шатунных подшипников. Проведем анализ изменения этого условия в процессе эксплуатации. Видно из условия (21), что в процессе эксплуатации существенно изменяются давление масла и площадь поперечного кольцевого сечения в коренных и шатунных подшипниках.

В новых двигателях площадь поперечного кольцевого сечения в коренном подшипнике в соответствии с (15) при середине поля допуска на зазор 0,126 мм [12] составляет

$$F_{кн} = 3,14 \cdot 47,5 \cdot 0,126 = 18,8 \text{ мм}^2,$$

для шатунных подшипников при середине поля допуска на зазор 0,094 [12]

$$A_{шн} = 2 \cdot 3,14 \cdot 40 \cdot 0,094 = 23,6 \text{ мм}^2.$$

Площадь отверстия в коренной шейке составляет

$$F_{ко} = \pi r_{ко}^2 = 3,14 \cdot 3^2 = 28,26 \text{ мм}^2,$$

в шатунной  $F_{шо} = 2\pi r_{шо}^2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 3^2 = 56,52 \text{ мм}^2$ , а при двух отверстиях 113,04 мм<sup>2</sup>.

Видно, что в коренном подшипнике нового двигателя расход через канал коренной шейки в среднем в 1,5 раза выше, чем через зазоры в подшипнике. В шатунном подшипнике расход через канал в шатунной шейке (в грязеуловителе) в среднем в 2,32 раза выше, чем через зазоры в подшипнике, а при двух отверстиях для смазки – в 4,78 раза. Эти соотношения показывают, что вероятность разрыва масляного потока к шатунным подшипникам, то есть наступление условий (20), в новом двигателе очень мала. Видно также, что второе отверстие для смазки в шатунной шейке лишнее, так как обеспечивает излишнее резервирование расхода, но способствует снижению давления в шатунном подшипнике.

По мере изнашивания шеек и вкладышей зазоры увеличиваются. Так, по данным [3], предельные зазоры в коренных и шатунных подшипниках двигателей КамАЗ -740 составляют соответственно 0,24 и 0,22 мм. При этом

$$F'_{кн} = 3,14 \cdot 47,5 \cdot 0,24 = 35,8 \text{ мм}^2,$$

$$F'_{шн} = 2 \cdot 3,14 \cdot 40 \cdot 0,22 = 50,24 \text{ мм}^2.$$

Пропорционально увеличению площади повышается и расход масла через коренные подшипники. Расход повышается в 1,9 раза, что существенно сократит расход через канал в коренной шейке. Расход через шатунный подшипник возрастает в 2,12 раза. В целом это существенно повышает вероятность разрыва масляного потока к шатунным подшипникам (условие 20).

Кроме этого необходимо учитывать накопление отложений в полостях шатунных шеек. Так, по данным [3], к пробегу 100-120 тыс. км до 50% объема полостей занято отложениями, плотность которых составляет 2,2-2,3 г/см<sup>3</sup>.

Следовательно, площадь поперечного сечения отверстий для смазки шатунных подшипников сокращается, что повышает вероятность разрыва масляного потока к шатунным вкладышам и их проворачивания.

Наличие полостей в шатунных шейках приводит также к увеличению времени поступления масла к шатунным подшипникам после пуска двигателя. Это обусловлено временем заполнения полостей до уровня отверстий для смазки, которые расположены по радиусу кривошипа.

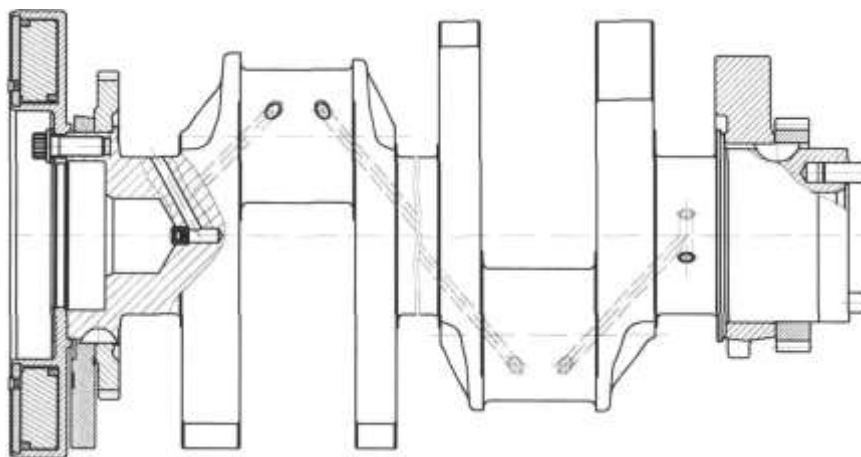


Рис. 3. Коленчатый вал и гаситель крутильных колебаний для двигателей КамАЗ-740.11-240, 740.13-260, 740.14-300, 740.11-1005020 (Икр=60 мм), 740.13-1005020 (Ккр=60 мм)

В усовершенствованной конструкции коленчатого вала без полостей в шатунных шейках (рис. 3) [13] условия смазки шатунных подшипников улучшились за счет нескольких факторов. Во-первых, диаметр масляных каналов в коренных шейках увеличен с 6,2 до 8 мм. Во-вторых, уменьшилось количество изменений направления масляных каналов, что сократило гидравлические потери. В-третьих, выход отверстий в шатунных шейках расположен по радиусу 79 мм, что значительно выше радиуса кривошипа и это повысит центробежную составляющую приращения давления в шатунном подшипнике. В-четвертых, направление выхода каналов составляет с направлением относительного движения вкладышей острый угол (в отличие от прямого в прежней конструкции), что также сокращает гидравлические потери, способствует стабилизации масляного клина. Все это способствует увеличению наработки до условия (21) разрыва масляного потока к шатунным подшипникам.

В этом случае площадь отверстия в коренной шейке составит

$$F_{ко} = \pi r_{ко}^2 = 3,14 \cdot 4^2 = 50,24 \text{ мм}^2,$$

что в 2,67 раза выше, чем площадь поперечного кольцевого сечения в коренном подшипнике, и повышает подачу масла к шатунным подшипникам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов А.С. Анализ причин эксплуатационных разрушений шатунных вкладышей двигателей КамАЗ-740 / А.С. Денисов, А.Т. Кулаков // Двигателестроение. 1981. № 9. С. 37-40.
2. Денисов А.С. Теоретические основы автосервиса. Изменение технического состояния элементов автомобиля в процессе эксплуатации / А.С. Денисов. Саратов: СГТУ, 1999. 118 с.
3. Денисов А.С. Основы формирования эксплуатационно-ремонтного цикла автомобилей / А.С. Денисов. Саратов: СГТУ, 1999. 350 с.
4. Смирнов В.Г. Повышение долговечности деталей автомобильных двигателей за счет совершенствования конструкции систем смазки / В.Г. Смирнов, Б.Н. Лучинин. М.: НИИНавтопром, 1980. 59 с.
5. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика / Т.М. Башта. М.: Машиностроение, 1971. 543 с.
6. Кулаков А.Т. Разработка способа диагностирования шатунных подшипников двигателей и практических рекомендаций для снижения их отказов в процессе эксплуатации (на примере КамАЗ-740): дис. ... канд. техн. наук / А.Т. Кулаков. Саратов, 1986. 173 с.
7. Двигатель КамАЗ 740.11-240. Руководство по эксплуатации 740.11-3902001РЭ. Набережные Челны, 1977. 120 с.
8. Авдонькин Ф.Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей / Ф.Н. Авдонькин. М.: Транспорт, 1985. 215 с.
9. Авдонькин Ф.Н. Оптимизация изменения технического состояния автомобиля / Ф.Н. Авдонькин. М.: Транспорт, 1993. 352 с.
10. Григорьев М.А. Исследование распределения потока масла в автомобильном двигателе / М.А. Григорьев, В.Г. Смирнов // Труды НАМИ. Вып. 117. М., 1979. С. 76-84.
11. Григорьев М.А. Баланс распределения масла по потребителям в системе смазки автомобильных двигателей / М.А. Григорьев, В.Г. Смирнов // Труды семинара по очистке воздуха, масла и топлива с целью увеличения долговечности двигателей. Вып. 10, кн. 1. М.: ОНТИ, 1970. С. 83-89.
12. Автомобили КамАЗ. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту. М.: В/О Автоэкспорт, 1984. 415 с.
13. Совершенствование конструкции коленчатого вала двигателей КамАЗ / А.С. Денисов, А.Т. Кулаков, Н.И. Светличный, А.А. Гафиятуллин // Двигателестроение. 2003. № 3. С. 24-26.

**Денисов Александр Сергеевич –**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Автомобили и автомобильное хозяйство»  
Саратовского государственного технического университета

**Кулаков Александр Тихонович –**

кандидат технических наук,  
директор технического центра дизелестроения ОАО «Агромашхолдинг», г. Москва

**Гафиятуллин Асхат Асадуллович –**

начальник отдела надежности ОАО «КамАЗ-Дизель», г. Набережные Челны

**Панкратов Дмитрий Леонидович –**

аспирант кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство»  
Саратовского государственного технического университета

**А.В. Королев, С.С. Крайнов**

### **ТЕХНОЛОГИЯ СУПЕРФИНИШНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ**

*Рассмотрены технологические преимущества новой технологии суперфинишной обработки деталей типа колец подшипников. Приведены примеры практического использования данной технологии на базе новой конструкции суперфинишного автомата.*

**A.V. Koroljov, S.S. Krainov**

### **THE TECHNOLOGY OF SUPER FINISHING ABRASIVE TREATMENT**

*The technological advantages of the new technology of super finishing of details of bearings are considered in this article. The examples of practical use of the super finishing automatic devices working by an offered principle are given here.*

Формирование внутренней геометрии опор качения окончательно осуществляется на операциях суперфиниширования. Однако технологические возможности традиционных методов суперфиниширования весьма ограничены. Эти методы мало производительны, обладают пониженными формообразующими возможностями, имеют низкий уровень универсальности и технологической гибкости, трудно автоматизируемы, что, с одной стороны, существенно ограничивает их использование в производстве, особенно в условиях гибких производственных систем, с другой – сдерживает внедрение в промышленность высокоэффективных конструкций опор качения повышенной надежности и долговечности. Существующие технологии на современных станках осуществляют обработку в два перехода последовательно на двух установках с использованием одного бруска (абразивного инструмента) на каждом переходе. На первом переходе осуществляется предварительный сьем металла, на втором – осуществляется более тонкая обработка, обеспечивающая необходимую шероховатость дорожки качения.

Научным коллективом, возглавляемым авторами, разработаны теоретико-вероятностные основы процессов абразивной обработки, которые позволили определить новые перспективные направления их дальнейшего совершенствования и, в частности, предложить эффективную технологию суперфиниширования деталей опор качения [1-3 и др.]. Отличительной особенностью этой технологии является то, что обработка осуществляется по многобрусковой схеме, а осцилляция абразивных брусков заменена на плавное круговое движение вокруг точки симметрии вращающейся обрабатываемой поверхности детали. Тем самым обеспечивается активное самозатачивание инструмента, рабочая поверхность брусков очищается от стружки и шлама, сохраняются высокие режущие свойства инструмента на всем протяжении обработки. Кроме того, кинематика процесса обработки обеспечивает повышенный сьем металла по краям обрабатываемой поверхности, что надежно предотвращает вогнутость образующей.

Предложенная технология явилась основой развития принципиально нового направления в создании технологического оборудования для суперфинишной обработки. Последние модели многобрусковых суперфинишных автоматов осуществляют обработку широкого спектра деталей, в том числе колец подшипников различных типов, коротких втулок, осей,

шаровых поверхностей и т.д. Основными преимуществами этих автоматов по сравнению с лучшими мировыми аналогами являются следующие:

1. Высокая производительность, так как в работе участвует одновременно несколько абразивных брусков, а инструмент в процессе обработки самоочищается от стружки и шлама и постоянно сохраняет высокие режущие свойства.

2. Высокая исправляющая способность процесса, так как за счет одновременной работы нескольких инструментов активно исправляется не только волнистость, но и гранность и даже овал.

3. Гарантированное обеспечение выпуклости профиля дорожки качения в заданных пределах, за счет оригинальной кинематики процесса.

4. Простота обслуживания автомата, невысокая потребная квалификация наладчика, так как не требуется тщательной настройки автомата за счет того, что абразивный инструмент самоустанавливается относительно обрабатываемой поверхности.

5. Низкие затраты электроэнергии – в 2-3 раза ниже, чем у аналогов.

6. Небольшие потребные производственные площади, так как автомат имеет небольшие габариты за счет осуществления процесса обработки за один установ и др.

7. Высокая универсальность автомата, так как при простой переналадке он может использоваться для обработки внутренних, наружных, цилиндрических, сферических, со сложным профилем, конических и других поверхностей деталей, в том числе колец двухрядных подшипников.

В качестве примера ниже приведены результаты многобрускового суперфиниширования дорожек качения колец шариковых однорядных, шариковых двухрядных и конических подшипников.

#### Внутренние кольца подшипников серии 204

Наименование показателей	После шлифования	После суперфиниширования
Шероховатость $R_a$	0,58...0,63 мкм	0,08...0,16 мкм
Волнистость	0,25...0,30 мкм	0,10...0,05 мкм
Некруглость	2...4 мкм	1,5...2,5 мкм
Отклонение профиля	5...8 мкм	1,5...6,0 мкм

Высокая практическая значимость полученных результатов подтверждается тем, что многобрусковые суперфинишные автоматы, работающие по предложенной технологии, производятся серийно Саратовским НПП НИМ и успешно эксплуатируются на Саратовском подшипниковом заводе, на 10-м подшипниковом заводе г. Ростова. Указанные автоматы мо-



Многобрусковый суперфинишный автомат модели MCA-2000

гут применяться не только в подшипниковой промышленности, но и в автомобильной промышленности, станкостроении, производстве двигателей, приборостроении и т.д.

#### Наружные кольца конических подшипников 7506

Наименование показателей	Конус 1°	Конус 4°	Конус 7°	Конус 11°
Изменение угла конуса	+12"	-12"	+10"	-20 "
Непрямолинейность до после	-8 мкм +2 мкм	-10 мкм + 3 мкм	-11 мкм +1 мкм	-10 мкм +3 мкм
Шероховатость $R_a$ до после	0,5 мкм 0,08 мкм	0,7 мкм 0,10 мкм	0,6 мкм 0,10 мкм	0,5 мкм 0,12 мкм
Волнистость: до после	0,3 мкм 0.05 мкм	0,4 мкм 0,04 мкм	мкм 0,05 мкм	0,3 мкм 0,05 мкм
Некруглость: до после	1,0 мкм 0,55 мкм	1,2 мкм 0,60 мкм	1,1 мкм 0,55 мкм	1,0 мкм 0,55 мкм

#### Наружные кольца конических подшипников 257907

Наименование показателей	После шлифования	После суперфиниширования
Разноразмерность дорожек	4...6 мкм	4...6 мкм
Шероховатость $R_a$	0,58...0,63 мкм	0,12 мкм
Волнистость	0,25...0,30 мкм	0,03...0,05 мкм
Некруглость	2...4 мкм	1,5...2,5 мкм
Отклонение профиля	5...8 мкм	1,5...5,0 мкм

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Новые прогрессивные технологии машиностроительного производства. Ч. 2. Теоретические основы многобрускового формообразующего суперфиниширования с локализацией контакта инструмента и обрабатываемой поверхности / А.В. Королев, А.М. Чистяков, О.Ю. Давиденко, А.А. Королев. Саратов: СГТУ, 1997. 216 с.

2. Патент № 2072295 (РФ). Способ чистовой обработки / А.В. Королев и др. // Бюл. изобр. 1997. № 3.

3. Королев А.А. Современная технология формообразующего суперфиниширования поверхностей деталей вращения сложного профиля / А.А. Королев. Саратов: СГТУ, 2001. 156 с.

#### **Королев Альберт Викторович –**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Технология машиностроения»  
Саратовского государственного технического университета

#### **Крайнов Сергей Сергеевич –**

заместитель генерального директора по производству  
ОАО «Саратовский подшипниковый завод»

---

---

## НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

---

---

УДК 541.136

**А.М. Михайлова**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ И МЕХАНИЗМОВ ГЕТЕРОГЕННЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, С ЦЕЛЬЮ СОЗДАНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И УСТРОЙСТВ**

*Рассматривается практическое приложение ионики твердого тела для создания новых приборов и устройств.*

**A.M. Mikhailova**

### **THE STUDIES IN KINETICS AND MECHANIZMS OF HETEROGENEOUS CHEMICAL PROCESSES FOCUSED ON NEW MATERIALS AND DEVISES PRODUCTION**

*The practical usage of ionics of a hard material in new units and devices production are described in this article.*

Сформулированная тематика научной программы предполагает решение ряда научных задач, связанных с изучением кинетики и механизма гетерогенных химических и электрохимических процессов, протекающих в твердых телах, и транспортных свойств при наложении электрического поля.

Представленные научные исследования относятся к новой области знаний – ионике твердого тела. Ионика твердого тела – раздел науки, возникший в 70-х годах на стыке наук химии и физики твердого тела. В основе ионики твердого тела лежит открытие, исследование и использование явления быстрого ионного переноса в твердых телах. Работы по фундаментальным и прикладным проблемам данного раздела науки интенсивно ведутся в настоящее время во всех промышленно развитых странах [1]. Ионика твердого тела является основой для создания принципиально новых приборов и устройств, которые могут быть названы твердотельными ионными преобразователями. К ним относятся твердотельные химические источники тока, топливные элементы водородной энергетики, конденсаторы, элементы памяти, электрохромные индикаторы и дисплеи, сенсорные системы и т.д.

Актуальность ионики твердого тела определяется перспективами, которые открывают развитие и реализация твердотельных ионных преобразователей. Их принципиальными преимуществами являются: широкий диапазон температур ( $-100 \dots +700$  °С), устойчивость к механическим воздействиям – ударам, вибрациям, ускорениям и т.п., миниатюризация, длительные сроки службы и сохранности, возможность изготовления ионных приборов в едином технологическом цикле с элементами микроэлектроники.

Исходными соединениями, сырьем для получения новых материалов суперионных и суперэлектронных проводников, относящихся к классу твердых электролитов и органических металлов, являются полимерные матрицы и органические гетероциклические соединения, обладающие свойствами организации переноса заряда, т.е. в результате химического взаимодействия с металлами и их солями могут образовываться комплексы с переносом заряда. Разработаны методики синтеза полимерных матриц на основе полиакрилонитрила и полипропилена, 4Н-тиопирановых структур моно-, би-, а- трициклических рядов и способы получения новых электрохимически активных материалов.

На рис. 1 представлены макетные образцы различных преобразователей энергии и информации, основными компонентами которых являются новые материалы, полученные с использованием нанотехнологий. Более 50 авторских свидетельств и патентов защищают разработанные с 1989 г. в лаборатории ионики твердого тела кафедры «Химия» СГТУ новые материалы и устройства.

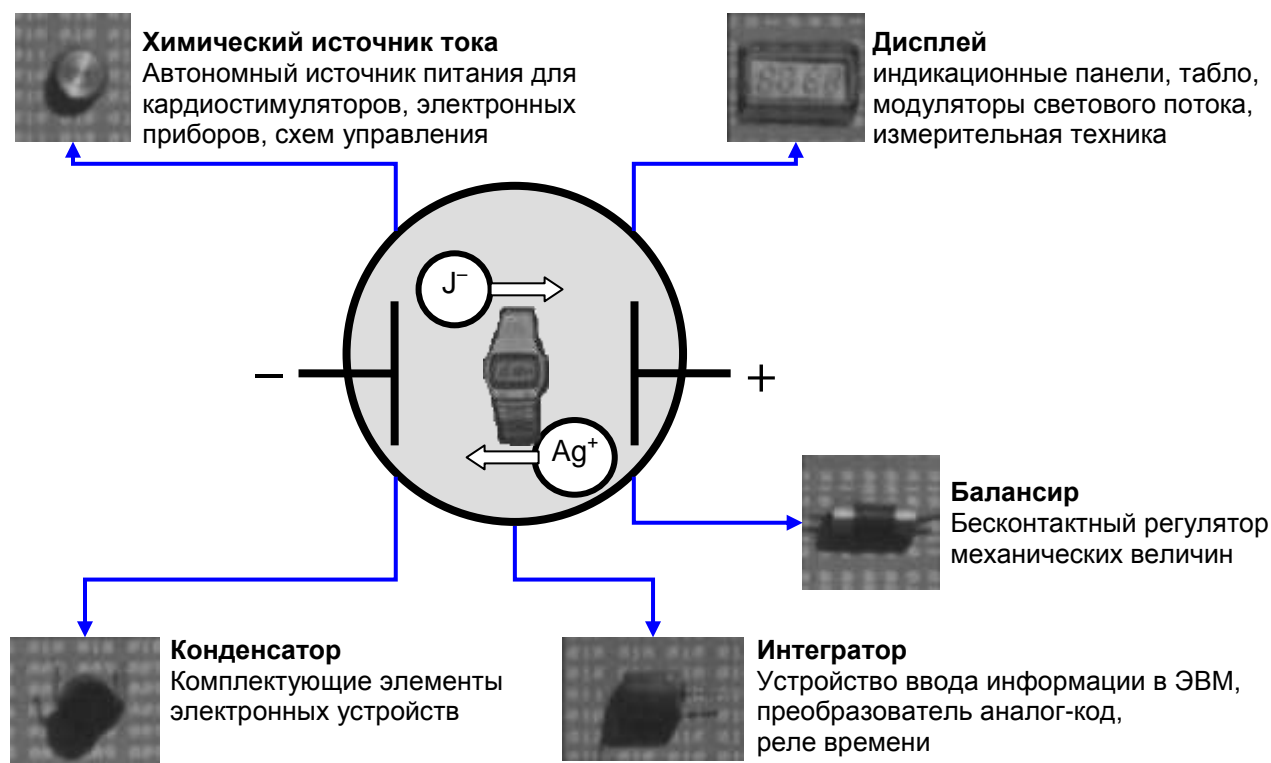


Рис. 1. Макетные образцы различных преобразователей энергии и информации, разработанные в лаборатории ионики твердого тела Саратовского государственного технического университета

Выполнение указанного научного направления на отдельных этапах работы велось и ведутся в настоящее время с участием соответствующих академических институтов РАН: Института физики твердого тела, Института новых химических проблем, Института химической физики (Черноголовка), Ногинского научного центра РАН, Института физики твердого тела им. Иоффе (Санкт-Петербург), Института физики твердого тела Новосибирского отделения РАН, Института высокотемпературной электрохимии УРО РАН (г. Екатеринбург) и т.д., а также научно-производственных объединений: НИИ «Телевидение» (г. Санкт-Петербург), Химавтоматика (г. Москва, г. Смоленск), НИИХИТ (г. Саратов), НИИ «Волга» (г. Саратов), Сарэнерго (г. Саратов) и т.д.

Руководителями отдельных этапов научной программы являются доктора наук, защитившие диссертации в этом научном направлении: А.В. Гороховский, И.Д. Кособудский, И.Е. Шпак, В.Г. Гофман, Н.В. Архипова, А.М. Михайлова – сотрудники кафедры «Химия»



СГТУ, профессор И.Ф. Гунькин, заведующий кафедрой «Физическая и органическая химия» (Энгельсский технологический институт). В настоящее время на кафедре успешно выполняют диссертационные работы докторанты к.т.н. В.В. Симаков и к.х.н. В.В. Ефанова.

**Твердотельные протонпроводящие электролиты для преобразователей энергии и информации.** Широкое распространение при создании средств автоматизации, преобразователей информации, сенсорных устройств и т.д. приобретают твердые электролиты – суперионные проводники (ТЭЛ). Большая часть известных супериоников представляют собой кислородсодержащие соединения. Из них наиболее изученным и часто используемым в электрохимической практике является полиалюминат натрия ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Особое место среди всех изученных проводников занимают твердые электролиты с протонной проводимостью. Общим для этих веществ является то, что в их состав входит вода. В табл.1 представлены основные вещества этого класса электролитов и их электрофизические характеристики.

Таблица 1

Ионная проводимость  $\sigma$  и энергия активации  $E$  протоников при 293 К и относительной влажности воздуха  $H$

Электролит	$\sigma$ , см/см	$H$ , %	$E$ , эВ
$\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$	$-0,2 + 4,6 \cdot 10^{-3}$	57-84	0,43
$\text{Na}_3\text{HPW}_{12}\text{O}_{40} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	16-84	0,45
$(\text{NH}_4)_2\text{HPW}_{12}\text{O}_{40} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	57-84	0,19
$(\text{NO}_2)_2\text{C}_{10}\text{SO}_4\text{H}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	60	0,20
$\text{Zr}(\text{HPO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	$3,4 \cdot 10^{-8}$	40-60	$0,40-1,25 \cdot 10^{-3}$
$\text{H}_2\text{UO}_2\text{PO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	60	0,32
$\text{H}_2\text{Sb}_2\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	–	0,24
$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_6\text{S} \cdot \text{H}_2\text{O}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	52-60	0,32
$\text{Pr}(\text{C}_6\text{H}_3\text{ONCOHCOHSO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	50-60	–
$\text{Sm}(\text{C}_6\text{H}_3\text{ONCOHCOHSO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	50-60	0,62
$\text{Fe}_2(\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_6\text{S})_9 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	50-60	0,2

ТЭЛ (8-11, табл. 1) полученные и исследованные в лаборатории ИТТ СГТУ, представляют собой гидраты твердых кислот или их солей [3-5]. Их свойства существенно зависят от влажности окружающей среды, влияющей на степень гидратации. Электронная составляющая проводимости  $\sigma_e$  протонпроводящего твердого электролита оценивается по величине остаточного тока при наложении на инертные электроды-токосъемы разности потенциалов, меньшей потенциала разложения электролита. Ее величина на воздухе практически для всех  $\text{H}^+$ -твердых электролитов имеет порядок  $< 10^{-6}$  см/см при 293 К.

Основные критерии выбора твердого электролита с проводимостью по протонам  $\text{H}^+$  можно сформулировать следующим образом:

- 1) максимальная ионная проводимость твердого электролита;
- 2) минимальная электронная составляющая проводимости твердого электролита, обеспечивающая минимальный дрейф потенциала;
- 3) высокий потенциал разложения.

**Химические преобразователи энергии.** Интенсивное развитие современной энергетики и транспорта ведет человечество к крупномасштабному энергетическому и экологическому кризису. Однако существует практически неиссякаемый возобновляемый источник энергии – водород. Водородная энергетика сформировалась как одно из направлений развития научно-технического прогресса более 30 лет назад. Работы по водородной энергетике во многих странах относятся к приоритетным направлениям социально-экономического разви-

тия и находят все большую поддержку со стороны как государства, так и частного бизнеса. Ведется активный поиск путей перевода большинства энергоемких отраслей промышленности, включая транспорт, на водородное топливо и электрохимические генераторы на основе использования топливных элементов (ТЭ), схема которого представлена на рис. 2.

С прогрессом в области разработки энергоустановок на основе ТЭ связывается надежда на решение проблемы обеспечения человечества возобновляемыми экологически чистыми энергоресурсами, а также возможность изменения и совершенствования системы энергоснабжения (электро- и теплоснабжения) различных объектов – от сотовых телефонов, компьютеров и автомобилей до жилых домов, крупных промышленных предприятий и в целом городов.

В качестве электролита используется твердая полимерная мембрана (тонкая пластмассовая пленка, которая проводит водородные ионы (протоны) с анода на катод). Они обеспечивают высокую плотность тока, что позволяет уменьшать их вес, стоимость, объем и улучшать качество работы. Неподвижный твердый электролит упрощает герметизацию в процессе производства, уменьшает коррозию и обеспечивает более долгий срок службы ТЭ. Эти ТЭ работают при низких температурах (ниже  $100^{\circ}\text{C}$ ), что ускоряет запуск и реакцию на изменения потребности в электричестве. Они идеально подходят для транспорта и стационарных установок небольшого размера.

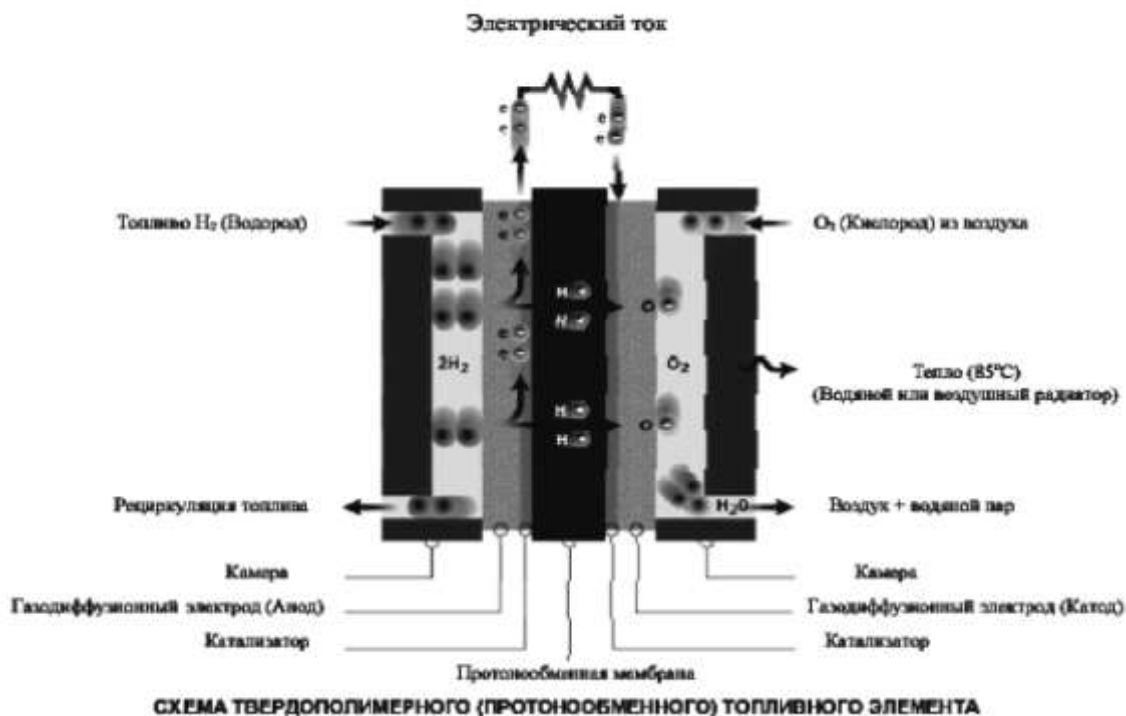


Рис. 2. Схема топливного элемента с протонпроводящим ТЭЛ

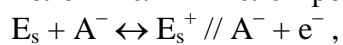
В табл. 2 приведены основные характеристики топливных элементов и электрохимических энергетических установок (ЭЭУ), разработанных на их основе в настоящее время в мировых научно-исследовательских центрах [2].

Твердые протонпроводящие ТЭЛ (8-11, табл. 1) могут быть положены в основу разработок технических устройств, представленных в табл. 2.

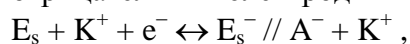
**Сверхъёмкие конденсаторы (ионисторы).** Одной из новейших разработок элементной базы радиотехники является двойнослойный сверхъёмкий конденсатор (ДСК), который состоит из двух пористых поляризуемых электродов и протонпроводящего электролита. Процесс энергосбережения в ДСК осуществляется посредством разделения заряда на двух

электродах с достаточно большой разностью потенциалов между ними. Электрический заряд ДСК определяется емкостью двойного электрического слоя (ДЭС). Электрохимический процесс в ДСК можно представить следующим образом:

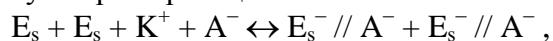
положительный электрод



отрицательный электрод



суммарная реакция



где  $E_s$  представляет поверхность электрода; // – ДЭС, где заряд аккумулируется на обеих его сторонах;  $K^+$  и  $A^-$  – катионы и анионы электролита.

Таблица 2

Характеристики топливных элементов и энергетических установок на их основе

Характеристики топливных элементов		Технические характеристики современных ЭЭУ	
Электролит	ИОМ	Единичная мощность	до 0,25 МВт
Температура	343-363 К	Суммарная мощность	2 МВт
Восстановители	Технический $H_2$	Ресурс, ч	до 10 000
Материал анода	$C + Pt$	КПД для $CH_4$ электрический	35...37 %
Материал катода	$C + Pt$	Преимущества	Высокая удельная мощность, отсутствие жидкого электролита, высокая маневренность
Плотность тока	3...5 кА/м <sup>2</sup>	Недостатки	Необходимость глубокой очистки от каталитических ядов и регулирование влажности мембран, трудность утилизации
Напряжение	0,85...0,75 В		
Ресурс	до 20 000 ч.		
Недостатки	Потребности в Pt высокая чувствительность к ядам и влажности ИОМ		

Во время заряда и разряда изменяются плотность заряда на границе раздела электрод/твердый электролит и концентрация электролита. В ДСК применяются также твердые полимерные электролиты. Они обладают следующими преимуществами: отсутствием токов утечки, малой воспламеняемостью, возможностью тонкослойного изготовления.

Проводятся исследования механизма и кинетики химических реакций в полимерных органических матрицах с целью получения новых материалов для ДСК и для записи и хранения информации [6]. Актуальной проблемой в настоящее время является выяснение закономерностей процесса получения металлополимерных композитов, включающего в себя механизм образования частиц металлов и их стабилизацию в матрице органического полимера. Последний процесс является необходимым в связи с возможной агрегацией наночастиц металлов. Существует большое количество методов получения наночастиц различного состава, в том числе и металлосодержащих. Методы введения наночастиц в матрицы различной природы разработаны также достаточно широко [7]. Однако методы получения наночастиц оксидов металлов не разработаны столь подробно. В отличие от методов получения металлических частиц имеются лишь отдельные примеры синтеза таких частиц. Наиболее актуальными, на наш взгляд, являются методы, в которых образование наночастиц происходит непосредственно в среде матрицы, поскольку состав, строение и свойства таких частиц будут за-

висеть от природы матрицы. В данной работе использовался метод высокоскоростного термического разложения металлсодержащих соединений в среде термопластичного полимера.

Обобщенная методика получения материалов, содержащих наночастицы в полимерной матрице, приведена в работах [6,7]. В данной работе рассмотрен синтез наночастиц различных оксидов металлов и углерода в матрице полиэтилена, полученных по этой методике, а также проведен детальный анализ их состава и строения.

Композитный электрод, состоящий из ацетиленовой сажи и полимерного электролита, исследован в качестве электрода для ДСК. Композитные электроды показали более высокие емкости, чем угольные электроды с органическим связующим. На рис. 3 приведена схема ДСК.

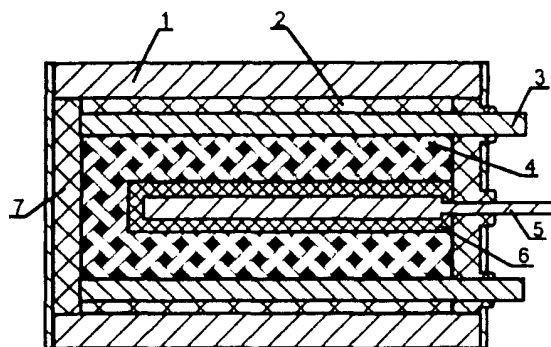


Рис. 3. Схематическое изображение конденсатора:

1 – корпус; 2 – изолятор; 3 – токоотвод отрицательного электрода;  
4 – отрицательный электрод; 5 – положительный электрод; 6 – ТЭЛ; 7 – герметик

Основной причиной разработки ДСК была необходимость в перезаряжаемых энергетических устройствах, которые имеют существенно более высокую удельную мощность и циклируемость, чем аккумуляторы. ДСК отличаются очень высокой обратимостью заряд-разрядных процессов по сравнению с традиционными аккумуляторами (циклируемость порядка тысяч миллионов циклов вместо нескольких сотен или тысяч циклов для аккумуляторов), способностью отдавать высокие мощности (соответствующие плотностям токов в сотни  $\text{mA}/\text{cm}^2$ ) в течение коротких промежутков времени, работоспособностью в очень широком интервале температур ( $-50\dots+60^\circ\text{C}$ ), герметичностью.

Благодаря вышеперечисленным качествам особенно перспективным является применение ДСК в пусковых конденсаторных системах, где ДСК подсоединяются параллельно к аккумуляторной батарее. Использование ДСК приводит к существенному увеличению срока службы аккумулятора за счет того, что ДСК берет на себя пиковые нагрузки при запуске двигателя. Особенно велико преимущество использования ДСК при низких температурах от  $-20$  до  $-50^\circ\text{C}$ .

Очень важной областью применения ДСК является использование их в комбинации с двигателями внутреннего сгорания в автомобилях в целях рекуперации энергии торможения автомобиля. Эта энергия в течение очень коротких интервалов времени запасается в ДСК, а затем отдается им в периоды, когда требуется реализация очень большой мощности. Аналогичное применение ДСК в различных современных гибридных системах планируется многими фирмами. Одним из примеров такой гибридной системы является комбинация «топливный элемент – ДСК» в электромобиле. В этой системе ДСК используется в режимах реализации максимальной мощности. Большим преимуществом ДСК является то, что они обладают большой удельной мощностью, а также могут заменить аккумуляторы в источниках бесперебойного питания, например, в компьютерах.

Электрические характеристики твердофазного единичного модуля ДСК, с диаметром 5 мм и высотой 3 мм, изготовленного в лаборатории ИТТ СГТУ на основе системы:  $\text{Pd}(\text{H}_2) \mid \text{ТЭЛ} \mid \text{С композит}, \text{ТЭЛ}$ , где в качестве ТЭЛ использовалась сульфосалициловая кислота:

Напряжение, В	0,9...1,2
Емкость, Ф/см <sup>3</sup>	5...9
Рабочий ток, мкА/см <sup>2</sup>	250...500
Ток утечки, мкА/см <sup>2</sup>	10 <sup>-1</sup> ...10 <sup>-2</sup>

**Высокоэнергетические ХИТ с анодом из щелочного металла Li.** Одним из оригинальных способов реализации преобразователей энергии является изготовление ХИТ путем непосредственного контакта катода и анода (без ТЭЛ).

Специфичность органических комплексов с переносом заряда и ион-радикальных солей с проводимостью порядка  $10^{-2} \dots 10^{-6}$  См/см заключается в том, что при контакте некоторых из них со щелочными и щелочно-земельными металлами вместо короткого замыкания по электронным носителям заряда возникает ЭДС. Такая система может функционировать как источник энергии. Проведены исследования поведения электрохимических систем, организованных путем непосредственного контакта анода – щелочного металла (Li или Li-Al-сплав) и катода – органического полупроводника, выбранного из ряда производных фенотиазина (ФТА), тиопирана (ТП) и бензофульвалена (БТФ).

Анализ полученных результатов показал, что комплексы с анион-радикалом, относящиеся к органическим полупроводникам *n*-типа, не обладают способностью формировать при контакте со щелочным металлом диэлектрический переходный слой. ЭДС таких систем равна нулю, характер контакта омический. Комплексы с переносом заряда (КПЗ), относящиеся к полупроводникам *p*-типа, ведут себя иначе. При их контакте со щелочным металлом значения ЭДС сохраняются постоянными в течение длительного времени (год и более). Для йодных комплексов значения ЭДС близки к термодинамически рассчитанным для реакции образования иодида соответствующего металла. Полное сопротивление таких систем и величина генерируемого ими тока определяются в основном объемным сопротивлением органического полупроводника и контактным сопротивлением его границы с активным щелочным металлом.

Типичные разрядные кривые, представленные на рис. 4, имеют характерный горизонтальный участок в области малых разрядных токов.

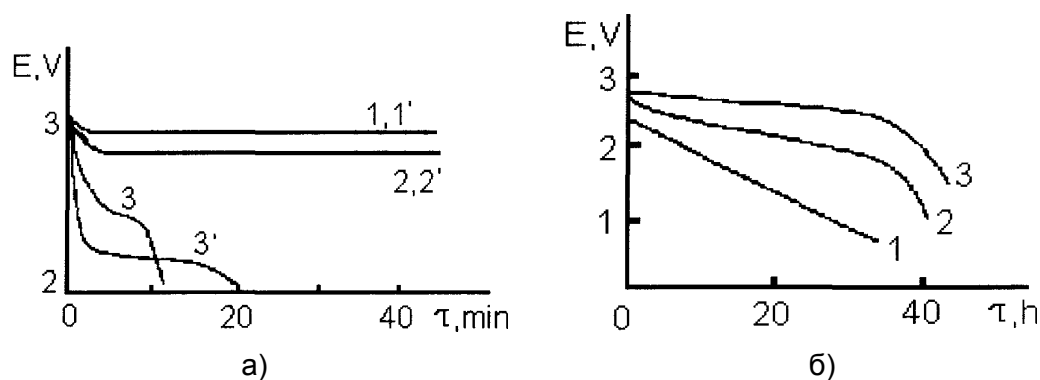


Рис. 4. Типичные разрядные кривые систем:  
а – Li|БФ·J<sub>3</sub>; б – Li-Al-сплав| 2ФТА·nJ<sub>2</sub> + С

Основные характеристики ХИТ, изготовленного методом короткого замыкания катода и анода:

ЭДС, В	2,3...4,2
Ток разряда, мкА	10...1000
Ток заряда, мкА	10...100
Разрядное напряжение, В	2...3,4
Емкость, мА·ч	30...80
Теоретическая удельная энергия, Вт·ч/кг	500...3000
Практическая удельная энергия, Вт·ч/кг	100...300
Температурный диапазон, °С	- 40...+100

При габаритах макета, представленного на рис. 1, диаметром 7,9 мм и высотой 3,6 мм, изготовленный в лаборатории ионки твердого тела ХИТ прошел успешную апробацию в часах «Электроника».

**Преобразователи информации для химического анализа состава газовых сред.** Твердотельные газовые сенсоры могут быть использованы в качестве комплектующих при разработке диагностических комплексов энергооборудования и в экологическом мониторинге.

**Системы распознавания запахов типа «электронный нос».** Тонкопленочные варианты на основе оксидов металлов были использованы в качестве активных слоев химических сенсоров резистивного типа, которые используют для детектирования газов эффект влияния адсорбированных частиц газа на сопротивление материала активного слоя. Высокая чувствительность оксидных слоев к различным газам обычно достигается при повышенных температурах, способствующих увеличению подвижности ионсорбированных частиц на поверхности слоя. В настоящее время наблюдаются тенденции миниатюризации газовых сенсоров, перехода на микроэлектронную технологию их изготовления и создания на их основе систем распознавания запахов типа «электронный нос».

Оснащение компьютеров средствами распознавания запахов типа «электронный нос» позволит открыть новые горизонты в управлении процессами горения, транспортировки и переработки энергоносителей, топливными технологиями, генерацией электричества, передачей, преобразованием и хранением тепла. В целом это окажет положительное влияние на развитие экономики за счет улучшения управляемости и повышения безопасности технологических процессов практически во всех отраслях деятельности человека, включая не только энергетику, но и промышленность, сельское хозяйство, медицину, биотехнологии, экологию, службы безопасности и т.д.

Проведенные исследования электрофизических характеристик тонкопленочных сенсорных матриц показали [8-9], что в низковольтной области ( $< 5$  В) вольт-амперные характеристики были практически линейными, в высоковольтной ( $> 5$  В) – сублинейными (рис. 5). После обработки в двойном логарифмическом масштабе их можно было аппроксимировать двумя отрезками прямых, соответствующих степенным функциям вида  $I = AU^n$ , где  $I$  – ток;  $A$  – постоянная аппроксимации;  $U$  – напряжение;  $n$  – показатель степени. В низковольтной и высоковольтной областях и для величины  $A$  и для величины  $n$  получались разные значения.

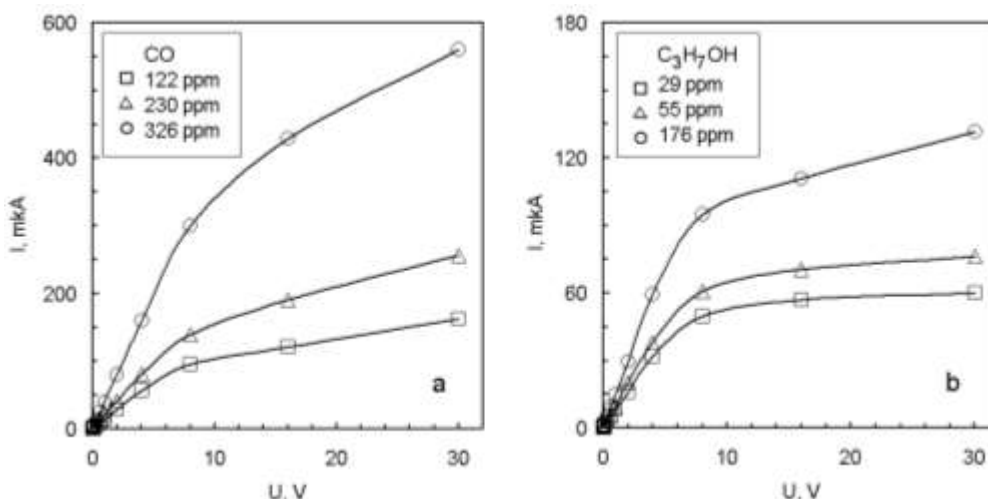


Рис. 5. ВАХ тонкопленочной газочувствительной структуры на основе  $\text{SnO}_2$

На рис. 6 представлена зависимость показателя степени  $n$  от концентрации примеси в газовой пробе. В низковольтной области величина  $n$  практически не зависела от сорта и концентрации примеси и была равной приблизительно единице. В области напряжений выше

5 В (напряженность поля выше  $10^3$  В/см) показатель степени  $n$  существенно зависел от сорта восстановителя и значительно слабее от его концентрации. Эту особенность можно использовать для распознавания сорта газа. Величина постоянной  $A$  в низковольтной области фактически является величиной, обратной сопротивлению структуры. С ростом концентрации примеси в пробе газа сопротивление структуры уменьшается (рис. 5), что обычно используют для определения содержания примеси в воздухе.

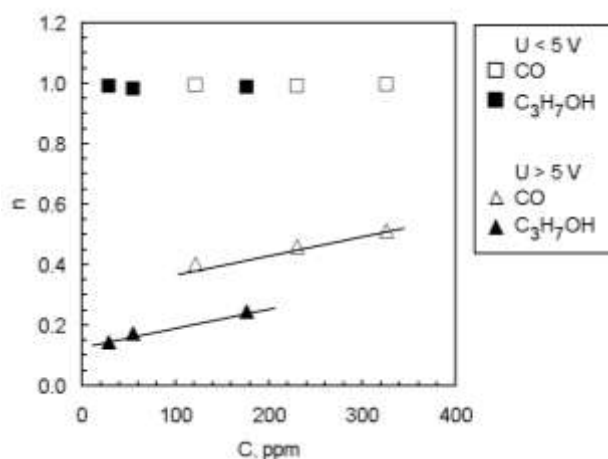


Рис. 6. Зависимость показателя степени  $n$  от концентрации примеси в пробе

Отмеченные особенности вольт-амперных характеристик могут быть объяснены, если предположить, что адсорбированные на поверхности пленки частицы кислорода заряжаются, захватывая электрон из объема слоя, и при наложении внешнего поля дрейфуют к аноду. В области анода они с течением времени возвращают электроны в объем пленки или контакт и десорбируются. Если время дрейфа адсорбированных частиц от катода к аноду меньше их времени жизни на поверхности (область сильных полей), то, накапливаясь вблизи анода, они вызывают обеднение приэлектродной области. Ток вблизи анода в основном переносится зарядами, локализованными на адсорбированных частицах, и теми свободными носителями, которые появляются в результате десорбции. Вследствие более низкой подвижности адсорбированных частиц по сравнению с подвижностью свободных носителей заряда и/или сравнительно слабого тока десорбции, в структуре формируется высокоомная область, а ее дифференциальное сопротивление при больших напряжениях оказывается выше сопротивления структуры при малых значениях напряжения.

Таким образом, нелинейность вольт-амперных характеристик структуры на основе тонкой пленки оксида олова в области сильных электрических полей может быть обусловлена эффективным дрейфом в электрическом поле адсорбированных ионов газа вдоль поверхности. Следовательно, поверхностный слой обладает свойствами суперионного проводника.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коровин Н.В. Электрохимическая энергетика / Н.В. Коровин. М.: Энергоатомиздат, 1991. 320 с.
2. Коровин Н.В. Топливные элементы и энергоустановки на их основе / Н.В. Коровин. Обнинск: Изд-во ГНЦ, 1990. 82 с.
3. Михайлова А.М. Принципы определения токовых режимов работы твердотельного интегратора / А.М. Михайлова, И.Е. Шпак // Журнал прикладной химии. 2001. Т. 74. № 9. С. 1448-1452.

4. Михайлова А.М. Твердые литийпроводящие электролиты в системе  $\text{Li}_2\text{S}-\text{Sb}_2\text{S}_x$  / А.М. Михайлова, Н.В. Архипова, Л.Д. Леонтьева // Электрохимическая энергетика. 2002. Т. 2. № 1. С. 51-53.

5. Михайлова А.М. Исследование самоорганизации суперионного эффекта при контакте щелочного металла с органическим полупроводником на основе производных пирана для создания ХИТ с высокой удельной энергией / А.М. Михайлова, В.В. Ефанова, Н.И. Васильченко // Электрохимическая энергетика. 2003. Т. 3. № 6. С. 502-507.

6. Медьсодержащие нанокompозиты: синтез и исследование состава / К.В. Запис, А.С. Джумалиев, Н.М. Ушаков, И.Д. Кособудский // Письма в журнал технической физики. 2004. Т. 30. № 6. С. 4895-4896.

7. Gubin S.P. Nanomaterials Based on Metallcontaining Nanoparticales in Polyetylene and other Carbon – Chain Polymers / S.P. Gubin, G.Yu. Yurkov, I.D. Kosobudsky // International Journal of Materials and Product Technology (IJMPT), special issue « Nanocomposites – Preparation & Microstructure and Properties». 2005. Vol. 23. № 1/2. P. 3-23.

8. Симаков В.В. Нелинейные вольт-амперные характеристики тонкопленочных газочувствительных структур / В.В. Симаков // Электрохимия. 2005. Т. 41. № 5. С. 673-675.

9. Вольт-амперные характеристики газочувствительных структур на основе тонких пленок оксида олова / В.В. Симаков, О.В. Якушева, А.И. Гребенников, В.В. Кисин // Письма в журнал прикладной химии. 2005. Т. 31. № 4. С. 339-340.

**Михайлова Антонина Михайловна –**

доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой «Химия» Саратовского государственного технического университета

УДК 620.193

**С.С. Попова, А.А.Ольшанская, О.С.Волкова**

**МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ СПЛАВЫ –  
ЭФФЕКТИВНЫЕ СОРБЕНТЫ ВОДОРОДА**

*Исследована кинетика процесса сорбции водорода из водно-органического электролита ( $\text{HClO}_4$  + диметилформамид) электродами из сплавов  $\text{LiAl}$ ,  $\text{LaAl}$ ,  $\text{LiLaAl}$  до и после предварительного оксидирования и термообработки алюминиевой основы. Показано, что наиболее высокая сорбционная емкость водорода реализуется для электродов  $\text{LiLaAl}$ .*

**S.S. Popova, A.A. Olshanskaya, O.S. Volkova**

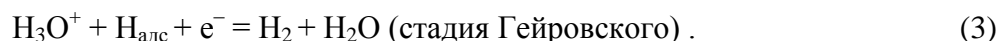
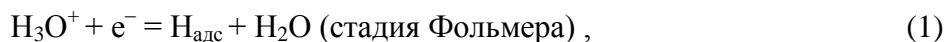
**MULTICOMPONENT ALLOYS –  
EFFECTIVE SORBENTS OF HYDROGEN**

*Kinetics of hydrogen sorption from water-organic electrolyte ( $\text{HClO}_4$  + dimethyl formamide) by  $\text{LiAl}$ ,  $\text{LaAl}$ ,  $\text{LiLaAl}$  electrodes before and after preliminary oxidizing and thermal treatment of aluminium matrix has been investigated. It is shown that higher sorption capacity realises for  $\text{LiLaAl}$  electrodes.*



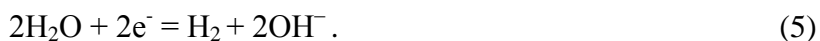
Водород, как энергоноситель и топливо, выгодно отличается такими неоспоримыми преимуществами, как высокий электрохимический эквивалент, дешевизна, практически неисчерпаемые природные запасы (в форме воды, соединений с металлами – гидридов, минеральных кислот и др.) [1].

Согласно общепринятым представлениям [2-6], реакция катодного выделения водорода протекает через ряд промежуточных стадий:



Физической основой рекомбинационной теории водородного перенапряжения Тафеля служит тот факт, что процесс рекомбинации двух атомов водорода в молекулу протекает не мгновенно, а со скоростью, на несколько порядков более низкой, чем скорости стадий (1) и (3). Процесс сопровождается значительным концентрированием энергии в образующейся молекуле, достаточной для ее обратимого распада на атомы [2-5].

Электровыделение водорода можно осуществлять как из кислых, так и из щелочных растворов [7,8]:



В некоторых случаях [7] в кислых средах водород выделяется вследствие разряда непосредственно молекул кислоты:



где  $\text{A}^-$  – анион кислоты.

Ускорение процесса выделения водорода может быть достигнуто путем применения различных физико-химических способов активации: через концентрацию и pH раствора, величину перенапряжения, температуру, путем введения в раствор различных добавок и поверхностно-активных веществ, подбором каталитически активных электродных материалов [7-13]. Особый интерес в настоящее время представляют интерметаллические соединения, способные к сорбции водорода [11-15]. Авторами [11] установлено, что атомы лития, внедренные в палладий, могут играть роль «ловушек» для водорода. Они не только уменьшают скорость переноса водорода, но и тормозят его экстракцию (в результате обратимого «ловушечного» захвата). Аналогично ведут себя атомы редкоземельных элементов [16]. Исследование реакции катодного выделения водорода на титане и интерметаллическом соединении (ИМС) TiFe в растворах  $x\text{NH}_2\text{SO}_4 + (1-x)\text{NNa}_2\text{SO}_4$  при pH=0,4–2,4 и 25°C показало, что на сплаве TiFe выполняется механизм разряд-рекомбинация при логарифмической изотерме адсорбции водорода: на катодной поляризационной кривой можно выделить два прямолинейных участка. При малых плотностях тока наклон  $\eta$ -lg*i*-зависимости составляет  $b_1=0,07-0,075$  В, при более высоких плотностях тока –  $b_2=0,18-0,20$  В. На участке с меньшим наклоном ( $b_1$ ) перенапряжение водорода почти не зависит от pH, а на втором ( $d\eta/dpH=45-58$  мВ). Электрокаталитическая активность ИМС TiFe в реакции выделения водорода выше активности титана [7].

Авторами [8] показано, что катодное выделение водорода на железе в щелочных растворах сопровождается абсорбцией атомарного водорода – переходом его с поверхности в подповерхностный слой железа. Кинетический ток проникновения является экспоненциально возрастающей функцией перенапряжения  $\eta$  выделения водорода. Константа скорости обратного процесса выхода атомарного водорода из подповерхностного слоя железа на поверхность в широком диапазоне потенциалов не зависит от  $\eta$  реакции выделения водорода.

Сорбционная емкость электродов по водороду определяется скоростью его диффузии в глубинные слои металлических матриц и способностью к удерживанию водорода «ловуш-

ками», под которыми подразумеваются дефекты структуры металла или примесные атомы [9-13]. Процесс диффузии водорода из металла, так же как и диффузии водорода в металл, подобен процессу теплопередачи. Поэтому для их описания можно использовать одни и те же дифференциальные уравнения. Это подтверждают исследования авторов [9] на техническом железе и стали марки 40ХН. Они установили, что процесс диффузии водорода из образцов технического железа и стали 40ХН, контролируется двумя параметрами: коэффициентом диффузии и интенсивностью удаления водорода с поверхности. С повышением температуры поверхности интенсивность удаления водорода снижается, при этом более резко у образцов технического железа. Установленный факт объясняется неоднозначным влиянием температуры нагрева на степень повышения коэффициента диффузии водорода и снижения скорости удаления водорода с поверхности. В результате на стали 40ХН интенсивность выделения водорода при 200-300°C оказывается выше, чем при 400°C. Количество водорода на поверхности стали 40 ХН при 300-400°C выше за счет водорода, находящегося на межфазных границах [9]. С ростом температуры доля водорода, находящегося на межфазных границах, уменьшается, и суммарное содержание водорода снижается.

Уникальной особенностью многих металлов и их сплавов является способность обратимо поглощать существенные количества водорода при достаточно высокой скорости адсорбции и десорбции [14,17-20]. Именно эта их способность предопределяет широкое применение металлических гидридов в энергетике и атомной технике для хранения и очистки водорода [18-20].

Особенности диффузии ионов водорода в покрывающих оксидных слоях объясняются [12,14,15] активностью их поверхности и особенностями строения кислородных соединений, оказывающих влияние на диффузию протона. Так, присутствие оксидного слоя на поверхности алюминия, в зависимости от условий его получения, может как заметно затруднять, так и сильно ускорять процесс катодного выделения водорода из алюминиевого электрода, изменяя кинетический закон процесса [15]. Атомы алюминия находятся в анодном оксиде в состоянии гекса- и тетраэдрической координации [15]. Состояние гексакоординации характеризуется упорядоченным и практически равномерным распределением атомов алюминия. В состоянии тетраэдрической координации распределение атомов алюминия в оксиде более случайно. Помимо обычных для шпинельной  $Al_2O_3$  структуры дефектов, связанных с нехваткой катионов, их большой неупорядоченностью и наличием искажений в ближайшем пространственном распределении, в структуре анодного оксида алюминия возникают также анионные вырождения в результате искажений  $sp^3d^2$ -гибридизации атомов алюминия при их стремлении к гексакоординации. Координационное состояние атомов алюминия в анодном оксиде зависит от состава раствора, природы электролита, режима электролиза [15].

Таким образом, оксидированный алюминий, модифицированный редкоземельными элементами и литием [21-26], может найти широкое применение в качестве эффективных поглотителей водорода.

Целью настоящей работы явилось исследование возможности электрохимического аккумулирования водорода материалами на основе сплавов литий – лантан – алюминий, формируемых по методу катодного внедрения.

### Экспериментальные данные

В настоящей работе исследована кинетика процесса сорбции водорода электродами из сплавов LiAl, LaAl, LiLaAl до и после предварительного оксидирования и термообработки алюминиевой матрицы. Сплавы LaAl, LiAl, LiLaAl готовили по методу катодного внедрения [27, 28]. Рабочим электродом служил алюминий марки А99,99 (Al фольга толщиной 80 мкм или Al проволока диаметром 3 мм) с видимой площадью поверхности 1 см<sup>2</sup>. Поверхность электрода перед экспериментом тщательно зачищали влажным стеклянным порошком, обезжиривали спиртом, промывали в рабочем растворе электролита.

Внедрение лития в Al-матрицу проводили в потенциостатическом режиме при потенциале  $E_{кат} = -2,9$  В в течение 3 часов из 1 М раствора перхлората лития  $LiClO_4$  в смеси растворителей пропиленкарбоната и диметоксиэтана (ПК+ДМЭ), взятых в соотношении (1:1) по объему. Содержание воды не превышало  $(3...7) \cdot 10^{-3}\%$ . Для приготовления сплава LaAl использовали 0,01 М раствор хлорида лантана в диметилформамиде (ДМФА). Потенциал внедрения лантана  $E_{кат} = -2,1$  В. При формировании LiLaAl электродов проводили последовательное катодное внедрение лантана, а затем лития в Al-матрицу при вышеописанных условиях. В качестве противоэлектродов применяли Al электрод ( $S \sim 10$  см<sup>2</sup>). В серии экспериментов с оксидированным алюминием исходную поверхность Al электрода подвергали жесткому травлению в растворе г·л<sup>-1</sup>: NaOH – 25, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 25 при  $t=60^\circ\text{C}$  в течение 3 мин с графитовыми противоэлектродами. Процесс последующего анодного оксидирования алюминия проводили в электролите состава, г·л<sup>-1</sup>: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 140, H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> – 30, LaCl<sub>3</sub> – 0,05 при потенциале 3,0 В в течение 3-5 минут. Противоэлектродами служили пластины из свинца ( $S \sim 10$  см<sup>2</sup>). Термообработку осуществляли при 250°C в течение двух часов.

В качестве протондонорной среды (в опытах по электросорбции водорода) использовали водный 0,1 М раствор HClO<sub>4</sub> в смеси с ДМФА, при соотношении 1:1 по объему. Процесс проводили при  $E = -0,8$  В. Длительность насыщения образцов водородом составляла от одного до девяти часов. Часть электродов насыщали водородом, выделяющимся непосредственно на исследуемом электроде, а часть – водородом, образующимся на вспомогательном платиновом катоде, изготовленном в виде спирали, внутри которой размещался исследуемый электрод. Потенциал на платиновом электроде задавался тот же (-0,8 В).

Электродом сравнения служил хлорсеребряный электрод (ХСЭ) в рабочем растворе электролита. ХСЭ готовили путем обработки серебряной пластины в 1 М растворе HCl анодным током 10 мА·см<sup>-2</sup> в течение 30 мин. При этом на поверхности формировался слой хлорида серебра. Образующийся слой AgCl обеспечивал достаточно хорошую обратимость электрода Ag, AgCl/Cl<sup>-</sup> и стабильность потенциала [29]. Электрод помещали в стеклянный сосуд и заливали рабочим раствором электролита. Этим же раствором заполняли электролитический мостик. После выдержки в растворе в течение 12 часов электрод был готов к работе. Стабильность потенциала ХСЭ проверяли не реже одного раза в месяц.

Для обоснования механизма и кинетики процессов, протекающих на электродах, использовали потенциостатический, гальваностатический, импульсный методы, метод переменного тока. Все измерения проведены на потенциостате марки П-5848 в комплекте с самопишущим потенциометром КСП-4. При проведении этих исследований использовали трехэлектродную ячейку с разделенными фильтрами Шотта катодным и анодным пространствами. При переменноточковых измерениях использовали мост переменного тока Р-5021, противоэлектродом служил стеклографитовый цилиндр ( $S \sim 40$  см<sup>2</sup>), в центре которого коаксиально помещали рабочий электрод (LiAl, LiLaAl и др.) в виде проволоки ( $S \sim 0,4$  см<sup>2</sup>). Рабочая температура 298 К.

### Результаты исследований и их обсуждение

На рис. 1 приведены потенциостатические  $i, t$ -кривые катодного внедрения лития в алюминиевую основу, подвергнутую предварительной обработке в различных условиях.

Для определения диффузионно-кинетических параметров процесса внедрения начальные участки  $i, t$ -кривых перестраивали в координатах  $i-1\sqrt{t}$  (рис. 2, а).

По угловому коэффициенту наклона  $K_\theta = \Delta i / \Delta(1\sqrt{t})$  в соответствии с уравнением Котрелла [4] рассчитывали величину  $C^\circ\sqrt{D}$  (табл. 1).

$$K_\theta = \frac{\Delta i}{\Delta(1\sqrt{t})} = z F C_{Li}^\circ \frac{\sqrt{D_{Li}}}{\sqrt{\pi}}, \quad (7)$$

где  $z=1$  – число электронов, участвующих в реакции;  $F$  – число Фарадея = 96485 Кл·моль<sup>-1</sup>;  $D$  – коэффициент диффузии лития, см<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>;  $c^{\circ}$  – начальная концентрация литиевых дефектов, моль·см<sup>-3</sup>.

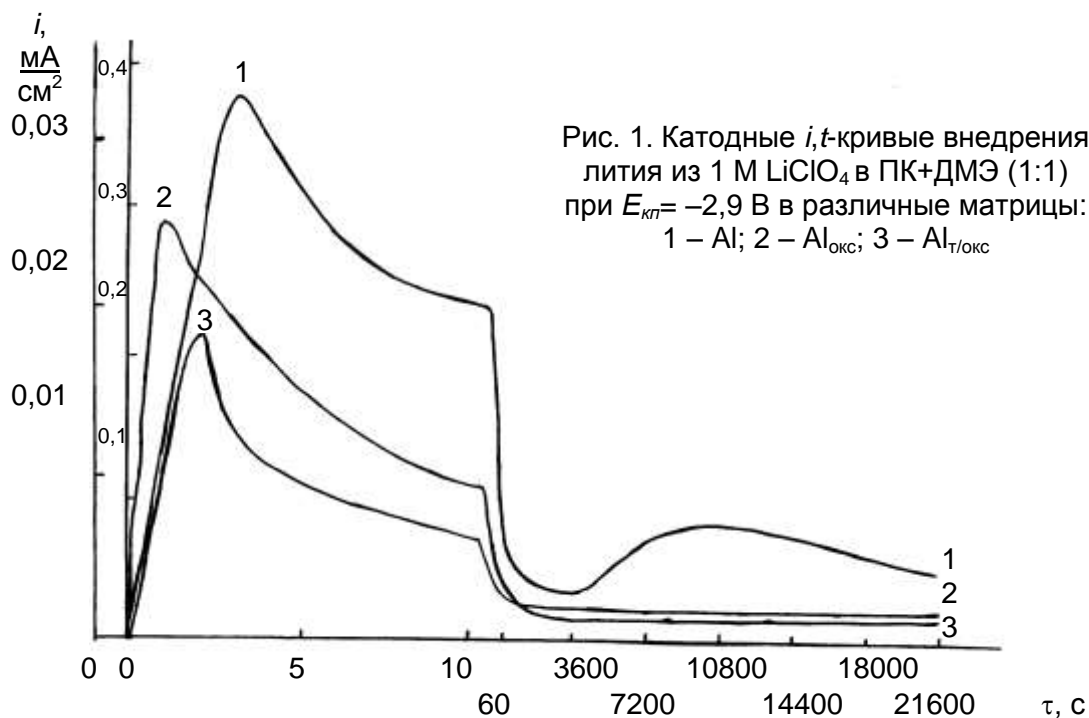


Рис. 1. Катодные  $i, t$ -кривые внедрения лития из 1 М LiClO<sub>4</sub> в ПК+ДМЭ (1:1) при  $E_{кат} = -2,9$  В в различные матрицы: 1 – Al; 2 – Al<sub>окс</sub>; 3 – Al<sub>T/окс</sub>

Таблица 1

Диффузионно-кинетические параметры внедрения лития и лантана в Al-электрод из 1 М LiClO<sub>4</sub> в ПК+ДМЭ (1:1) при  $E_{кат} = -2,9$  В,  $t_{кат} = 1$  ч, и из 0,01 М LaCl<sub>3</sub> в ДМФА при  $E_{кат} = -2,1$  В,  $t_{кат} = 1$  ч, соответственно

Электрод	$\Delta I / \Delta(1/\sqrt{t}) \cdot 10^3, \text{ А} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{1/2}$	$C^{\circ} \sqrt{D} \cdot 10^8, \text{ моль} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1/2}$
Al	0,70	13,00
Al <sub>окс</sub>	0,03	0,58
(Al <sub>T</sub> ) <sub>окс</sub>	0,25	4,70
LaAl	0,08	1,46
LaAl <sub>окс</sub>	0,07	1,30
La(Al <sub>T</sub> ) <sub>окс</sub>	0,15	3,05

Параллельно проводили анализ  $i, t$ -кривых в координатах  $\lg i - \lg t$  и  $\lg(i/t^2) - t^3$  (рис. 2, б, в), который показал, что формирование фазы LiAl в Al матрице лимитируется диффузией и происходит по механизму образования трехмерных зародышей.

Как следует из анализа данных (по значениям величин произведения  $C^{\circ} \sqrt{D}$ ), наиболее легко протекает процесс внедрения лития в неоксидированный Al-электрод. Последующее оксидирование затрудняет внедрение лития. Согласно литературным данным [21, 22, 25, 26], это можно объяснить тем, что замедленной стадией процесса в этих условиях является диффузия лития через слой оксида. Термообработка Al-электрода способствует увеличению концентрации дефектов на поверхности и формированию такой структуры оксидного слоя, которая облегчает процессы массопереноса лития (табл. 1).

Модифицирование Al-основы редкоземельными элементами способствует формированию электрохимически активной структуры, так как в этом случае также растет дефектность структуры исходного алюминия [21-26]. Процесс последующего катодного внедрения

лития в сформированные лантан-алюминиевые матрицы проводили в потенциостатическом режиме, при этом  $i, t$ -кривые фиксируют характерные для катодного внедрения максимумы тока [27, 28], указывающие на протекание процесса образования новой фазы – сплава LiLaAl на поверхности электрода (рис. 3).

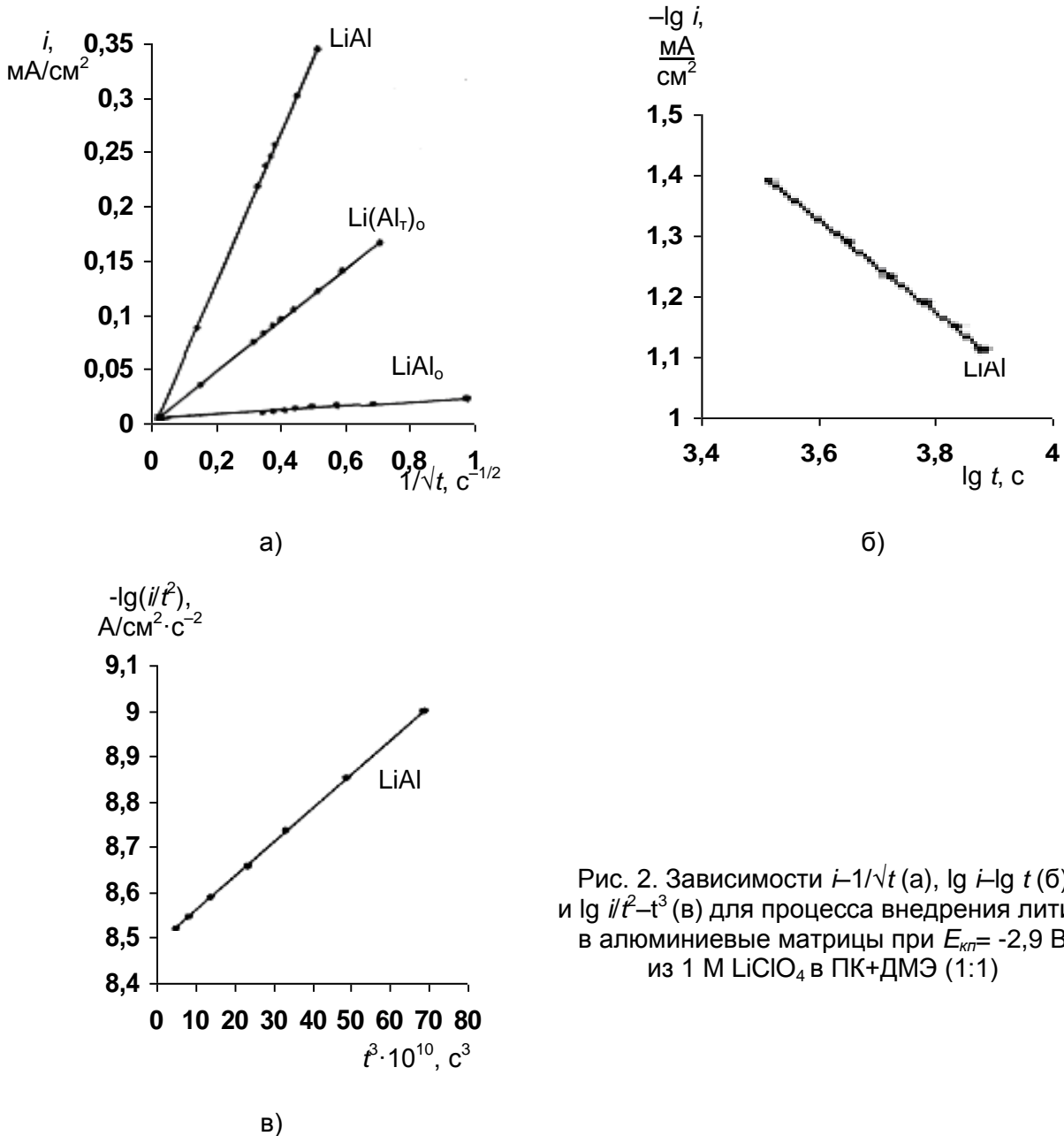


Рис. 2. Зависимости  $i-1/\sqrt{t}$  (а),  $\lg i-\lg t$  (б) и  $\lg i/t^2-t^3$  (в) для процесса внедрения лития в алюминиевые матрицы при  $E_{кат} = -2,9$  В из 1 М LiClO<sub>4</sub> в ПК+ДМЭ (1:1)

Согласно рассчитанным величинам произведения  $C^\circ\sqrt{D}$  (табл. 1), процесс катодного внедрения лантана более легко протекает также в предварительно подвергнутый термообработке оксидированный Al-электрод. Вероятнее всего, высокий положительный заряд катионов La<sup>+3</sup> и, соответственно, их малый радиус [30] облегчают взаимодействие внедряющихся ионов лантана с кристаллической решеткой оксидного слоя и процесс их последующего перемещения к внутренней границе с металлом электрода. Рассчитанные диффузионно-кинетические параметры последующего процесса внедрения лития в LaAl-электроды (табл. 2) показали, что влияние предварительной термообработки и анодного оксидирования на характер поведения модифицированного LaAl электрода в растворах LiClO<sub>4</sub> идентичен

поведению исходного Al-электрода. Действительно, и в данном случае наблюдается затруднение внедрения лития в оксидированный LaAl электрод, а оксидирование LaAl после термообработки хотя и способствует активации процесса внедрения, но он по-прежнему затруднен по сравнению с исходным LaAl электродом.

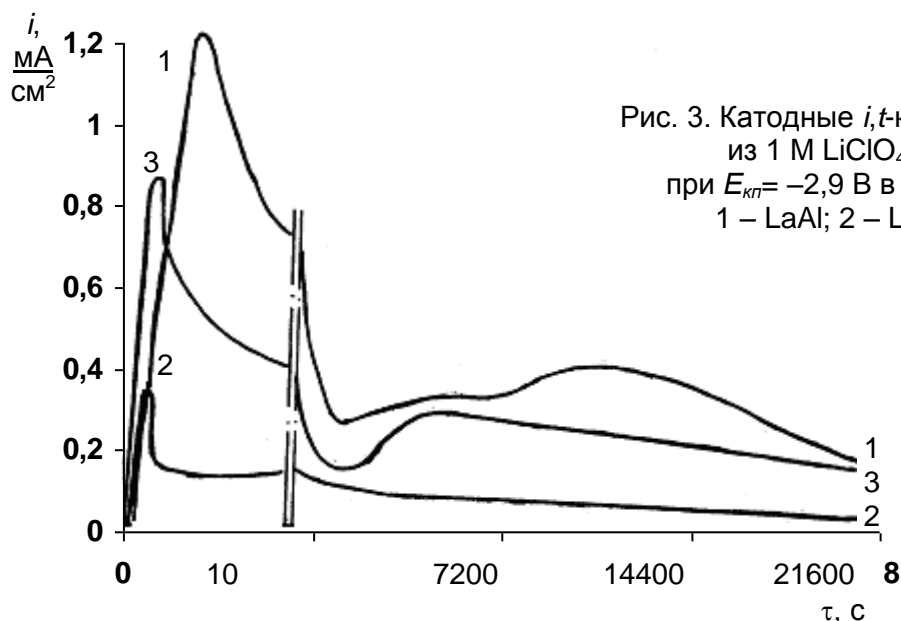


Рис. 3. Катодные  $i, t$ -кривые внедрения лития из 1 М  $\text{LiClO}_4$  в ПК+ДМЭ (1:1) при  $E_{\text{кат}} = -2,9$  В в различные матрицы: 1 – LaAl; 2 –  $\text{LaAl}_{\text{окс}}$ ; 3 –  $\text{LaAl}_{\text{T/окс}}$

Таблица 2

Диффузионно-кинетические характеристики внедрения лития в LaAl из 1 М  $\text{LiClO}_4$  в ПК+ДМЭ (1:1),  $E_{\text{кат}} = -2,9$  В,  $T = 298$  К

Электрод	$\Delta I / \Delta(1/\sqrt{t}) \cdot 10^3, \text{A} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{c}^{1/2}$	$C \cdot \sqrt{D}, \text{моль} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{c}^{-1/2}$
LaAl	1,92	3,6
$\text{LaAl}_{\text{окс}}$	0,24	0,4
$\text{La}(\text{Al}_T)_{\text{окс}}$	0,85	1,6

Для установления величины равновесного потенциала исследуемых сплавов после катодной поляризации и последующего разряда электродов снимали катодно-анодные гальваностатические кривые (рис. 4). Значения  $E_p$  после катодного внедрения и последующей анодной поляризации приведены в табл. 3.

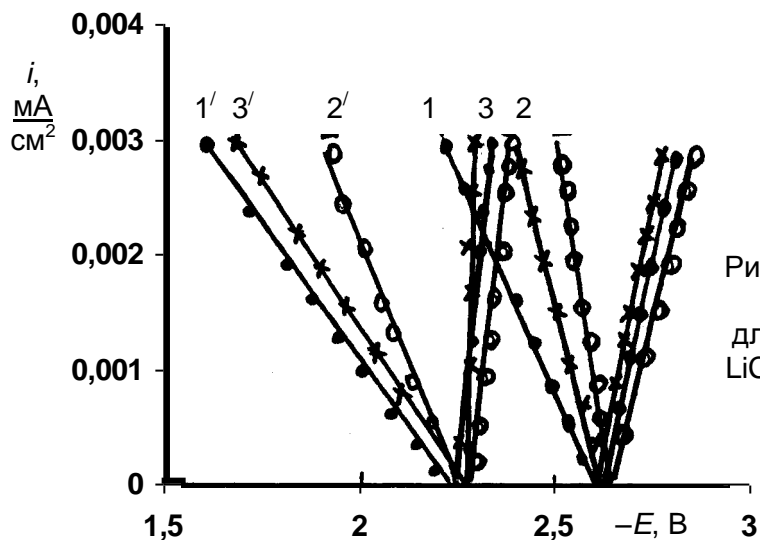


Рис. 4. Импульсные катодно-анодные гальваностатические кривые для LiLaAl электрода в 1 М растворе  $\text{LiClO}_4$  в ПК+ДМЭ (1:1) при различных  $\tau_{\text{кат}}, \text{ч}$ : 1 – 1; 2 – 3; 3 – 6

Таблица 3

Значения величин равновесного потенциала исследуемых сплавов в 1М LiClO<sub>4</sub> в ПК+ДМЭ (1:1) в зависимости от времени катодной поляризации

$t_{кп}$ , с	$-E_p$ , после катодной поляризации	$E_p$ , после анодной поляризации	Электрод
3600	2,50	1,60	LiAl
10800	2,64	1,64	LiAl
21600	2,64	1,88	LiAl
3600	1,48	1,08	LaAl
10800	1,40	1,30	LaAl
21600	1,50	1,10	LaAl
3600	2,63	2,24	LiLaAl
10800	2,64	2,28	LiLaAl
21600	2,64	2,27	LiLaAl

Из рис. 4 видно, что угол наклона больше у тех катодно-анодных «вилков», которые снимали сразу же после катодной поляризации, чем у тех, которые снимали после анодного разряда. Это можно объяснить тем, что после анодной поляризации часть внедрившихся атомов лития в Al-электрод покинула кристаллическую решетку металла основы. Вследствие этого концентрация, а, следовательно, и активность внедрившихся атомов уменьшилась, и процесс начинает протекать с большими затруднениями.

Для определения переходного времени и исследования влияния длительности катодной поляризации на устойчивость полученных сплавов снимали анодные хронопотенциограммы (табл. 4).

Таблица 4

Значения величин переходного времени  $\tau_{пер}$  процесса анодного растворения лития и соответственно лантана из исследуемых сплавов LiAl, LaAl, LiLaAl в 1М LiClO<sub>4</sub> в ПК+ДМЭ (1:1) в зависимости от длительности катодной поляризации

Электрод	$t_{кп}$ , с	$i_{ап}$ , mA·cm <sup>-2</sup>	$\tau_{пер}$ , с
LiAl	3600	0,05	255
LiAl	10800	0,05	300
LiAl	21600	0,05	600
LaAl	10800	0,05	230
LaAl	21600	0,05	375
LiLaAl	3600	4,00	288
LiLaAl	10800	4,00	585
LiLaAl	21600	4,00	936

Как видно из табл. 4, значение переходного времени  $\tau_{пер}$  для всех исследуемых электродов возрастает в зависимости от длительности предварительной катодной поляризации исходного алюминия и сплава LaAl.

Проведенный нами графоаналитический расчет в соответствии с методикой, описанной в [31], позволил установить, что с увеличением длительности  $t_{кп}$  процесса катодной поляризации сопротивление на границе фаз раствор / пассивирующий слой (ПС) увеличивается, что может свидетельствовать о формировании более плотного и толстого ПС на поверхности электрода, состоящего из продуктов разложения электролита (Li<sub>2</sub>O, Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, LiOCH<sub>3</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> и др.).

Соединения типа LiAlMe исследуются в основном как электроды, альтернативные литию для литиевых и литий-ионных аккумуляторов. Однако, как показал анализ научно-технической и патентной литературы, эти сплавы могут быть востребованы как матрицы для сорбции водорода.

По классификации Смита [32, 33], все металлы по отношению к водороду делятся на три группы: металлы класса А (куда входит литий) образуют с водородом солеобразные гидриды, металлы группы В (куда входит алюминий) образуют с водородом химические соединения с ковалентной связью (ковалентные гидриды); лантан относится к третьей группе, куда входят эндо- и экзотермические поглотители водорода. Поэтому можно ожидать, что металлические компоненты исследуемого сплава LiAlLa могут образовывать с водородом широкий спектр соединений.

Все исследования по электрохимическому внедрению водорода в модифицированные Al электроды были проведены в водном 0,1 М растворе  $\text{HClO}_4$  в смеси с ДМФА при объемном соотношении (1:1). Из всех электродов (Al, LaAl, LiLaAl) наиболее высокие скорости процессов сорбции водорода были получены для LiLaAl сплавов. На рис. 5 приведены  $i, t$ -кривые катодного насыщения водородом изготовленных LiLaAl электродов. Анализ полученных результатов показывает, что на кинетику насыщения водородом оказывают влияние длительность предварительного катодного внедрения лития, процессы оксидирования и термообработка электродов. Наиболее высокие плотности токов наблюдаются на электродах, наиболее богатых литием, полученных при времени катодной поляризации  $\tau_{\text{кат}}=6$  ч. Наиболее затруднен процесс внедрения водорода в структуру сплавов, подвергнутых предварительному оксидированию и термообработке.

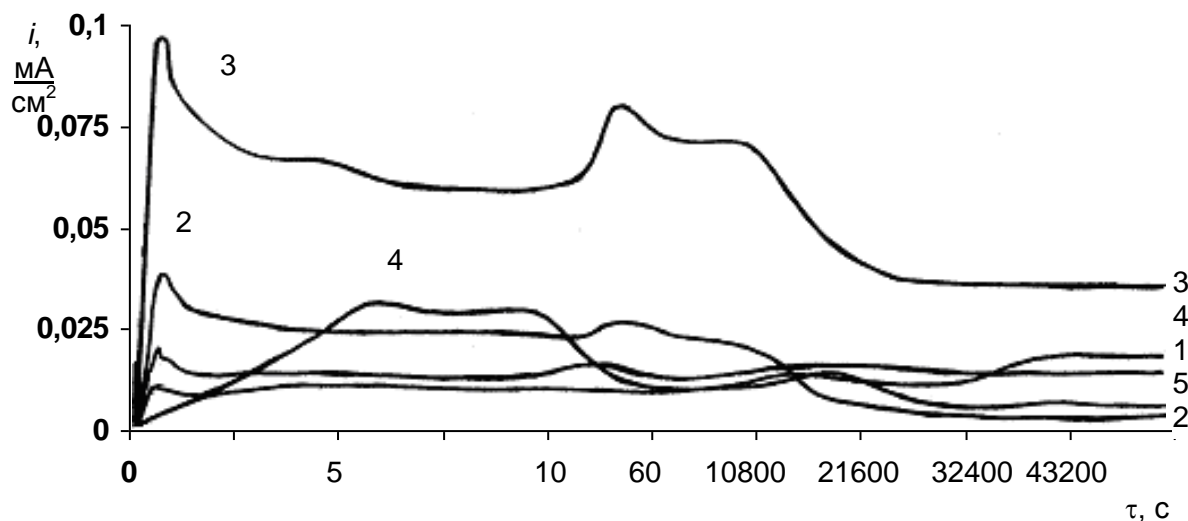


Рис. 5. Потенциостатические  $i, t$ -кривые насыщения водородом электродов: 1 – LiLaAl (1 ч); 2 – LiLaAl (3 ч); 3 – LiLaAl (6 ч); 4 – LiLaAl<sub>окс</sub> (1 ч); 5 – LiLaAl<sub>т/окс</sub> (1 ч) в растворе  $\text{HClO}_4$  + ДМФА (1:1) при  $E = -0,8$  В

В следующей серии опытов насыщение LiAl-электродов водородом проводили со вспомогательным Pt-электродом. На Pt-катоде происходило бурное газовыделение, а помещенные по центру Pt-спирали исследуемые электроды поглощали выделяющийся водород. Здесь так же, как и в случае насыщения без дополнительного Pt-катада, наблюдалось влияние длительности предварительной катодной поляризации и предварительной обработки поверхности электрода. Наиболее высокие скорости процесса сорбции достигались на электродах катодно-поляризационных в течение шести часов. При этом было установлено, что скорость насыщения электродов водородом с дополнительным Pt-катодом повышается более чем на порядок по сравнению с процессами насыщения без дополнительного Pt-электрода. Аналогичные результаты были получены для LaAl и LiLaAl электродов.



С целью исследования обратимости процесса сорбции-десорбции водорода, нами было проведено циклирование насыщенных водородом электродов в потенциодинамическом режиме. Циклические кривые в катодном и анодном полциклах хорошо совпадали, что указывает на достаточно высокую обратимость процесса, которая сохраняется и при последующем циклировании. Окислирование электродов и термообработка не ухудшают обратимости процесса насыщения водородом. Вместе с тем следует отметить, что потенциал начала резкого возрастания плотности тока на окислированных образцах смещается в область менее отрицательных значений. Процесс сорбции водорода в этом случае протекает со скоростями ( $i=2\dots 10 \text{ мА}\cdot\text{см}^{-2}$ ), превышающими более чем на два порядка скорости процесса на неокислированных электродах ( $i=0,02\dots 0,07 \text{ мА}\cdot\text{см}^{-2}$ ). Аналогичные данные получены по циклированию насыщенных водородом LiLaAl электродов с дополнительным Pt-катодом.

### Выводы

Изучено влияние режимов термообработки, окислирования и модифицирования редкоземельными элементами (лантан) Al-основы на процесс формирования многокомпонентных сплавов LiAl, LaAl и LiLaAl, используемых в качестве поглотителей водорода. Установлено, что при внедрении лантана в неокислированный Al-электрод образуется наиболее электрохимически активная дефектная структура, облегчающая последующее внедрение лития. Кинетика насыщения сформированных сплавов водородом зависит от количества внедренного лития и наиболее высокая сорбционная емкость водорода характерна для богатых литием сплавов.

Разработанная технология электрохимического получения материалов на основе систем LaAl, LiAl, LaLiAl, LaAl<sub>окс</sub>, LiAl<sub>окс</sub>, LaLiAl<sub>окс</sub> позволяет предложить ее для изготовления электродов, аккумулирующих водород.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Реми Г. Курс неорганической химии / Г. Реми. М.: Мир, 1974. Т. 2. 775 с.
2. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия / Л.И. Антропов. М.: Высшая школа, 1975. 568 с.
3. Некрасов Б.Н. Учебник общей химии / Б.Н. Некрасов. М.: Химия, 1972. С. 87-108.
4. Феттер К. Электрохимическая кинетика / К. Феттер. М.: Химия, 1967. 586 с.
5. Дамаскин В.В. Электрохимия / В.В. Дамаскин, О.А. Петрий. М.: Высшая школа, 1987. 295 с.
6. Фрумкин А.Н. Кинетика электродных процессов / А.Н. Фрумкин, В.С. Багоцкий, З.А. Иофа. М.: Изд-во МГУ, 1952. 324 с.
7. Андриевский Р.А. О механизме электролитического выделения водорода на ИМС TiFe в кислых растворах / Р.А. Андриевский // Электрохимия. 1982. Т. 18, № 9. С. 1059-1063.
8. Кудрявцев Ю.Д. Приповерхностная кинетика проникновения водорода в железо и механизм его катодного выделения в щелочных растворах / Ю.Д. Кудрявцев // Электрохимия. 1994. Т. 30, № 10. С. 1228-1232.
9. Алефиренко Т.Д. Диффузия и выделение водорода из стали / Т.Д. Алефиренко // Металловедение. 1991. Т. 8, № 2. С. 857-862.
10. Крапивный Н.Г. Учет конечной скорости распространения концентрационной волны водорода при его диффузии в металлах / Н.Г. Крапивный, В.Б. Клешня, В.И. Соборницкий // Электрохимия. 1992. Т. 28, № 3. С. 451-456.
11. Астахов И.И. Диффузия изотопов водорода в гидриде палладия в присутствии лития / И.И. Астахов, В.Е. Казаринов, Л.А. Резникова // Электрохимия. 1994. Т. 30, № 12. С. 1507-1511.
12. Нефедов В.Г. Особенности диффузии протонов в оксидных слоях и пленках / В.Г. Нефедов // Электрохимия. 1990. Т. 26, № 2. С. 54-60.

13. Крапивный Н.Г. Условия образования пересыщенного твердого раствора внедрения водорода в никеле при импульсном электролизе / Н.Г. Крапивный, В.И. Соборницкий, В.И. Черненко // *Электрохимия*. 1989. Т. 25, № 3. С. 313-317.
14. Козачинский А.Э. Образование и анодное поведение гидрида никеля / А.Э. Козачинский, А.П. Пчельников, А.Б. Скуратник // *Электрохимия*. 1994. Т. 30, № 4. С. 516-522.
15. Грилихес С.Я. Оксидные и фосфатные покрытия металлов / С.Я. Грилихес; под ред. П.М. Вячеславова. 5-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, 1985. 96 с.
16. Abnormal yields of hydrogen and the mechanism of its evolution during cathodic polarization of aluminium / A.R. Despic, J. Radosevic, P. Dabic, M. Kliskie // *Electrochim. Acta*. 1990. Vol. 35, № 3. P. 1743-1746.
17. Установка непрерывного электроснабжения на основе водородных топливных элементов // Прямое преобразование тепловой и химической энергии в электрическую. 1994. № 3. С. 9-13.
18. Wang X-L. A dehydriding kinetic study of hidride by a stepwise method / X-L. Wang, S. Suba // *Y. Less-Common*. 1990. Vol. 15, № 1. P. 83-90.
19. Барбир Ф. Прогресс в водородной энергетике / Ф. Барбир, Т.Н. Везгироглу // *Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева*. 1993. № 2. С. 7-10.
20. Левин Н.И. Гидридная технология и проблемы накопления и использования водорода в малой энергетике / Н.И. Левин // *Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева*. 1993. № 2. С. 70-75.
21. Политаева Н.А. Влияние оксидирования на электрохимическое модифицирование алюминия лантаном и литием / Н.А. Политаева, С.С. Попова // *Химия: Состояние и перспективы научных исследований на пороге третьего тысячелетия: сб. статей молодых ученых*. Саратов: Изд-во Саратов ун-та, 1999. С. 106-107.
22. Собгайда Н.А. Влияние оксидных слоев на кинетику зародышеобразования при катодном внедрении лития в алюминиевый электрод, модифицированный лантаном / Н.А. Собгайда, С.С. Попова // *Фундаментальные проблемы электрохимической энергетики: материалы IV Междунар. конф.* Саратов, 1999. С. 120-122.
23. Модифицирование алюминия и его сплавов методом катодного внедрения металлов переходного ряда и РЗЭ / С.С. Попова, Л.Н. Ольшанская, Н.А. Политаева, О.В. Волкова // *Прогрессивные технологии и вопросы экологии в гальванотехнике: материалы конф.* Пенза, 1995. С. 30-33.
24. Электрохимическое поведение алюминиевого электрода, модифицированного лантаном и литием в растворах кислот / Н.А. Собгайда, С.С. Попова, А.А. Ольшанская, А.А. Сорокин // *Приоритетные направления в развитии химических источников тока: материалы III Междунар. симпозиума*. Иваново: ИГТХУ, 2004. С. 17-18.
25. Politaeva N.A. Kinetics of cyclization of the oxidated aluminium electrode modified by REE in solution of lithium salts / N.A. Politaeva, I.A. Boyneva, S.S. Popova // *Fundamental aspects electrochemistry abstracts*. Moscow, 1995. P. 233-235.
26. Кинетика разряда ионов водорода на оксидированном титановом электроде, модифицированном лантаном и литием / С.С. Попова, И.А. Бруштунова, А.А. Ольшанская, Н.А. Собгайда // *Приоритетные направления в развитии химических источников тока: материалы III Междунар. симпозиума*. Иваново: ИГТХУ, 2004. С. 111-113.
27. Кабанов Б.Н. Внедрение – новое направление в изучении кинетики электрохимического выделения и растворения металлов / Б.Н. Кабанов, И.И. Астахов, И.Г. Киселева // *Кинетика сложных электрохимических реакций*. М.: Наука, 1981. С. 200-239.
28. Кабанов Б.Н. Электрохимическое внедрение элементов в электроды / Б.Н. Кабанов, И.Г. Киселева, И.И. Астахов // *Электрохимия*. 1972. Т. 8, № 7. С. 955-962.
29. Батлер Дж. Электроды сравнения в апротонных органических растворителях / Дж. Батлер // *Электрохимия металлов в неводных средах*. М.: Мир, 1974. С. 201-272.
30. Рабинович В.А. Краткий химический справочник химика / В.А. Рабинович, З.Я. Хавин. Л.: Химия, 1978. 392 с.

31. Попова С.С. Методы исследования кинетики электрохимических процессов: учеб. пособие / С.С. Попова. Саратов: СПИ, 1991. 64 с.

32. Маршаков А.И. Влияние кислородсодержащих окислителей на скорости процессов катодного выделения и проникновения водорода в металл / А.И. Маршаков, Ю.Н. Михайловский // Электрохимия. 1994. Т. 30, № 4. С. 530-543.

33. Грилихес М.С. Взаимодействие водорода с металлами при электрохимических процессах в растворах электролитов / М.С. Грилихес, В.В. Божевольнов // Журнал прикладной химии. 1995. Т. 68, № 3. С. 353-365.

**Попова Светлана Степановна –**

доктор химических наук, профессор,  
заведующая кафедры «Технология электрохимических производств»  
Энгельсского технологического института  
Саратовского государственного технического университета

**Ольшанская Анна Александровна –**

аспирантка кафедры «Технология электрохимических производств»  
Энгельсского технологического института  
Саратовского государственного технического университета

**Волкова Ольга Сергеевна –**

аспирантка кафедры «Технология электрохимических производств»  
Энгельсского технологического института  
Саратовского государственного технического университета

## ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 621.385.01

**В.Б. Байбурин, А.В. Юдин**

### **КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ХАОТИЧНОСТИ ТРАЕКТОРИИ ЗАРЯДА В МАГНИТНОЙ ЛОВУШКЕ**

*Проведено численное моделирование поведения заряженной частицы в магнитном поле ловушки открытого типа. Показано, что традиционно используемые критерии оценки степени хаотичности не работают в условиях полей магнитной ловушки. Предложен метод расчёта степени хаотичности, основанный на использовании фурье-спектров, позволяющий выявлять существование хаотических колебательных режимов в указанных условиях.*

**V.B. Bayburin, A.V. Yudin**

### **ASSESSMENT CRITERIA OF CHAOTIC STATE OF CHARGE PATH IN MAGNETIC TRAP**

*Numerical modeling of behavior of the charged particle in a magnetic field of an open trap is carried out. It is shown, that traditionally used assessment criteria of chaotic state don't work in conditions of fields of a magnetic trap. The method of calculation of chaotic state based on the power spectra is offered. It allows detecting an existence of chaotic oscillatory modes in the indicated conditions.*

Факторы, влияющие на время удержания плазмы в магнитных ловушках, активно исследуются в первую очередь применительно к осуществлению управляемой реакции термоядерного синтеза [1, 2 и др.]. В работе [3] в качестве существенного фактора, влияющего на траекторию зарядов и, следовательно, время удержания плазмы, указано на эффект возникновения хаотических колебательных режимов в условиях магнитных полей, имеющих место в типичных конструкциях магнитных ловушек открытого типа.

В известной работе [4] уравнения движения заряда сводятся к одномерному уравнению возмущенного линейного осциллятора. В реальных устройствах траектории зарядов имеют трехмерный характер. В работе [5] показана возможность возникновения детерминированного хаоса в пространственно-неоднородном магнитном поле. Неоднородность магнитного поля, характерная для открытых ловушек, рассмотрена в работе [3].

Движение заряженной частицы в магнитном поле описывается уравнением:

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{e}{m} (\vec{V} \times \vec{B}) . \quad (1)$$

В прямоугольной системе координат  $(x,y,z)$  уравнение (1) можно представить в виде:

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{e}{m} \left( B_z \frac{dy}{dt} - B_y \frac{dz}{dt} \right) \\ \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{e}{m} \left( B_x \frac{dz}{dt} - B_z \frac{dx}{dt} \right) \\ \frac{d^2z}{dt^2} = \frac{e}{m} \left( B_y \frac{dx}{dt} - B_x \frac{dy}{dt} \right) \end{cases} \quad (2)$$

Системе (2) соответствует фазовое пространство с переменными  $x, y, z, V_x=dx/dt, V_y=dy/dt, V_z=dz/dt$ . Выражения для магнитного поля, характерного для открытых ловушек, будут различными, в зависимости от конструктивных параметров магнитной ловушки [1], и могут быть представлены, например, следующим образом:

$$|\vec{B}| = \begin{cases} B_0, & \text{при } |z| < z_a; \\ B_{\max}, & \text{при } |z| > z_b; \\ B_0 + (B_{\max} - B_0) \frac{|z| - z_a}{z_b - z_a}, & \end{cases}$$

$$(\vec{B}, \vec{Z}) = -atg \left( \pi \frac{C \sin A \sqrt{x^2 + y^2}}{(C \cos A + \frac{B_{\max}}{B_0} + 1)(z_b - z_a)} \right); \quad (3)$$

$$A = \pi \frac{|z| - z_a}{z_b - z_a}; \quad C = \frac{B_{\max}}{B_0} - 1,$$

где  $(\vec{B}, \vec{Z})$  – угол между вектором магнитного поля и продольной осью магнитной ловушки;  $x, y, z$  – координаты точки пространства, в которой рассчитывается магнитное поле;  $z_a, z_b$  – координаты начала и конца области «магнитного зеркала»;  $B_0$  – значение магнитного поля внутри ловушки;  $B_{\max}$  – значение магнитного поля за пределами ловушки. Выражениям (3) соответствует магнитное поле, неоднородное по краям ловушки в области магнитных зеркал.

Продемонстрированное в работе [5] хаотическое поведение зарядов характерно для неоднородных условий (электрических и магнитных полей), в которых находится заряженная частица. Однако, согласно выражению (3), в области магнитной ловушки, где происходит инжекция частиц, магнитное поле однородно и определяется выражением:

$$\vec{B} = \vec{e}_z B_0, \quad (4)$$

где  $\vec{e}_z$  – единичный вектор, направленный вдоль продольной оси магнитной ловушки.

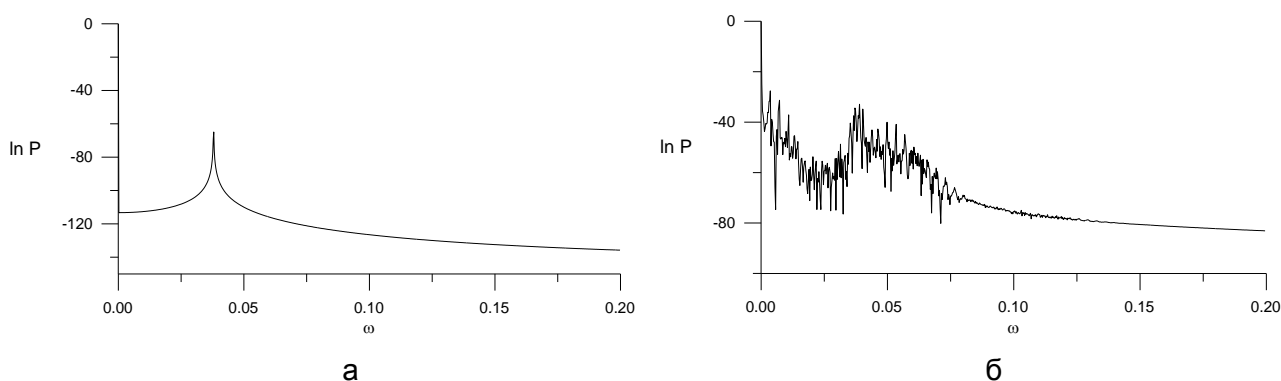
Тем не менее, в работе [3] показано, что и в этих условиях возможен динамический хаос, и возникновение хаотических колебательных режимов сокращает время удержания заряженных частиц в магнитной ловушке. Традиционно [4] для оценки степени хаотичности заряда используют расчёт показателей Ляпунова, который основан на скорости расхождения фазовых траекторий, стартующих при близких начальных условиях. Известно, что в однородном магнитном поле заряд совершает движения по спирали с радиусом, равным ларморовскому радиусу заряженной частицы:

$$\rho = \frac{m |\vec{V}_\perp|}{e |\vec{B}|}. \quad (5)$$

В этих условиях при изменении начальных координат и скорости инжекции заряженных частиц фазовые траектории не будут расходиться вообще – изменится лишь радиус и

сместится ось спирали, по которой движется частица. Таким образом, расчёт ляпуновских показателей не позволит зафиксировать возникновение хаоса в рассматриваемой системе.

Особенности движения зарядов в магнитной ловушке открытого типа таковы, что качественное влияние на траекторию оказывает, прежде всего, поведение заряженной частицы в области магнитного зеркала, где силовые линии магнитного поля неоднородны. Показано, что для различных фазовых траекторий отражение от магнитного зеркала будет происходить по-разному. После отражения частица может продолжить движение практически вдоль той же траектории, по которой она подошла к магнитному зеркалу, но только в обратном направлении (регулярная траектория), или же характеристики траектории после отражения существенно изменятся – траектория становится хаотической. Данный факт позволяет по-иному взглянуть на проблему оценки степени хаотичности траектории заряда.



Вид спектральных характеристик при различных параметрах системы

( $B_0=0,5$  Тл;  $B_{max}=1$  Тл;  $X_0=0,01$  м;  $Y_0=Z_0=0$  м;  $V_{x_0} = -|\vec{V}| \sin \alpha$ ;  $V_{y_0}=0$ ;  $V_{z_0} = |\vec{V}| \cos \alpha$ ;  $h=2z_a=0,1$  м;  $\alpha=45^\circ$ ): а) регулярный режим ( $|\vec{V}| = 1000$ ), б) хаотический режим ( $|\vec{V}| = 100000$ )

В качестве возможного критерия оценки степени хаотичности предложено [3] использовать расчёт числа экстремумов спектра мощности. Для различных частиц степень стохастичности траектории может варьироваться от регулярной и многочастотной до хаотической, и, в соответствии с этим, как показано на рисунке, будет увеличиваться число экстремумов в спектре. Для достижения подобного результата алгоритм расчёта спектра мощности должен учитывать особенности движения зарядов в неоднородном магнитном поле, в области магнитных зеркал. Если в качестве отсчётов, применяемых для вычисления спектра мощности, использовать просто одну из координат частицы, то в спектрах, рассчитанных для регулярной частицы, появятся дополнительные экстремумы, вызванные сложным характером движения частицы в области магнитных зеркал. Для расчета спектральных характеристик предложено использовать изменение ларморовского радиуса частицы вдоль соответствующей оси координат. Например:

$$f = \rho \frac{\vec{e}_x \cdot \vec{V}_\perp}{|\vec{V}_\perp|}, \quad (6)$$

где  $\rho$  – ларморовский радиус (5);  $f$  – значение, вычисляемое в каждой точке траектории и используемое для расчета спектра мощности. Представленные на рисунке спектры мощности построены с учётом этой особенности.

Такой метод позволяет выявить хаотические траектории, которые при использовании других оценок могут быть приняты за регулярные. Использование данного метода позволило установить взаимосвязь между степенью хаотичности траектории и продолжительностью удержания частицы в ловушке.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рютов Д.Д. Открытые ловушки / Д.Д. Рютов // Успехи физических наук. 1988. Т. 154. № 4. С. 565-614.
2. Рожанский В.А. Удержание плазмы в магнитных ловушках / В.А. Рожанский // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 10. С. 80-86.
3. Байбурин В.Б. Влияние хаоса на время удержания заряженных частиц в магнитной ловушке / В.Б. Байбурин, А.В. Юдин // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2005. Т. 13. № 1. С. 38-46.
4. Слабый хаос и квазирегулярные структуры / Г.М. Заславский, Р.З. Сагдеев, Д.А. Усиков, А.А. Черников. М.: Наука, 1991. 214 с.
5. Байбурин В.Б. Хаотическое поведение зарядов в скрещенных полях / В.Б. Байбурин, А.В. Юдин, А.О. Мантуров // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2002. Т. 10. № 6. С. 62-70.

**Байбурин Вил Бариевич –**

доктор физико-математических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Программно-вычислительные системы»  
Саратовского государственного технического университета

**Юдин Андрей Витальевич –**

аспирант кафедры «Программно-вычислительные системы»  
Саратовского государственного технического университета

## ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

---

УДК 621.314.58

**И.И. Артюхов, Н.П. Митяшин, С.Ф. Степанов**

### **АДАПТИРУЕМЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС**

*Предложен гибкий преобразовательный комплекс для питания двигательной нагрузки на основе инвертора с изменяемой структурой. В режиме пуска двигателя нагрузки комплекс принимает состояние, совпадающее с инвертором напряжения, чем обеспечивается коммутационная устойчивость при значительных токовых перегрузках. При снижении тока до номинального схема принимает вид инвертора тока, благодаря чему достигается высокое качество питающего напряжения.*

**I.I. Artyukhov, N.P. Mityachin, S.F. Stepanov**

### **THE ADAPTABLE CONVERTING COMPLEX**

*The flexible converting complex for power supplies of asynchronous engines, built on the basis of the inverter with changeable structure is offered here. In a mode of start-up of the engine the complex accepts a condition conterminous to the voltage inverter with cutting diodes, than switching stability is provided at significant current overloads. At current reduction up to nominal the flexible circuit becomes the current inverter due to what high curve voltage quality is achieved.*

Одной из дополнительных возможностей повышения эффективности оборудования является придание ему многоцелевого назначения как за счет универсальности элементов соответствующей системы, так и за счет ее структурной адаптируемости. Под этим понимается придание системе новых полезных свойств за счет изменения ее структуры без изменения состава элементов, либо с минимальным привлечением дополнительного оборудования.

В качестве примера рассмотрим инвертор с изменяемой структурой для питания двигательной нагрузки.

Классический параллельный инвертор тока обладает важным достоинством – высоким качеством кривой выходного напряжения. Это достигается за счет естественной фильтрации, осуществляемой конденсаторами коммутирующей батареи (КБ), включенной в данном случае параллельно нагрузке. Таким образом, КБ в параллельном автономном инверторе тока (АИТ) играет тройную роль: коммутации, компенсации реактивной мощности нагрузки и фильтрации высших гармоник в кривой выходного напряжения. Наряду с указанным достоинством параллельный характер подключения КБ к нагрузке приводит и к наиболее су-



щественному недостатку инвертора – мягкой внешней характеристике, исключающей его непосредственное применение для питания резкопеременной нагрузки, каковой является асинхронный двигатель [1].

В связи с этим получили распространение автономные инверторы с отсекающими диодами [2] (далее ИОД), отличающиеся от классического АИТ двумя преимуществами. Во-первых, в них напряжение на выходе в значительно меньшей степени зависит от величины нагрузки. Во-вторых, мощность КБ в схеме ИОД имеет значительно меньшую величину, чем в базовой схеме АИТ. Однако кривая выходного напряжения ИОД существенно несинусоидальна из-за отсутствия фильтрующего действия КБ, отключенной от нагрузки в течение большей части периода выходной частоты.

Анализ упомянутых классов инверторов приводит к идее создания адаптируемой схемы, принимающей в зависимости от режима нагрузки состояние, совпадающее с одной из сравниваемых схем. В частности, такая схема в режиме пуска двигателя нагрузки могла бы принимать вид схемы с отсекающими диодами, обеспечивая значительные токовые перегрузки при ограниченной мощности КБ. При снижении тока до номинального адаптируемая схема принимает вид инвертора тока, обеспечивая высокое качество питающего напряжения.

Целесообразность построения такой схемы следует из близости элементного состава сравниваемых схем. Ядром предполагаемого адаптируемого инвертора в данном случае является состав схемы базовой АИТ за вычетом реактора в цепи источника питания, т.к. все его элементы входят и в схему ИОД. Элементами последнего, не входящими в схему базового АИТ, следует считать только отсекающие диоды, число которых равно 7. Наличие двойного комплекта КБ в схеме с отсекающими диодами можно считать несущественным, поскольку в большинстве случаев КБ набирается путем параллельного включения нескольких конденсаторов. С точки зрения массогабаритных показателей несущественным является и замена одного обратного моста в схеме АИТ на тиристорный в схеме ИОД.

Схема адаптируемого инвертора, предложенного в [3], приведена на рис. 1. Помимо упомянутых элементов и узлов она содержит коммутационные элементы, назначение которых следует из дальнейшего изложения.

Для исследования работоспособности предложенной адаптируемой схемы разработана математическая модель, способная адекватно описать основные режимы каждой из обобщаемых схем, а также переходные режимы при переключениях, необходимых для преобразования одной из них в другую.

Имея в виду последовательность действий при создании адаптируемого устройства, отметим, что каждая из двух реализаций достаточно хорошо исследована с точки зрения их независимого функционирования. Однако для осуществления адаптируемого устройства необходимо знать, насколько соответствуют друг другу состояния инерциальных (реактивных) элементов при переходе устройства от одной своей реализации к другой.

Проблема состоит в том, что реактивные элементы, способные накапливать электромагнитную энергию, к моменту переключения реализации могут иметь значения токов (для индуктивностей) и напряжений (для конденсаторов), не совместимые с принципами работы вновь возникающей реализации. В этом случае приходится предусматривать промежуточные состояния устройства, во время реализации которых осуществляются необходимые изменения значений этих величин.

Рассмотрим переключение адаптируемого инвертора с реализации инвертора с отсекающими диодами (ИОД) к реализации инвертора тока (АИТ).

Моделирование инвертора по расчетной схеме рис.1 показывает, что токи реакторов  $Lc1$  и  $Lc2$  в реализации ИОД имеют импульсный, прерывистый характер. Это позволяет исключить проблему накопления электромагнитной энергии в индуктивных элементах. Для этого достаточно совместить момент переключения состояний с моментом коммутации очередного рабочего вентиля, к которому токи в реакторах спадают до нуля. Состояния конден-

саторов обеих конденсаторных батарей в исходной реализации можно проконтролировать по графикам, приведенным на рис. 2.

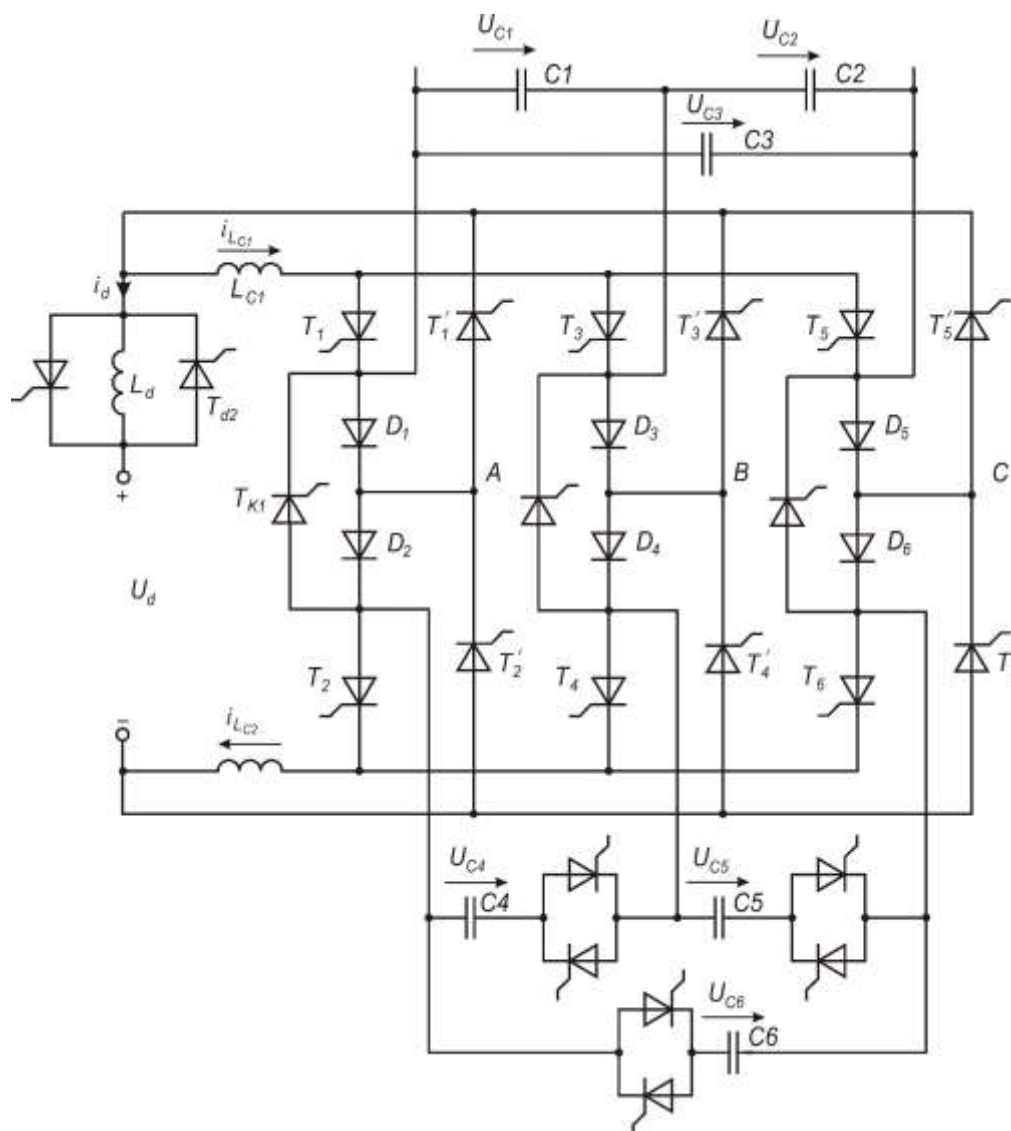


Рис. 1. Инвертор с изменяющейся структурой (A, B, C – выходные полюсы)

По оси абсцисс в рассматриваемых графиках откладываются номера интервалов  $n$  (т.е.  $1/6$  частей периода, отделяющих последовательные коммутации рабочих тиристоров).

В момент  $n_0$  происходит выключение рабочего вентиля  $T_4$ . Для этого напряжение на конденсаторе  $C_5$  к моменту коммутации должно быть отрицательным. После коммутации этот конденсатор перезаряжается от значения  $-U_m$  до  $+U_m$ . Одновременно конденсаторы той же нижней группы изменяют напряжение от 0 до  $+U_m$  (для  $C_6$ ) и от  $+U_m$  до 0 (для  $C_4$ ).

Следующая коммутация рабочего вентиля происходит уже после перехода преобразователя к реализации АИТ. Поскольку последовательность коммутаций рабочих вентилях не должна меняться при смене реализаций, следующим по порядку выключающимся вентилем должен быть тиристор  $T_1$ , для чего напряжение между его катодом и катодом заменяющего его вентиля  $T_3$  должно быть положительным. Из графиков рис. 2 видно, что это условие обеспечено напряжением на конденсаторе  $C_1$ , которое имеет требуемую полярность.

Однако при переходе к реализации АИТ по идее, изложенной в [3], напряжение фазы  $u_{21}$  в инверторе тока будет обеспечиваться напряжением параллельно включенных конденса-

торов  $C_1$  и  $C_4$ , величина которого к моменту выключения  $T_1$  равна 0. Непосредственное параллельное включение этих конденсаторов при смене реализаций привело бы к недопустимому броску зарядного тока.

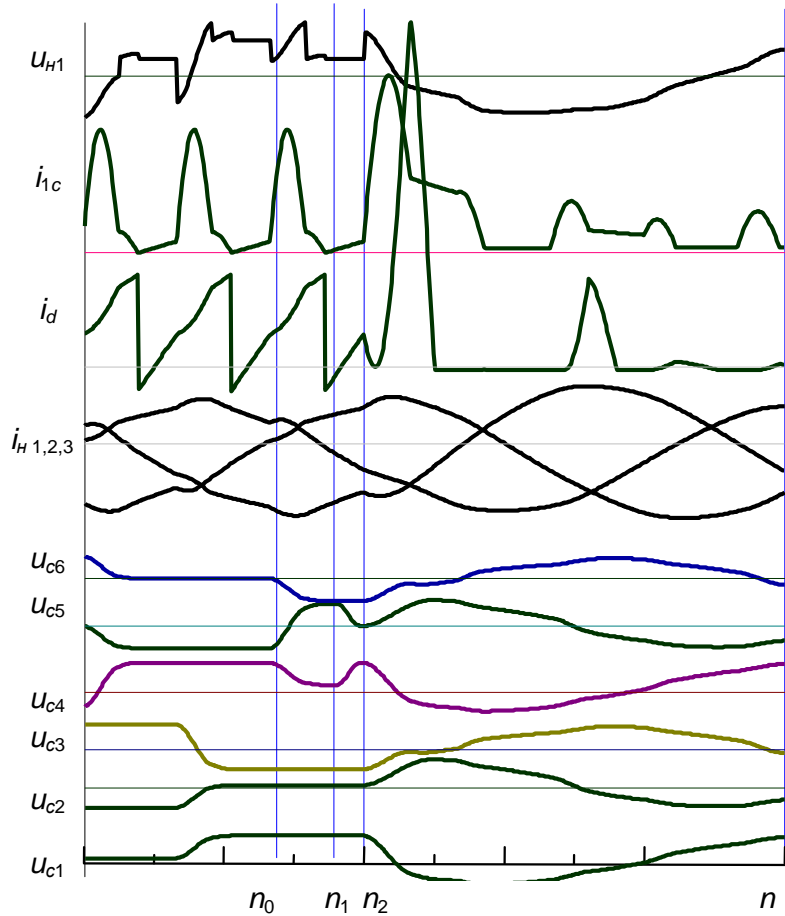


Рис. 2. Сводный график токов и напряжений в процессе переключения ( $n_1$  – начало перезаряда конденсаторов  $C_2$  и  $C_3$ ,  $n_2$  – переключение структуры с инвертора напряжения на инвертор тока)

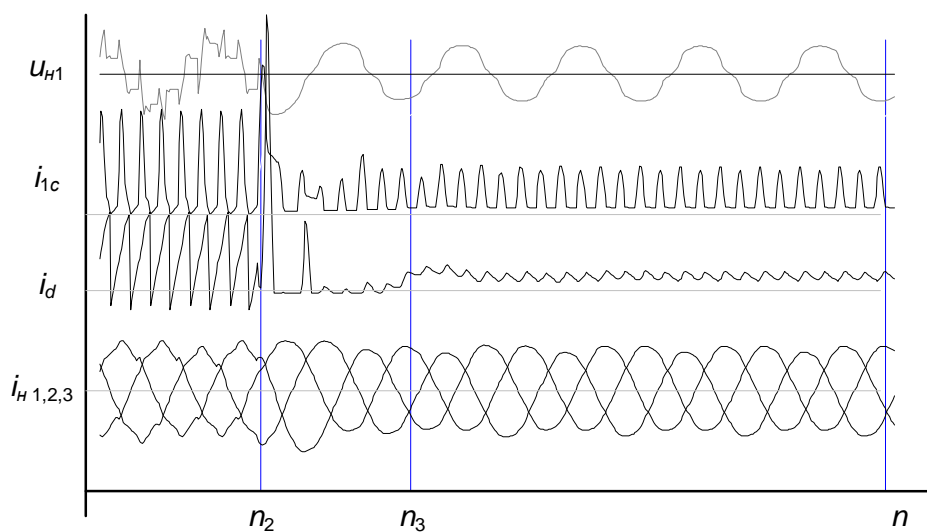


Рис. 3. Кривые переходного процесса после изменения структуры преобразователя ( $n_3$  – включение реактора  $L_d$ )

Из работоспособных вариантов исключения такой ситуации можно предложить два. Первый из них возможен, если по состоянию нагрузки коммутационная устойчивость в первый период после смены реализации может быть обеспечена только верхней группой конденсаторов ( $C_1, C_2, C_3$ ). В этом случае конденсаторы нижней группы ( $C_4, C_5, C_6$ ) отключаются от преобразователя коммутаторами  $K$  (рис. 3), после чего разряжаются, а затем при необходимости увеличить емкость КБ подключаются параллельно конденсаторам верхней группы.

Второй вариант предполагает введение промежуточного подготовительного состояния адаптируемого инвертора, в течение которого производится обмен значениями напряжений на конденсаторах  $C_4$  и  $C_5$ . Это достигается организацией цепи, показанной на рис. 4. Здесь приведен фрагмент схемы, содержащий конденсаторы нижней группы, коммутаторы на тиристорах  $T_1^k - T_6^k$ , вспомогательную цепь из индуктивности  $L_0$  и тиристора  $T_0$  и  $T^0$ . Перезаряд осуществляется при выключенном состоянии тиристорах  $T_1^k - T_6^k$  после подачи управляющих импульсов на тиристоры  $T_0$  и  $T^0$ . В результате колебательного процесса перезаряда этих конденсаторов через половину периода собственной частоты возникающего контура  $L_0, C_4, C_5$  конденсаторы обмениваются значениями напряжений: конденсатор  $C_5$ , имеющий начальное значение напряжения  $+U_m$ , разряжается, а разряженный ранее конденсатор  $C_4$  заряжается до напряжения  $+U_m$ . Благодаря наличию вентильных элементов в цепи контура перезаряда, колебания прерываются при прохождении тока индуктивности через нулевое значение. Тем самым включаемые параллельно друг другу пары конденсаторов  $C_1$  и  $C_4, C_2$  и  $C_5, C_3$  и  $C_6$  к моменту перехода к реализации АИТ имеют попарно равные значения напряжений, полярность которых обеспечивает коммутацию очередного тиристора в реализации АИТ. Промежуточное состояние адаптируемого инвертора можно осуществить сразу по завершении перезаряда конденсатора  $C_5$  после коммутации тиристора  $T_4$ . В промежуточном состоянии конденсаторы  $C_4$  и  $C_5$  должны быть отключены от остальной схемы инвертора вентильными коммутаторами  $T_1^k - T_6^k$ , закрывшимися после завершения коммутаций.

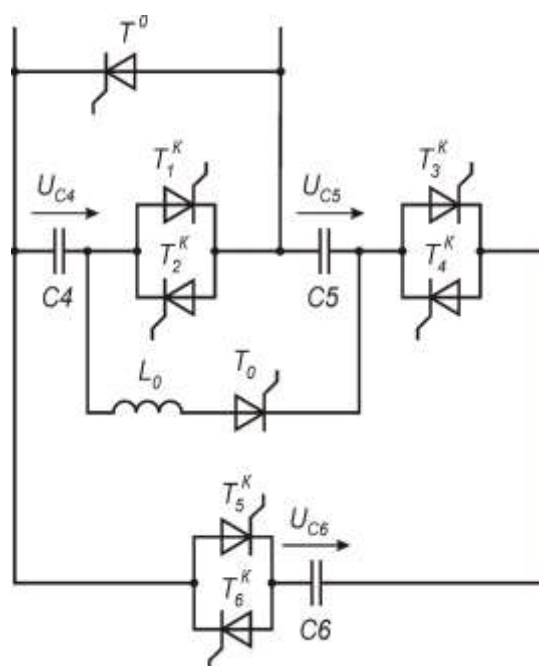


Рис. 4. Цепь перезаряда конденсаторов  $C_4$  и  $C_5$

На рис. 2 показаны результаты моделирования второго варианта перехода от ИОД к АИТ. Схема переведена в промежуточное состояние в момент  $n_1$ . Как видно из графиков напряжений  $u_{c4}$  и  $u_{c5}$ , к моменту замыкания тиристоров 28, осуществляющих перевод схемы к АИТ, процесс перезаряда конденсаторов  $C_4$  и  $C_5$  завершается. Таким образом, в рассматриваемом примере промоделирован переход от реализации ИОД, который существует при  $n < n_1$ , к промежуточному состоянию инвертора (существует при  $n_1 < n < n_2$ ), а от него – к АИТ (существует при  $n > n_2$ ).

Хотя переход от одной реализации к другой возможен в конце любого интервала, с точки зрения минимизации коммутационной аппаратуры целесообразно проводить его каждый раз после выключения одного и того же тиристора при перезаряде одних и тех же конденсаторов, например тиристора  $T_4$  и конденсаторов  $C_4$  и  $C_5$ , как это рассмотрено выше.

В возникающей в момент  $n_2$  реализации АИТ, реакторы  $Lc1$  и  $Lc2$  по схеме рис. 1, игравшие ранее в реализации ИОД роль коммутационных индуктивностей, выполняют попеременно через интервал симметрии функции реактора в цепи постоянного тока и индуктивности в цепи компенсации реактивной мощности. Если индуктивности коммутационных и компенсационных реакторов в рассматриваемых схемах обычно близки по величине, то для индуктивности в цепи постоянного тока такой величины недостаточно, чтобы обеспечить в ней режим непрерывного тока. Именно это видно из графика тока  $i_d$  (рис. 3), который в промежутке от  $n = n_2$  до  $n = n_3$  носит прерывистый характер. Недостатки такого режима известны, поэтому в момент  $n = n_3$  в инверторе снимается управление с тиристоров, шунтирующих дополнительный реактор 7, который вводится в цепь источника питания, чем обеспечивается режим его непрерывного тока.

Смысл применения рассмотренной адаптируемой схемы инвертора состоит в минимизации мощности конденсаторной батареи при обеспечении высокого качества кривой выходного напряжения. Низкое качество кривой имеет место только во время пуска двигателя, когда реализуется состояние ИОД, обеспечивающее, однако, высокую коммутационную устойчивость в условиях потребления большого пускового тока.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Стабилизированные автономные инверторы с синусоидальным выходным напряжением / Ф.И. Ковалев, Г.П. Мосткова, В.А. Чванов и др. М.: Энергия, 1972. 152 с.
2. Справочник по преобразовательной технике / И.М. Чиженко, П.Д. Андриенко, А.А. Баран и др. Киев: Техніка, 1978. 447 с.
3. А.с. 1700723 СССР, МКИ Н 02 М 7/515. Инвертор для питания двигателя / Н.П. Митяшин, И.И. Артюхов, В.А. Серветник // Открытия. Изобретения. 1991. № 47.

### **Артюхов Иван Иванович –**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий»  
Саратовского государственного технического университета

### **Митяшин Никита Петрович –**

доктор технических наук, профессор кафедры «Системотехника»  
Саратовского государственного технического университета

### **Степанов Сергей Федорович –**

кандидат технических наук,  
докторант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»  
Саратовского государственного технического университета

А.И. Андриященко

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ И РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

*Показаны современные недостатки традиционной теплофикации городов, ее низкие экономичность, надежность и экологичность. Предложены рациональные способы их преодоления путем создания комбинированных систем теплоснабжения, обеспечивающих высокую экономичность и надежность при уменьшении в 2-3 раза расхода природного газа, сжигаемого в черте города.*

A.I. Andrjushenko

## MODERN PROBLEMS OF SITIES HEAT SUPPLY AND RATIONAL WAYS OF THEIR SOLUTIONS

*Modern lacks of traditional central heating of cities its low profitability, reliability and ecological effects are shown in the article. Rational ways of their overcoming are offered by creation of the combined systems heat supply, providing high profitability and reliability at reduction in 2-3 times of the charge of the natural gas burnt in a city boundaries.*

Традиционная теплофикация, столетие начала которой было отмечено в 2003 году, заключается в сочетании централизованного теплоснабжения города (или его части) с комбинированной выработкой на тепловых электростанциях (ТЭЦ) электрической и тепловой энергии. Годовой график отпуски теплоты от таких ТЭЦ приведен на рис. 1.

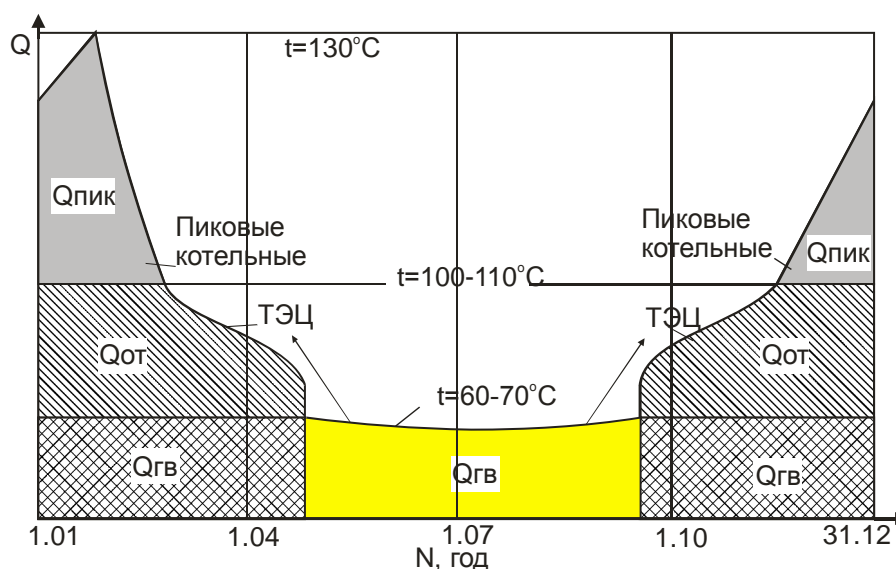


Рис. 1. Годовой график потребления теплоты на теплофикационных ТЭЦ

Сущность такого комбинирования заключается в том, что нагрев отдаваемого в сеть теплоносителя производится рабочим телом ТЭЦ после выработки им определенного количества электроэнергии в паровой или газовой турбине. Этим самым уменьшаются тепловые

выбросы ТЭЦ и расход топлива в отопительных котельных. Таким образом достигается значительная (до 30%) экономия топлива, по сравнению с отдельной выработкой соответствующих количеств электроэнергии на одноцелевой ТЭС (КЭС) и теплоты в котельных. Величина этой экономии рассчитывается по формуле

$$\Delta B_{\text{эк}} = (B_{\text{э}}^{\text{раз}} + B_{\text{т}}^{\text{раз}}) - B_{\text{мэц}} - \Delta B_{\text{от}}, \quad (1)$$

где  $B_{\text{э}}^{\text{раз}}$  и  $B_{\text{т}}^{\text{раз}}$  – расход топлива при отдельной выработке электроэнергии и теплоты;  $B_{\text{тэц}}$  – суммарное количество топлива, израсходованного в котлах ТЭЦ на выработку тех же количеств электроэнергии и теплоты, отданных потребителю;  $\Delta B_{\text{от}}$  – перерасход топлива, вызванный тепловыми потерями от низкого КПД конденсационной выработки электроэнергии теплофикационными турбинами ТЭЦ. Из формулы (1) видно, что достигаемая экономия топлива ( $\Delta B_{\text{эк}}$ ) зависит не только от совершенства ТЭЦ, но и совершенства заменяющих ее КЭС и отопительных котельных. Большинство действующих в РФ ТЭЦ построены еще в 50-х – 70-х годах прошлого века. Работают еще и ТЭЦ, построенные в 30-е годы. Если сравнивать экономичность таких ТЭЦ с современными КЭС и котельными, то величина  $\Delta B_{\text{эк}}^{\text{с}}$  с их отдельной выработкой оказывается близкой к нулю и даже отрицательной. Еще больше усложняют эту проблему тепловые потери в сетях, достигающие 20-30% от выработанной на ТЭЦ теплоты. Резко снижает экономичность теплофикации необходимость громадных капиталовложений, требуемых на строительство ТЭЦ и тепловых сетей. Вместе с тем эти затраты могут с лихвой окупиться за счет комбинированной выработки тепловой и электрической энергии на ТЭЦ, если применить новые технологии и системы транспорта теплоты при значительно меньших капиталовложениях. Главное здесь в том, чтобы энергоустановки ТЭЦ были такими же термодинамически совершенными, как новые КЭС на базе парогазовых установок (ПГУ). Одновременно надо отказаться от тех элементов традиционной теплофикации, которые приводят к значительным энергетическим потерям и капитальным затратам. Это относится, прежде всего, к двухтрубным отопительным сетям и количеству сжигаемого в черте города топлива, особенно природного газа, цена которого в ближайшей перспективе возрастет в 2-3 раза (до 160 долл. США за 1000 м<sup>3</sup>). Последний нужно заменять, например, твердым топливом с помощью загородных ТЭЦ. Одновременно будет решаться проблема загрязнения больших городов окислами азота (NO<sub>x</sub>) и другими опасными выбросами. Особенно это важно в летний период, когда в городском воздухе концентрация NO<sub>x</sub> и СО превышает допустимую в 2-2,5 раза (как во многих районах г. Москвы). В частности, в таких условиях недопустимо размещать в городах и парогазовые ТЭЦ, которые требуют при том же отпуске теплоты расход топлива, в 2 раза больший, чем отопительная котельная (в связи с выработкой значительного количества электроэнергии). Особенно важно, чтобы в летний период не было конденсационной выработки электроэнергии теплофикационными турбинами, где удельный расход топлива  $\epsilon_{\text{э}}$  превышает  $\epsilon_{\text{э}}^{\text{кэс}}$  почти в 1,5 раза и этим съедается на ряде ТЭЦ почти вся экономия топлива от комбинированной выработки энергии в летнее время. Наилучшим способом устранения этих потерь является установка на ТЭЦ (при создании соответствующих условий) паровых турбин с противодавлением совместно с нерегулируемыми отборами пара. Снижение потерь в тепловых сетях может быть доведено до 1,5-2% при одновременном уменьшении их стоимости заменой стальных труб высоких давлений и температур на полиэтиленовые, срок работы которых в 3-5 раз больше, а их стоимость в ближайшей перспективе может быть на порядок меньше. В этих условиях при температуре сетевой воды до 80-90°C могут прокладываться полиэтиленовые тепловые сети непосредственно в грунте на глубине 0,6-0,8 м без тепловой изоляции. При этом не занимается ни одного кв. метра поверхности городских улиц. Такие сети могут работать без замены труб до 50-60 лет, а дополнительный расход топлива на ТЭЦ, вызванный тепловыми потерями в этих сетях, не превышает 1-2% от  $B_{\text{тэц}}$ . Кроме того, полиэтиленовые трубы обладают еще одним замечательным свойством – на их внутренних поверхностях не образуется накипи и других отложений, что значительно уменьшает их гидравлическое

сопротивление и расход электроэнергии на привод сетевых насосов. Указанные обстоятельства очень сильно повышают эффективность дальнего теплоснабжения, при котором ТЭЦ может располагаться на расстоянии многих десятков километров от города. Более того, это позволяет использовать для горячего водоснабжения городов тепловые выбросы различных промышленных предприятий, в том числе загородных КЭС и АЭС, расположенных вблизи экологически чистых водных источников. Теплоту низкотемпературных источников здесь можно использовать с помощью однетрубной тепловой сети круглогодично с температурой воды 60-70°C, расходуемой населением на бытовые нужды.

Таким образом, в определенной мере решается и проблема бесперебойного горячего водоснабжения, независимо от работы отопительных систем города. Предлагаемая система горячего водоснабжения может успешно работать и от специально построенных загородных ТЭЦ, работающих на любом топливе (рис. 2). Они могут оборудоваться ПГУ с противодавленческими паровыми турбинами, при давлении отработанного пара около 7 кПа, что позволяет полностью исключить конденсационную выработку электроэнергии теплофикационными турбинами. При этом электрическая мощность таких загородных ТЭЦ, обеспечивающих 40-50% годового теплотребления города, составляет около 30% мощности городских ТЭЦ. Удельная комбинированная выработка электроэнергии на тепловом потреблении будет почти в 2 раза больше, чем на традиционных городских ТЭЦ. Последнее позволяет на загородных ТЭЦ получать годовую экономию топлива такую же, как на старых ТЭЦ мощностью в 2-3 раза большей, чем загородная ТЭЦ.

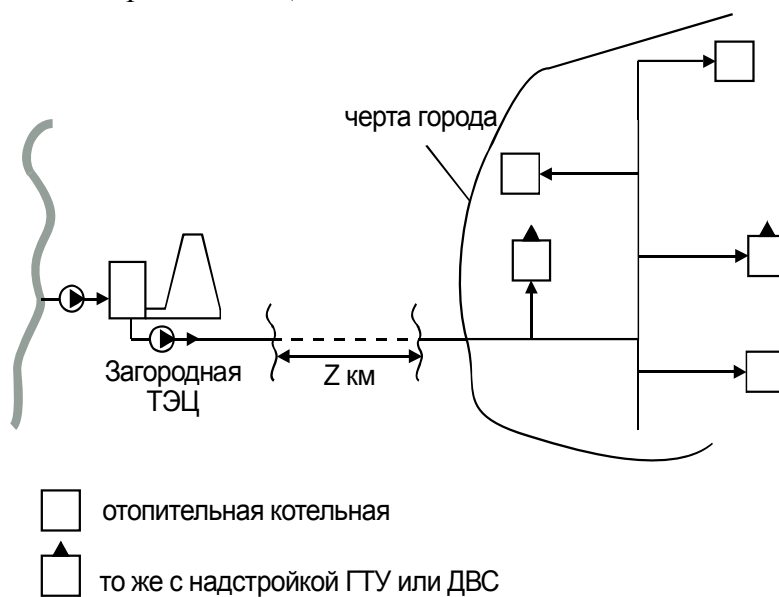


Рис. 2. Схема дальнего низкопотенциального теплоснабжения городов

В этих условиях задача городского теплоснабжения сводится к выбору только отопительных теплоисточников (ИТ), располагаемых непосредственно в городах.

Главными целями здесь являются:

1. Наименьший расход топлива, сжигаемого в черте города, особенно в летний период.
2. Допустимые выбросы вредных веществ (особенно  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}$ ) во всех районах города.
3. Наиболее высокий коэффициент использования теплоты топлива ( $K_{\text{ит}}$ ) во всех теплоисточниках.

Удовлетворяя эти требования, нагрузка ИТ должна быть только в зимний период. Практически это означает, что в условиях Поволжья такие ИТ будут работать только в период с октября по апрель, или около 6 месяцев в году. Отсюда вытекает требование минимизации капитальных затрат на их сооружение. Как правило, это должны быть домовые или рай-



онные котельные. Использование для этой цели парогазовых установок (ПГУ-ТЭЦ) может быть целесообразным только при низкой концентрации вредных выбросов в соответствующих районах городов.

Обобщая вышеприведенное, можно сформулировать недостатки традиционных систем теплофикации, которые должны быть устранены при их модернизации.

1. Малая удельная комбинированная выработка электроэнергии на тепловом потреблении старых ТЭЦ, вызванная высоким давлением отборного пара и низкими начальными параметрами их цикла.

2. Недопустимо большие потери теплоты в сетях и утечки сетевой воды.

3. Завышенный расход электроэнергии на привод сетевых насосов ТЭЦ, вызванный загрязнением стальных труб и высоким давлением сетевой воды.

4. Конденсационная выработка электроэнергии теплофикационными турбинами ТЭЦ с низким КПД, увеличивающая количество сжигаемого в черте города топлива и вредных выбросов (ВВ) в атмосферу города.

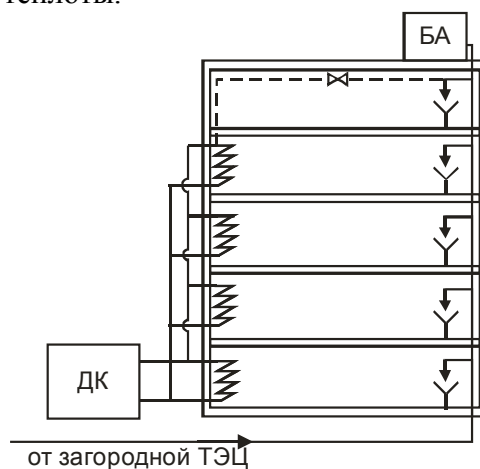
5. Большие удельные капиталовложения в строительство ТЭЦ (по сравнению с КЭС) и тепловых сетей при малом сроке их службы.

6. Отчуждение дорогой городской земли при канальной и бесканальной прокладке двухтрубных тепловых сетей с высокой температурой сетевой воды.

7. Малое число часов использования тепловой мощности традиционных городских ТЭЦ, вызванное сезонностью отопительной нагрузки.

Обобщая все изложенное выше, мы приходим к выводу о непригодности в новых экономических условиях традиционной (к тому же изношенной) системы теплофикации, состоящей из городских ТЭЦ и двухтрубных тепловых сетей, через которые направляется высоко нагретая вода для отопления и горячего водоснабжения. Очень важно здесь отметить, что такая устаревшая (традиционная) система централизованного теплоснабжения оказывалась не всегда эффективной и в советское время. Экономически она окупалась только в больших городах при электрической мощности теплофикационных турбин не менее 50 МВт. Надо признать, экономический эффект от теплофикации, рассчитываемый по законам СССР, был завышен, где все ее элементы принадлежали государству, земля и речная вода предоставлялись бесплатно, плата за вредные выбросы отсутствовала. Более того, капитальные затраты на сооружение ТЭЦ и магистральных сетей в себестоимости вырабатываемых энергий не учитывались. Были только амортизационные отчисления, за счет которых производились капитальные ремонты основного оборудования. Определенное повышение величины достигаемой экономии топлива на ТЭЦ определялось по условным удельным расходам топлива ( $\epsilon_3$  и  $\epsilon_Q$ ), не учитывающим реальных потерь в системе транспорта теплоты. Экономия топлива определялась по отпущенной теплоте, а не полученной потребителями. Поэтому было «выгодно» не уменьшение потерь в сетях, а их увеличение. Даже до сих пор многими энергетиками считается, что на электроэнергию, вырабатываемую в надстроенных над отопительными котлами ГТУ, расходуется всего 140-160 г кВт·ч условного топлива, при удельном расходе топлива на лучших КЭС России не менее 320 г/(кВт·ч). Замена этой старой методики на новую (ОРГРЭС), привела к тому, что на тех же действующих ТЭЦ расчетное значение  $\epsilon_3^{мэц}$  стало превышать 400 г/кВт·ч. Примером этому может служить Саратовская ТЭЦ-1, построенная еще в 30-е годы по плану ГОЭЛРО, которая еще недавно считалась самой экономичной с удельным расходом топлива  $\epsilon_3^{мэц}$  180 г/кВт·ч, а сейчас при том же ее «совершенстве», но уже по новой методике расчета  $\epsilon_3^{мэц}$  стало равным 400 г/кВт·ч. Естественно, что в новых (рыночных) экономических условиях все эти расходы стали оплачиваться потребителями. К тому же отсутствие теплосчетчиков в жилых домах позволяет владельцам системы теплоснабжения завышать отпуск теплоты и относить к потребителям все потери в сетях. Все это увеличило тарифы на теплоту в 2 раза и более. Стало более выгодным строить в домах свои котельные, в частности, «крышные» и даже квартирные теплогенераторы.

Это вполне устраивает и городские власти, поскольку строительство малых теплогенераторов включается в стоимость дома и сразу оплачивается получателями квартир. Строительство типовых паротурбинных ТЭЦ и тепловых сетей требует громадных инвестиций, которые окупаются в лучшем случае за 8 лет, а продолжительность их строительства превышает обычно 5-6 лет и более. Немаловажную роль играет низкая надежность теплоснабжения от городских ТЭЦ, о чем свидетельствуют многие случаи срыва отопления во многих городах России, в том числе размораживание отопительных систем по причинам «веерного» отключения электроэнергии целым районам города, производимыми РАО ЕЭС. Отказу от традиционной теплофикации способствует и нынешний способ регулирования отдачи теплоты, приводимое к «недотопу» в холодный и «перетопу» в весенний период. Разработанная в нашем университете на кафедре теплоэнергетики методика объективного определения реальной экономии топлива от теплофикации с большим трудом пробивает себе дорогу, хотя ряд ученых - энергетиков страны стали уже ее применять в своих научных исследованиях. При этом стало очевидным, что надо срочно разрабатывать новые системы теплоснабжения городов, которые позволили бы достигать реальную экономию топлива с меньшими капиталовложениями и с высокой надежностью. В результате проведенных исследований в Проблемной научно-исследовательской лаборатории теплоэнергетических установок электростанций (ПНИЛ ТЭУ) университета разработаны новые, более совершенные системы теплоснабжения городов, использующие новейшие парогазовые технологии и полиэтиленовые трубы. В качестве примера рассмотрим здесь только один вариант комбинированной системы теплоснабжения (рис. 2), предназначенной для городов с завышенной газозависимостью. Здесь учитывается и то обстоятельство что цена газа в ближайшие годы должна быть повышена до европейского уровня (160 долл.) (рис. 3), т.е. более чем в 3 раза. В предлагаемой системе реализуются следующие принципы: 1) годовое количество сжигаемого в городе природного газа для отопления и горячего водоснабжения уменьшить в 2-3 раза, а в летнее время до нуля; 2) создать условия для возможной замены расходуемого на ТЭЦ газа дефицитным топливом; 3) уменьшить потребные капиталовложения в ТЭЦ и тепловые сети хотя бы в 1,5-2 раза, при одновременном сокращении срока строительства; 4) дать возможность тепловым потребителям включать и выключать отопление в любое время года и поддерживать в квартирах нужную им температуру воздуха; 5) обеспечить жилые дома и коммунальные предприятия горячей водой в течение года, независимо от работы отопительной системы. При этом ее санитарное качество должно соответствовать питьевой воде и не зависеть от состояния воды в отопительных системах и в системе городского водоснабжения. Эти требования, оказывается, можно полностью реализовать при осуществлении отопления и горячего водоснабжения от разных источников теплоты.



ДК – домовая котельная на природном газе; БА – бак-аккумулятор горячей воды

Рис. 3. Система комбинированного теплоснабжения жилого дома

В частности, горячее водоснабжение должно осуществляться от загородных ТЭЦ, работающих на любом топливе, т.е. путем осуществления низкотемпературного теплоснабжения с однотрубной магистральной сетью. Учитывая, что загородная ТЭЦ может строиться на самых дешевых землях без системы вторичного охлаждения и теплового загрязнения реки потребные инвестиции на ее строительство могут быть в 3-5 раз меньше, чем на городскую ТЭЦ.

Однотрубная полиэтиленовая теплосеть будет на порядок дешевле, чем двухтрубная высокого давления и т.д. При этом вся отопительная нагрузка в городах с большой фоновой загазованностью должна осуществляться от местных теплогенераторов и районных котельных, работающих только в отопительный период. Эти котельные, если их надстроить самыми простыми ГТУ или поршневыми ДВС, будут служить и определенным резервом электроснабжения. Более того, наличие независимого горячего водоснабжения позволяет его использовать для кратковременного отопления отдельных домов в аварийных ситуациях. Этим самым обеспечивается высокая надежность предлагаемой системы теплоснабжения.

Произведенные экономические расчеты показывают, что такая система комбинированного теплоснабжения может обеспечить годовую экономию топлива (по сравнению с выработкой электроэнергии на КЭС и всей теплоты в котельной) до 30%, снижением его количества, сжигаемого в атмосфере города в отопительный период почти на 40%, а в летний период – до нуля. Главное – обеспечить выполнение надежности теплоснабжения и улучшения здоровья жителей городов.

### Выводы

1. Восстановление изношенных систем теплофикации от крупных ТЭЦ с двухтрубными стальными тепловыми сетями ни по экономическим, ни по экологическим соображениям нецелесообразно.

2. Они должны быть заменены новой, комбинированной системой дальнего горячего водоснабжения от загородных ТЭЦ, расположенных у источников пресной воды и нагревающих ее до 70°C при отсутствии возврата «обратной» воды на ТЭЦ. Это позволяет применять однотрубную тепловую сеть с использованием полиэтиленовых труб с их укладкой непосредственно в грунт.

3. При такой системе теплоснабжения покрытие всей отопительной нагрузки в городе можно производить только от местных котельных. При этом выбросы вредных веществ в атмосферу города от источников теплоснабжения в летний период уменьшаются до нуля.

4. Потребность в инвестициях на сооружение загородных ТЭЦ и однотрубных сетей оказывается намного меньшей, чем на реконструкцию традиционной теплофикации от крупных городских ТЭЦ.

5. Местные отопительные котельные должны быть оборудованы резервными дизельными энергоустановками, или мини-ГТУ, повышающими надежность электроснабжения города.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Андрющенко А.И. Пути сокращения расхода природного газа в системах теплоэнергоснабжения городов / А.И. Андрющенко // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2001. № 9-10. С. 49-52.

2. Андрющенко А.И. Выбор перспективных схем теплоснабжения городов с использованием парогазовых технологий / А.И. Андрющенко, Ю.Е. Николаев // Промышленная энергетика. 2004. № 9. С. 22-25.

3. Андрющенко А.И. О разделении расхода топлива и формировании тарифов на ТЭЦ / А.И. Андрющенко // Теплоэнергетика. 2004. № 8. С. 77-78.

**Андрющенко Анатолий Иванович** –  
доктор технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика»  
Саратовского государственного технического университета

## АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 66.012-52

В.П. Бирюков

### РАСШИРЕННАЯ ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

*На основании анализа достижимой точности управления поставлена расширенная задача синтеза системы управления, включающая доработку объекта управления для повышения его управляемости и обеспечения условий эффективной работы системы управления. Предложены показатель управляемости объекта управления и методика построения эффективных систем управления технологическими процессами.*

V.P. Birukov

### THE EXPANDED PROBLEM OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS CONTROL

*On the basis of the analysis of the achieved accuracy of the management a wide problem of synthesis of the control system, including completion of the object of the management for its increase of managing and maintenance of conditions of an effective work of a control system is put. The parameter managing of the object of the management and a technique of construction of effective control systems of technological processes are offered in the article.*

Процедура синтеза системы управления при наличии сформулированной цели управления и заданном критерии качества заключается в решении двух взаимосвязанных проблем [1, 2] – построении математической модели объекта управления и разработке алгоритма управления. Такой подход [3], когда объект управления рассматривается как малоизменяемая часть системы, большинство свойств и характеристик которого фиксированы, при решении задач управления технологическими процессами часто оказывается неприемлем, вследствие

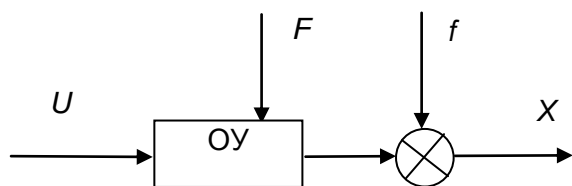


Рис. 1. Структурная схема объекта управления

недостатка ресурсов для реализации цели управления. Для решения задачи в данных условиях рассматривается расширенная задача управления, когда исходный технологический процесс дорабатывается и изменяются исходные данные для разработки системы управления.

При этом к вышеуказанным двум проблемам синтеза системы добавляется этап повышения управляемости объекта управления [4, 5].

Технологический процесс как объект управления представлен структурной схемой, приведенной на рис. 1. Принятые обозначения:  $X$  – регулируемая переменная;  $F$  – измеряемое возмущение;  $f$  – совокупность всех неконтролируемых возмущений, приведенных к выходу объекта управления;  $U$  – управляющее воздействие.

При отсутствии управления и корреляционной связи между  $F$  и  $f$  дисперсию выходной переменной  $\sigma^2$  можно представить в виде суммы

$$\sigma^2 = \sigma_F^2 + \sigma_f^2, \quad (1)$$

где  $\sigma_F^2$ ,  $\sigma_f^2$  – части дисперсии выходной переменной, обусловленные изменением контролируемого и неконтролируемого возмущений.

Рассмотрим задачу стабилизации выходной переменной с помощью комбинированной системы управления, представленной на рис. 2. Такая система широко применяется для управления технологическими процессами, как в качестве автоматизированной системы, так и при управлении процессом непосредственно технологическим персоналом.

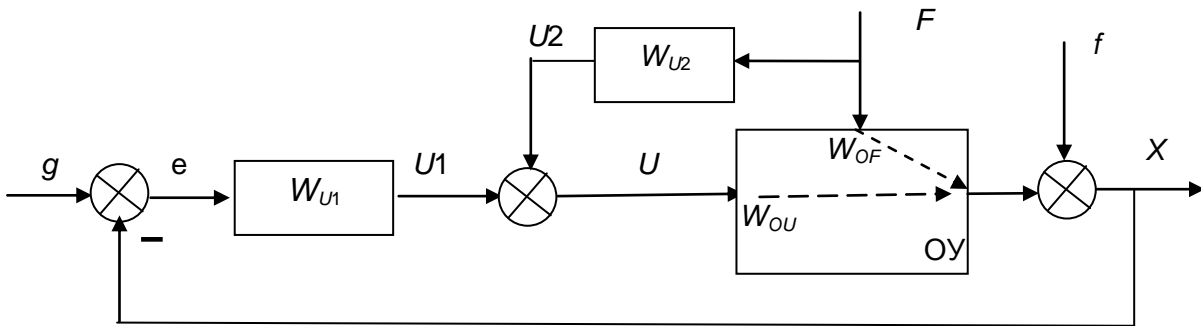


Рис. 2. Классическая комбинированная система управления

На рисунке обозначено:  $W_{OF}$ ,  $W_{OU}$  – передаточные функции объекта управления по возмущающему и управляющему воздействиям;  $W_{U1}$ ,  $W_{U2}$  – передаточные функции управляющих устройств обратной связи и компенсации возмущения.

Учитывая, что часть дисперсии выходной переменной, обусловленной влиянием неконтролируемого возмущения, частично обрабатывается обратной связью, запишем

$$\sigma^2 = \sigma_F^2 + \sigma_{f1}^2 + \sigma_{f2}^2, \quad (2)$$

где  $\sigma_{f1}^2$  – часть дисперсии выходной переменной, обрабатываемая алгоритмом обратной связи;  $\sigma_{f2}^2$  – часть дисперсии выходной переменной, неотрабатываемая алгоритмом обратной связи.

Дисперсия ошибки системы управления определяется выражением [6-8]:

$$\sigma_{f2}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} |\Phi_f(j\omega)|^2 S_f(\omega) d\omega, \quad (3)$$

где  $S_f(\omega)$  – спектральная плотность неконтролируемого возмущения;  $\Phi_f(j\omega)$  – частотная характеристика замкнутой системы по возмущающему воздействию

$$\Phi_f(j\omega) = \frac{1}{1 + W_{U1}(j\omega)W_{OU}(j\omega)}. \quad (4)$$

Тогда эффективность системы управления может быть определена показателем

$$r^2 = \frac{\sigma_F^2 + \sigma_{f1}^2}{\sigma^2}, \quad (5)$$

определяющим, какая часть дисперсии выходной переменной отрабатывается системой управления. Показатель эффективности состоит из двух составляющих:

$$r = r_F^2 + r_{f1}^2, \quad (6)$$

где  $r_F^2 = \frac{\sigma_F^2}{\sigma^2}$  – эффективность канала прямого управления;  $r_{f1}^2 = \frac{\sigma_{f1}}{\sigma^2}$  – коэффициент эффективности обратной связи.

Величина  $r_F^2$  обуславливается адекватностью математической модели и определяется известными методами при идентификации объекта управления [9-12].

Выражения (3), (4) показывают, что эффективность обратной связи зависит от спектральной плотности возмущающего воздействия и амплитудно-частотной характеристики замкнутой системы по возмущающему воздействию (АЧХ). В [13, 14], на основании теоремы об интеграле логарифма АЧХ, показано, что если ординаты АЧХ замкнутой системы на низких частотах меньше единицы, то на более высоких частотах они обязательно больше единицы и АЧХ замкнутой системы имеет вид, представленный на рис. 3 (линия 2).

На АЧХ можно выделить три участка [15]. На низкочастотном участке  $\omega < \omega_1$  коэффициент передачи замкнутой системы по возмущающему воздействию меньше единицы. Дисперсия компонент возмущающего воздействия с такими частотами при наличии управления уменьшается. Это зона эффективного действия обратной связи. При этом эффективность управления максимальна на самых низких частотах и снижается по мере увеличения частоты возмущающего воздействия.

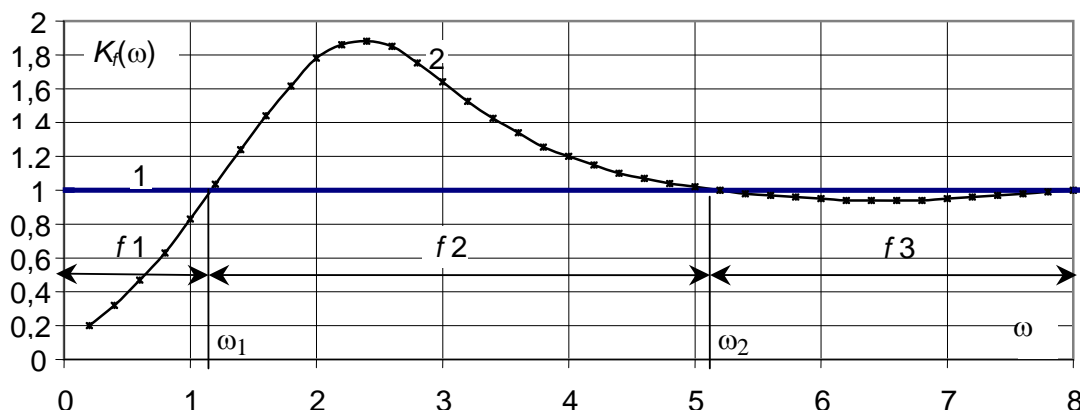


Рис. 3. Амплитудная частотная характеристика разомкнутой (1) и замкнутой (2) систем управления по возмущающему воздействию

На среднечастотном участке  $\omega_1 \leq \omega \leq \omega_2$  коэффициент больше единицы и система увеличивает дисперсию компонент неконтролируемого возмущения с такими частотами.

Высокочастотный участок  $\omega > \omega_2$  соответствует безразличному действию системы управления, т.е. система управления на такие возмущения не оказывает никакого воздействия.

Разложим приведенное к выходу объекта управления неконтролируемое возмущение  $f$  по частоте на три составляющие – низкочастотную  $f_1$ , среднечастотную  $f_2$  и высокочастотную  $f_3$ , находящиеся в соответствующих частотных зонах АЧХ системы управления (рис. 4). От соотношения данных компонент в неконтролируемом возмущении зависит эффективность работы системы с обратной связью.

Возможны два крайних случая взаимного расположения АЧХ и спектральной плотности возмущающего воздействия. Первый, когда спектральная плотность возмущающего воздействия полностью находится в зоне эффективного действия системы управления ( $S_1(\omega)$  на

рис. 5), т.е.  $f$  в данном случае содержит только компоненту  $f_1$ . В этом случае для обработки влияния возмущающих воздействий достаточно иметь только систему управления по отклонению. Второй случай имеет место, когда спектральная плотность возмущающего воздействия полностью находится во второй и третьей зонах ( $S_2(\omega)$  на рис. 5). В этом случае применение обратной связи не дает положительного эффекта и имеет место увеличение дисперсии выходной переменной за счет управляющего воздействия.

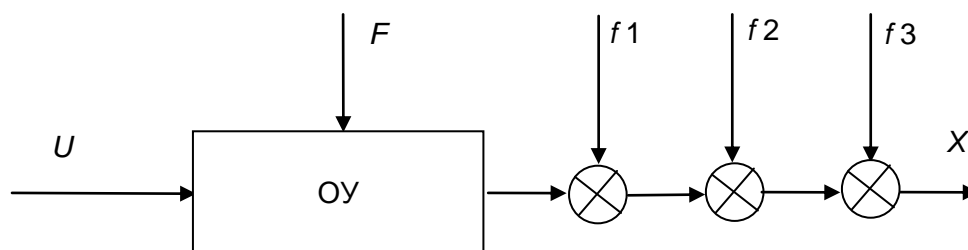


Рис. 4. Разложение неконтролируемого возмущения на составляющие

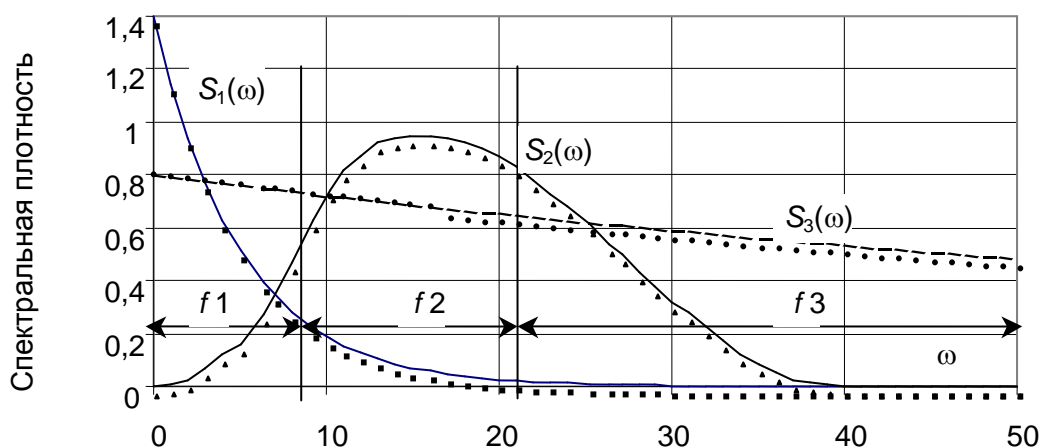


Рис. 5. Спектральные плотности типовых возмущений

Типичными для химико-технологических процессов являются широкополосные возмущающие воздействия, которые захватывают все три зоны частотной характеристики ( $S_3(\omega)$  на рис. 5) [16]. Такое положение частотной характеристики и спектра возмущающего воздействия при низкой адекватности математических моделей химико-технологических процессов является причиной низкой эффективности формально разработанных алгоритмов управления.

Решением задачи разработки эффективной системы управления является создание такого взаимного расположения частотной характеристики системы по возмущающему воздействию и спектральной плотности возмущающего воздействия, при котором большая часть возмущений переходит в низкочастотную зону и уменьшаются неконтролируемые возмущения в средней зоне частотной характеристики замкнутой системы. Очевидно, что это можно сделать смещением частотной характеристики системы вправо по оси частот и смещением влево спектральной плотности неконтролируемого возмущения. Но для того, чтобы изменить эти характеристики, надо изменить сам технологический процесс, т.е. объект управления расширяется до всего технологического процесса. Будем рассматривать задачу разработки системы управления с доработкой технологического процесса как расширенную задачу управления.

Общего аналитического решения данной задачи предложить в настоящее время нельзя. Для этого необходимо проводить последовательные этапы работы на объекте управления. При этом направления работы на последующих этапах зависят от результатов, полученных на предыдущих. Поэтому рассмотрим способы корректировки спектра возмущающих воздействий и частотной характеристики, а процедуру решения задачи представим в виде последовательности операций, выполнение которых обеспечивает повышение управляемости объекта управления.

Для количественной оценки эффективности данных способов и достижимой точности управления введем показатель управляемости объекта управления, в качестве которого будем использовать показатель эффективности системы управления (4) при допущении, что составляющая  $\sigma_F$  полностью отрабатывается каналом компенсации возмущений, а в качестве алгоритма управления канала обратной связи используется стандартный ПИД – регулятор, настройки которого выбираются из условия получения минимальной среднеквадратической ошибки [6-8]. При таких условиях показатель эффективности системы управления будет зависеть только от адекватности математической модели, динамических характеристик объекта управления, спектральных характеристик возмущающих воздействий, т.е. будет являться показателем управляемости объекта управления  $\xi^2$

$$\xi^2 = \frac{\sigma_F^2 + \sigma_{f1}^2}{\sigma^2}, \quad (7)$$

а задача доработки технологического процесса с целью обеспечения эффективности управления соответствует задаче повышения его управляемости.

Возможны следующие пути повышения управляемости объекта управления.

1. Уменьшение мощности среднечастотных неизмеряемых возмущений путем:

- перевода части неконтролируемых среднечастотных возмущений в контролируемые путем дополнительного исследования закономерностей объекта управления, ввода в математическую модель новых входных факторов и повышения адекватности математической модели;
- выявления и устранения источников среднечастотных возмущений;
- выявления и устранения среднечастотных возмущений путем введения дополнительных систем регулирования на предыдущих технологических переходах [17];
- организации фильтров низких частот в технологическом процессе и фильтрации среднечастотных возмущений непосредственно технологическим процессом [16,18].

2. Смещение амплитудной частотной характеристики замкнутой системы в сторону более высоких частот путем повышения быстродействия управляющего воздействия за счет использования:

- промежуточных переменных [19,20];
- каскадных систем управления [21,22];
- новых, более быстродействующих управляющих воздействий.

3. Фильтрация среднечастотных компонент на входе алгоритма управления с целью устранения увеличения ошибки управления при замыкании системы [23].

На рис. 6 представлена блок-схема процесса решения расширенной задачи управления, включающего построение математической модели объекта управления, оценку управляемости технологического процесса и доработку при необходимости технологического процесса, разработку оптимального алгоритма управления.

На первом этапе (блок 1) производится изучение технологического процесса, обзор работ по исследованию данного процесса. На основании априорной информации выявляются измеряемые и неизмеряемые возмущения, производится выбор управляющих воздействий, построение блок-схемы технологического процесса как объекта управления.

На втором этапе (блок 2) производится построение математической модели объекта управления по управляющему воздействию. При этом необходимо учитывать наличие



систем управления на технологическом процессе, в том числе с технологом в контуре управления.

На третьем этапе (блок 3) производится исследование эффективности обратной связи. Для этого производится оценка спектральной плотности возмущающего воздействия, приведенного к выходу объекта управления, построение системы управления по обратной связи, амплитудно-частотной характеристики замкнутой системы по возмущающему воздействию, оценка дисперсии ошибки управления (блок 4). При этом также следует учитывать наличие систем управления, которые частично обрабатывают возмущающие воздействия.

Анализ количественной оценки эффективности обратной связи, взаимного расположения спектральной плотности возмущающего воздействия и частотной характеристики системы управления показывают направление дальнейшей работы.

Если спектр возмущающего воздействия полностью находится в низкочастотной зоне  $\omega < \omega_1$  ( $S_1(\omega)$  на рис. 5) и полученная оценка дисперсии ошибки управления  $s^2$  меньше допустимого значения  $s^2 \leq s_{дон}^2$  (блок 5), то разработка системы на этом заканчивается и производится переход к блоку 12. К таким регулируемым переменным относится часть режимных параметров, разработка систем управления для которых обычно производится путем установки стандартного регулятора и настройки его на объекте управления.

Если спектр возмущающего воздействия несколько шире, и полученная оценка ошибки несколько больше заданной (на 5-20%), то дальнейшим направлением работы может быть построение оптимальной системы управления по отклонению (или с прогнозом возмущающего воздействия), минимизирующей дисперсию выходной координаты (блок 6).

При наличии возмущающих воздействий в средне- и высокочастотном диапазонах построенной системы управления ( $S_2(\omega)$ ,  $S_3(\omega)$  на рис. 5) требуется дополнительное изучение и доработка технологического процесса с целью повышения его управляемости, для чего предназначены блоки 7-11.

Блок 7 предусматривает построение канала компенсации возмущений по математической модели объекта управления. При этом по измеряемым возмущениям строится математическая модель, производится оценка ее адекватности, которая показывает, какая часть дисперсии управляемой переменной может быть отработана по прямым каналам управления. Причем математическая модель может строиться только по входам, спектр которых находится в среднечастотной зоне. Методы построения математических моделей подробно описаны в [9-12]. На данном этапе также следует учитывать наличие на технологическом процессе систем управления. Далее определяется временной ряд остаточной ошибки, оценивается его спектр и производится анализ возможности отработки остаточной ошибки по отклонению (блоки 4-5).

Блок 8 предусматривает устранение недопустимых возмущений путем выделения из временного ряда ошибки управления по математической модели ступенчатых и среднечастотных составляющих, выявления и устранения причин их возникновения и перевода данных возмущений в низкочастотный диапазон. Для этого строятся дополнительные системы стабилизации, вводятся в технологический процесс фильтры низких частот в виде буферных емкостей с полным перемешиванием, разрабатываются методики проведения отдельных операций технологического процесса.

Например, ступенчатые возмущения, имеющие место при смене сырья, производительности и т.д., могут быть переведены в низкочастотные, обрабатываемые по отклонению, путем организации плавного перехода с одной марки сырья на другую, установки дополнительных емкостей в технологическом процессе и т.д. [16,18].

Для перевода неизмеряемых среднечастотных возмущений в измеряемые (блок 9) производится поиск новых источников информации для прямых каналов управления, формирование оценок возмущающих воздействий по косвенным показателям.



Рис. 6. Блок-схема процесса решения расширенной задачи управления

Блок 10 с целью смещения частотной характеристики системы в сторону более высоких частот предусматривает поиск и введение в алгоритм управления новых, более быстродействующих управляющих воздействий, промежуточных переменных, статистически связанных с выходной координатой [19,20], построение каскадных систем управления по отклонению [21,22]. Известно, что если объект управления можно представить в виде двух последовательно соединенных частей, причем на вторую часть объекта не действуют возмущающие воздействия, то, используя сигнал на выходе первой части объекта, можно значительно улучшить работу системы управления [19,20].

Блок 11 предусматривает построение фильтра в цепи обратной связи с целью устранения увеличения ошибки управления за счет обратной связи в области средних частот.

Блок 12 предусматривает улучшение оценок моделей объекта управления, возмущающего воздействия на основе данных опытной работы алгоритма и его доработку, а в случае необходимости и постоянную корректировку алгоритма управления в процессе работы системы. В [23] приведен пример применения корреляционной системы для настройки каналов компенсации контролируемых возмущений системы управления зрелостью вискозы.

Высокочастотные возмущения обычно сглаживаются аппаратами технологического процесса. В противном случае поиск вариантов их отработки производится аналогично.

Применение данного анализа позволяет разложить возмущающие воздействия на составляющие и целенаправленно вести поиск способов их обработки. При этом на каждом этапе определено направление работы, отслеживается снижение ошибки управления, причем обрабатывается спектр возмущающего воздействия, а не конкретный временной ряд. Все временные ряды, имеющие такой спектр, будут обрабатываться системой управления.

Выполнение работы по блокам 1-5,7,11 позволяет построить систему управления, обеспечивающую точность на уровне работы технологического персонала. Но правильно подобранная обратная связь на той же информации, которой пользуется технологический персонал, устраняет автоколебания средней частоты, часто имеющие место при управлении технологическим персоналом.

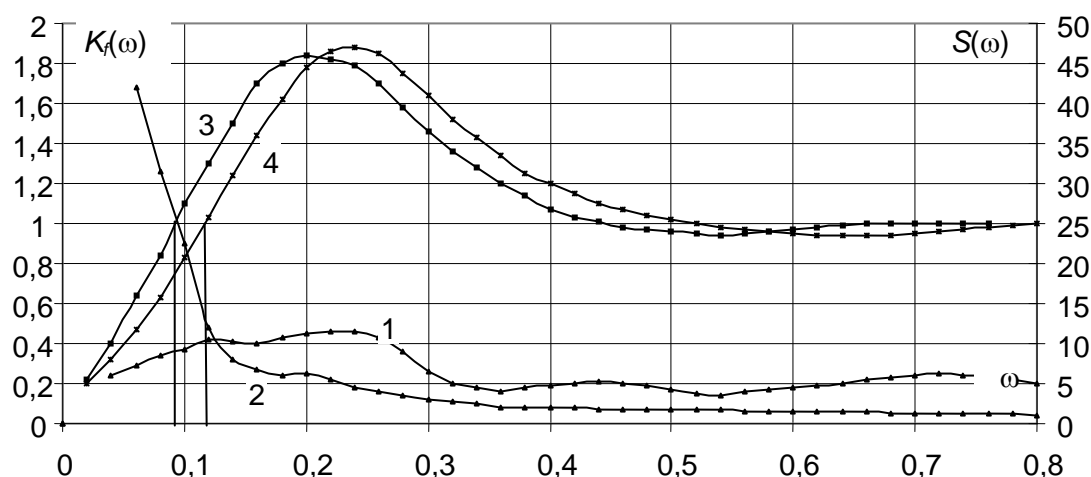


Рис. 7. Результаты доработки объекта управления вязкостью вискозы; спектральные плотности исходного возмущения (1) и сглаженного (2); частотные характеристики исходной системы (3) и при использовании промежуточной оценки по косвенным параметрам (4)

Блоки 8-11 позволяют повысить управляемость технологического процесса и точность работы системы управления. Необходимо отметить, что такая доработка требуется не только

при применении ЭВМ для управления технологическим процессом, но и при ведении процесса технологическим персоналом.

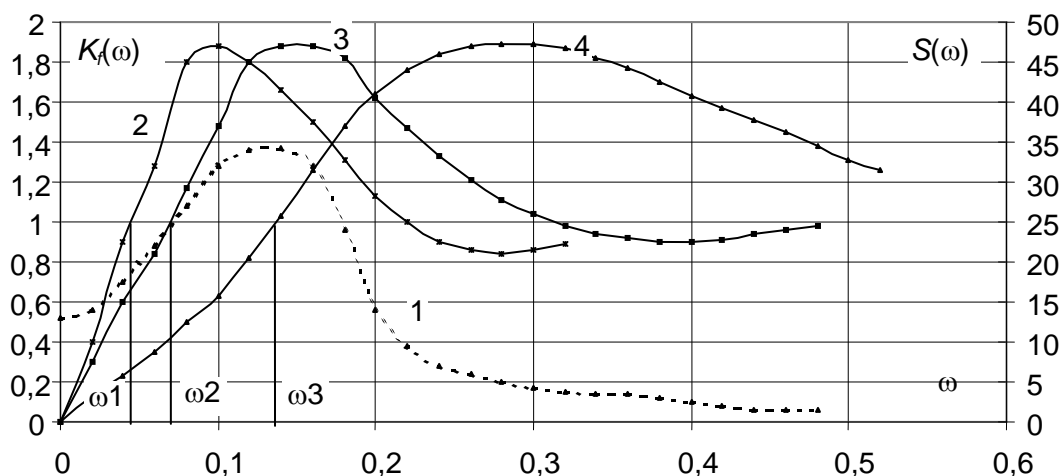


Рис. 8. Результаты доработки объекта управления зрелостью вискозы: спектральная плотность неконтролируемого возмущения (1); частотные характеристики исходной системы (2) и внутренних контуров каскадной системы по промежуточным параметрам (3), (4)

Итеративный процесс разработки алгоритма управления по данной методике продолжается до достижения заданной или максимально достижимой на данном этапе познания объекта управления ошибки управления. Причем, как указывалось выше, на каждом этапе определено направление исследования.

Применение данного подхода позволило создать эффективные системы управления технологическими процессами вязкозных производств, производства полипропиленовой нити. На рис. 7 приведены результаты доработки объекта управления вязкостью вискозы целлофанового производства. Изменение методики перехода с одного типа целлюлозы на другой и доработка процесса приготовления растворительной щелочи позволили перевести неконтролируемые возмущения в низкочастотную зону эффективной работы системы управления (графики 1 и 2). Использование косвенной оценки выходной переменной позволило снизить время транспортного запаздывания объекта по управляющему параметру с 7 до 5 часов и расширить низкочастотную зону эффективной работы системы (графики 3 и 4).

На рис. 8 приведены результаты доработки объекта управления зрелостью вискозы. Применение промежуточных переменных позволило расширить низкочастотную зону эффективной работы системы управления с предельной частоты  $\omega_1$  до частоты  $\omega_1$  и добиться, чтобы большая часть спектральной плотности неконтролируемого возмущения оказалась в зоне эффективной работы системы управления.

Таким образом, при разработке системы управления необходимо создать условия для ее эффективной работы. При этом к двум этапам разработки системы управления – построению математической модели и разработке алгоритма управления следует добавить этап доработки объекта управления с целью доведения его управляемости до необходимого уровня.

Следует отметить, что разделение возмущений на обрабатываемые по прямым каналам управления и по отклонению следует производить не по возможности их измерения, а по спектру. Низкочастотные возмущения, содержащие только компоненту  $f_1$ , следует относить к неконтролируемым, а для среднечастотных и широкополосных, содержащих компоненту  $f_2$ , изыскивать возможность отработки по прямым каналам управления или принимать другие рассмотренные выше меры. Соответственно, в математической модели можно учитывать только возмущения, включающие среднечастотные компоненты. При этом следует иметь в

виду, что канал компенсации возмущения нужен для отработки среднечастотных возмущений и ошибки данного канала не могут быть отработаны каналом обратной связи.

Показатель управляемости может использоваться в качестве характеристики сложности исходной задачи разработки системы управления, показателя эффективности технических решений, показателя готовности технологического процесса к построению системы управления. Данная методика применима и для систем управления, построенных на основе адаптивных математических моделей. Причем, рассмотренные методы можно применять для повышения адекватности математических моделей. Блоки 8, 9 позволяют добиться выполнения допущений, принятых при построении математических моделей, и повысить эффективность алгоритмов адаптации математических моделей. Такой же анализ необходим при решении задач оптимизации технологических процессов. Для повышения эффективности оптимизации необходимо добиться, чтобы дрейф экстремума был в зоне эффективной работы системы оптимального управления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Перельман И.И. Оперативная идентификация объектов управления / И.И. Перельман. М.: Энергоиздат, 1982. 272 с.
2. Ротач В.Я. Автоматизация настройки систем управления / В.Я. Ротач. М.: Энергоатомиздат, 1984. 272 с.
3. Автоматизированное проектирование систем автоматического управления / под ред. В.В. Солодовникова. М.: Машиностроение, 1980. 332 с.
4. Бирюков В.П. Алгоритм управления технологическим объектом / В.П. Бирюков, В.В. Сотников // Труды ЛТИ. 1989. Спецвыпуск 1. Т. 39. С. 18-24.
5. Бирюков В.П. К вопросу разработки алгоритмов управления технологическими процессами / В.П. Бирюков, В.В. Сотников // Системы управления подвижными объектами и автоматизация технологических процессов: тез. докл. науч.-практ. конф. Томск, 1989. С. 80.
6. Солодовников В.В. Статистическая динамика линейных систем автоматического регулирования / В.В. Солодовников. М.: Физматгиздат, 1960. 656 с.
7. Санковский Е.А. Вопросы теории автоматических систем / Е.А. Санковский. М.: Наука, 1977. 560 с.
8. Цыпкин Я.З. Основы теории автоматических систем / Я.З. Цыпкин. М.: Наука, 560 с.
9. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория пользователя / Л. Льюнг. М.: Наука, 1991. 432 с.
10. Построение математических моделей химико-технологических объектов / Е.Г. Дудников, В.С. Балакирев, В.Н. Кривсунов, А.М. Цирлин. Л.: Химия, 1970. 312 с.
11. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления / П. Эйкхофф. М.: Мир, 1975. 686 с.
12. Растринин Л.А. Введение в идентификацию объектов управления / Л.А. Растринин, Н.Е. Маджаров. М.: Энергия, 1977. 216 с.
13. Волгин В.В. Некоторые свойства амплитудно-частотных характеристик линейных систем автоматического регулирования и качество регулирования при случайных воздействиях / В.В. Волгин, Р.Н. Каримов // Известия вузов. Электромеханика. 1973. № 2. С. 195-205.
14. Волгин В.В. Учет реальных возмущающих воздействий и выбор критерия качества при сравнительной оценке качества регулирования тепловых процессов / В.В. Волгин, Р.Н. Каримов, А.С. Карецкий // Теплотехника. 1970. № 3. С. 25-30.
15. Мордкович Б.И. Системы питания технологических линий химических производств / Б.И. Мордкович. М.: Химия, 1975. 174 с.

16. Бирюков В.П. К вопросу переработки целлюлозы разных марок в производстве вискозных волокон и пленок / В.П. Бирюков, Е.Н. Грибалева // Химические волокна. 1988. № 2. С. 59-61.
17. Такер Г. Упрощенные методы анализа систем автоматического регулирования / Г. Такер, Д. Уиллс. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. 368 с.
18. Бирюков В.П. Уменьшение влияния содержания примесей в каустике на вязкость вискозы / В.П. Бирюков, А.А. Силкина // Химические волокна. 1990. № 2. С. 27-28.
19. Гурецкий К. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием / К. Гурецкий. М.: Машиностроение, 1974. 328 с.
20. Гельфанд Я.Е. Синтез оптимального управляющего устройства для объектов с запаздыванием при управлении по косвенной переменной / Я.Е. Гельфанд, Ю.Г. Френкель // Автоматизация планирования управления непрерывными процессами. Фрунзе: Илим, 1974. Вып. 4. С. 32-38.
21. Ротач В.Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования / В.Я. Ротач. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961. 344 с.
22. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования / В.Я. Ротач. М.: Энергия, 1973. 440 с.
23. Бирюков В.П. Некоторые принципы построения систем управления технологическими процессами с высоким уровнем неконтролируемых возмущений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л.: ЛТИ, 1991. 20 с.

**Бирюков Владимир Петрович –**

доктор технических наук, профессор кафедры «Управление и информатика в технических системах» Балаковского института техники, технологии и управления Саратовского государственного технического университета

УДК 622.691.4.004.5

**А.И. Синев, П.К. Плотников, А.П. Рамзаев,  
Д.В. Черепанов, В.Б. Никишин, П.Г. Чигирев**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВНУТРИТРУБНОГО ИНСПЕКТИРУЮЩЕГО  
СНАРЯДА С ПОМОЩЬЮ БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ  
НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ**

*Определены опытным путем коэффициенты упрощенной математической модели внутритрубного инспектирующего снаряда (ВИС), соответствующие как режимам его движений в действующих газопроводах, так и статическому режиму, при размещении в трубах на полигоне. В результате найдены частоты собственных затухающих колебаний и резонансные частоты по шести квазикоординатам ВИС, возникающих в результате взаимодействия его со сварными швами, по ним определены коэффициенты жесткостей «демпфирования опорных элементов» снарядов СИТ-1200 и СИТ-1000. Установлена зависимость этих параметров для  $\Omega_{x2}'$ ,  $\Omega_3'$  от скорости движения ВИС в трубопроводе.*

A.I. Sinev, P.K. Plotnikov, A.P. Ramzaev, D.V. Cherepanov, V.B. Nikishin, P.G. Chigirev

## THE RESEARCHES OF DYNAMICS OF INTERNAL PIPE INSPECTING APPARATUS WITH THE HELP OF WITHOUT PLATFORM INERTIAL NAVIGATE SYSTEM

*Factors of the simplified mathematical model of the internal pipe inspecting apparatus corresponding to as to the modes of his movements in working gas mains as to the static mode are determined by practical consideration, at accommodation in pipes on range. As a result the frequencies of own fading fluctuations and resonant frequencies on six quasi-coordinates IVP, appeared as a result of its interaction with welded seams, and according to them factors of hardness «decrement basic elements» pigs SIT-1200 and SIT-1000 are determined. Dependence of these parameters for  $\Omega_{x_2}'$ ,  $\Omega_3'$  from speed of movement IVP in the pipeline is established.*

Движение внутритрубного инспектирующего снаряда (ВИС) по трубопроводу сопровождается различного рода возмущениями. В основном они связаны с взаимодействием манжет и колес со сварными швами и потоками газа. Реакция снаряда на указанные возмущения проявляется в изменении параметров его движения, наличии затухающих переходных процессов изменения угловых и линейных ускорений. Параметры движения в случае использования для инспекции навигационно-топографического снаряда (НТ ВИС) [1] могут быть зафиксированы датчиками первичной информации (ДПИ) бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС). По записанным переходным процессам представляется возможным определить частоты затухающих колебаний, показатели затухания и другие параметры, а затем жесткости и коэффициенты демпфирования опорных устройств связи снаряда с трубой. Для построения переходных процессов, определения динамических параметров и исследования влияния на них линейной скорости движения снаряда использовались записи сигналов ДПИ трех пропусков снаряда СИТ-1200 на трассе МГ «Грязовец – Торжок» диаметром 1200 мм с различными скоростями на одних и тех же дистанциях трассы и пропуска снаряда СИТ-1000 по участку МГ «Парабель-Кузбасс» 242-404 км диаметром 1000 мм [2, 3]. Кроме этого были проведены испытания НТ ВИС типа ВИС «ДСУ-1200» на трассе магистрального газопровода (МГ) «Екатериновка – Балашов» протяженностью 110 км. ВИС был пропущен по этому участку дважды: со средней скоростью около 3 м/с и 4 м/с. Во время испытаний запись сигналов ДПИ в бортовой компьютер осуществлялась с частотой 100 Гц по всем 11 каналам (3 канала для сигналов ДЛУММ, 3 основных и 3 дополнительных канала для сигналов ВОГ, канал измерения температуры внутри блока ДПИ и канал одометра). В составе одометрического канала реализовано буферное устройство-счетчик импульсов одометра с дискретностью 1 см. Таким образом, на каждом такте опроса одометрического канала в память бортового компьютера записывалось пройденное НТ ВИС расстояние от камеры запуска.

В [2] были выведены общие дифференциальные нелинейные уравнения движения ВИС как тела с шестью степенями свободы, без учета и с учетом переносного движения, и на их основе получены упрощенные математические модели. Отметим, что хотя ВИС в поступательном движении представляется как точка, в которой сосредоточена вся масса тела, внешние силы рассматриваются как сосредоточенные с учетом неизменной взаимной разнесенности точек их приложения к элементам конструкции. Этот подход упростил вывод формул для моментов внешних сил в уравнениях углового движения твердого тела.

Из полных уравнений получены уравнения движения для малых углов поворотов ВИС (кроме угла крена) и с учетом того, что центробежные моменты инерции равны нулю; в силу этого положено:

$$\begin{aligned} \sin \Theta &\cong \Theta, \quad \cos \Theta \cong 1; \quad \sin \Phi \cong \Phi; \quad \cos \Phi \cong 1; \\ \sin \sigma &\cong \sigma; \quad \sin v \cong v; \quad \cos \sigma \cong \cos v \cong 1, \end{aligned} \quad (1)$$

Система дифференциальных уравнений ВИС для малых углов поворотов вблизи и в зонах предварительных смещений в резалевой системе координат представляется в виде следующей системы дифференциальных уравнений первого приближения:

$$\begin{aligned} m \ddot{x}_{c1} + n_{x1}(\dot{x}_{c1} + V_{x1}) + n_{x1}^{(3)}(\dot{x}_{c1} + V_{x1})^3 + C_{x1}x_{c1} - C_{x1}^{(2)}(x_{c1})^2 \operatorname{sign} x_{c1} - C_{x1}^{(3)}(x_{c1})^3 &= \\ = F_{ax1} - mg(\theta + \sigma) - m\dot{V}_{x1}; \quad |x_{c1}| \leq \lambda_{x1} \\ m \ddot{x}_{c1} + n_{x1}(\dot{x}_{c1} + V_{x1}) + n_{x1}^{(3)}(\dot{x}_{c1} + V_{x1})^3 + F_{Tx1}(\dot{x}_{c1}, V_{x1}, \dots) &= F_{ax1} - mg(\theta + \sigma) - m\dot{V}_{x1}; \quad |x_{c1}| > \lambda_{x1} \\ m \ddot{x}'_{c2} + n_{x2}\dot{x}'_{c2} + n_{x2}^{(3)}(x'_{c2})^3 + 3C_M(x_{20})^{1/2}\Delta x'_{c2} + 2C_M(x'_{20})^{3/2} &= F'_{ax2} - mg; \\ 2C_M(x'_{20})^{3/2} &= -mg; \\ m \ddot{x}'_{c3} + n_{x3}\dot{x}'_{c3} + n_{x3}^{(3)}(x'_{c3})^3 + 2C_M(x_{20})^{1/2}\Delta x'_{c3} &= F'_{ax3}; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} I_{x1}\ddot{\gamma} + k_{\partial x1}\dot{\gamma} + k_{\partial x1}^{(3)}(\dot{\gamma})^3 + C_1\gamma + C_1^{(2)}(\gamma)^2 \operatorname{sign} \gamma - C_1^{(3)}(\gamma)^3 &= \\ = -mg x_{y2} \sin \gamma; \quad |\gamma| \leq \lambda_\gamma \\ I_{x1}\ddot{\gamma} + k_{\partial x1}\dot{\gamma} + k_{\partial x1}^{(3)}(\dot{\gamma})^3 &= M_{Tx1} + M_{ax1} - mg x_{y2} \sin \gamma; \quad |\gamma| > \lambda_\gamma \\ I_{x2}(\ddot{v} + \ddot{\Phi}) + k_{\partial x2}\dot{v} + k_{\partial x2}^{(3)}(\dot{v})^3 + \frac{L^2 C_M(x_{20})^{1/2}}{2} v &= M'_{ax2}; \quad C_1 = \frac{L^2 C_M(x_{20})^{1/2}}{2}; \\ I_{x3}(\ddot{\sigma} + \ddot{\Theta}) + k_{\partial x3}\dot{\sigma} + k_{\partial x3}^{(3)}(\dot{\sigma})^3 + \frac{L^2 C_M(x_{20})^{1/2}}{2} \sigma &= mg x_{y1} + M'_{ax3}; \quad C_1 = C_2; \\ x'_{c2} = x'_{20} + \Delta x'_{2}; \quad x'_{c3} = x'_{30} + \Delta x'_{3} = \Delta x'_{3}, \quad m.k. \quad x'_{30} = 0; \quad C_M(x_{20})^{3/2} &= -mg. \end{aligned}$$

где  $\gamma, v, \sigma$  – углы поворотов ВИС вокруг продольной, нормальной (относительно трубы) и поперечной осей соответственно. Отметим, что при  $v = \sigma = 0$  угол  $\gamma$  равен углу крена ВИС;  $m, I_{xi}$  ( $i = \overline{1,3}$ ) – масса и осевые моменты инерции ВИС;  $g$  – ускорение силы тяжести;  $V_{x1}$  – ускорение поступательного относительного движения ВИС;  $L$  – расстояние между опорными элементами;  $C_M$  – коэффициент передачи в законе Герца;  $C_{x1}, \dots, C_{x1}^{(3)}$  – коэффициенты передачи характеристик опорных элементов;  $n_{x1}, \dots, k_{\partial x3}^{(3)}$  – коэффициенты демпфирования линейных и нелинейных составляющих;  $F_{axi}; M_{axi}$  ( $i = \overline{1,2,3}$ ) – возмущающие силы и моменты сил;  $x_{yi}$  – смещение центра масс ВИС относительно центра подвеса;  $x'_{20}, \Delta x'_i$  – статическое смещение и вариации смещений ВИС;  $V_{x1}$  – скорость поступательного движения ВИС относительно трубы.

При  $x_{y2} = x_{y3} = 0$  все уравнения системы (2) становятся независимыми. Тогда для любой одномассовой системы, описываемой уравнением и соответствующим любому из линеаризованных уравнений системы (1) [3]:

$$\ddot{x}_k + 2h_k x_k + (\Omega_k^0)^2 x_k = F_k(t), \quad (3)$$

найлены частоты собственных недемпфированных колебаний  $\Omega_i^0, \Omega_{xi}^0$  и другие параметры из уравнений в вариациях, полученных из (3):

$$\begin{aligned} \Delta \ddot{x}'_i + 2\xi_{xi} \Omega_{xi}^0 \Delta \dot{x}'_i + (\Omega_{xi}^0)^2 \Delta x'_i &= \frac{F'_{axi}}{m} \quad (i = \overline{1,2,3}), \\ \ddot{v}_i + 2\xi_i \Omega_i^0 \dot{v}_i + (\Omega_i^0)^2 v_i &= \frac{M'_{axi}}{I_i} \quad (v_2 = v; v_3 = \sigma). \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь  $F'_{axi}(t), M'_{axi}$  – возмущения;  $\Omega_i^0, \Omega_{xi}^0$  – частоты недемпфированных колебаний;  $\xi_i, \xi_{xi}$  – безразмерные показатели затухания. Величины безразмерных показателей затухания находятся



из формы записи:  $2\xi'_{x2} \Omega_{x2}^{0'} = \frac{n'_{x2}}{m}$ ;  $(\Omega_{x2}^{0'})^2 = \frac{C_M(x'_{20})^{1/2}}{m}$ ; ...;  $(\Omega_3^{0'})^2 = \frac{L^2 C_M}{2I_3}$ , где  $\Omega'_{xi}$ ,  $\Omega'_i$  – частоты

собственных демпфированных колебаний снаряда в поступательном и угловом движении.

На рис. 1 представлен суммарный сигнал с акселерометров, приведенный к вертикальной плоскости снаряда. На нем видно наличие участков взаимодействия манжет со швами, характеризующихся переходным процессом с определенной частотой, и участков между швами, на которых сигнал характеризуется относительно постоянным значением. Видно, что при движении снаряд испытывает двойной удар при взаимодействии со сварным швом: передней и задней манжетой. Кроме этого видно, что амплитуда ускорения при взаимодействии со швом передней манжеты меньше, чем задней. Это связано с расположением блока датчиков ускорения ближе к задней манжете. Аналогичный вид имеют сигналы датчика угловой скорости (ВОГа) относительно оси тангажа, представленные на рис. 2.

W, g

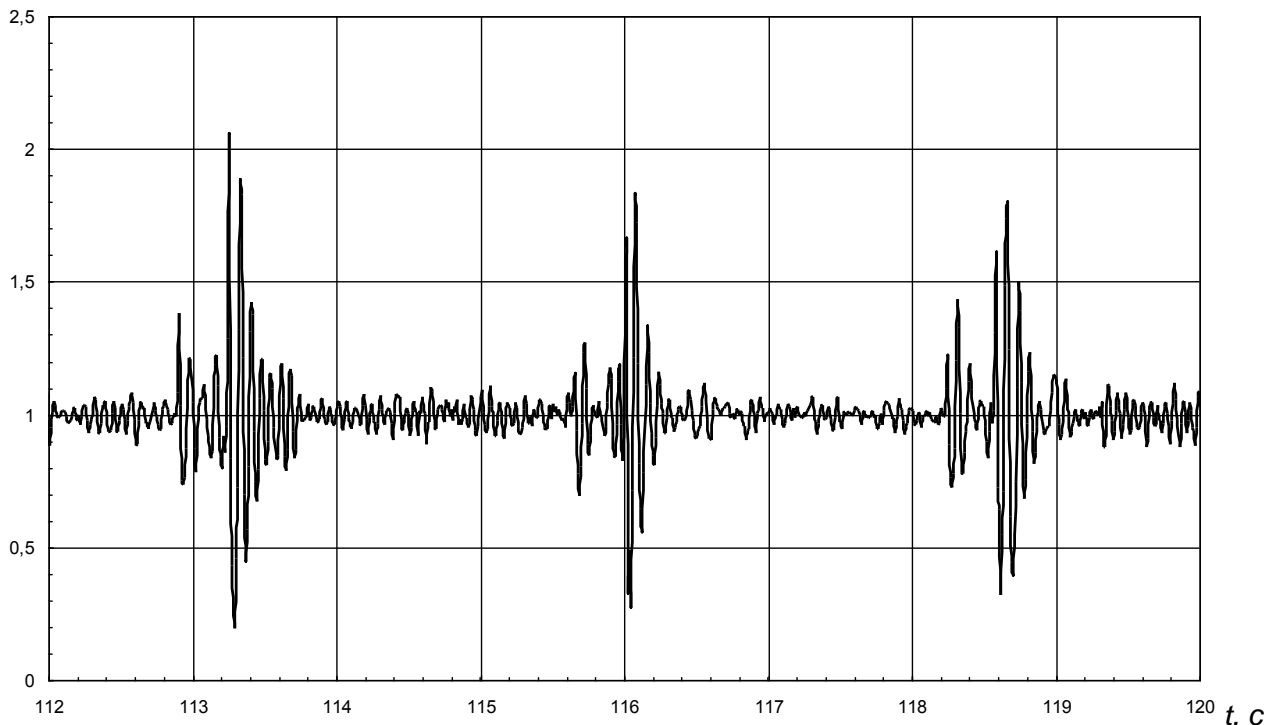


Рис. 1. Суммарный сигнал с акселерометров, приведенный к вертикальной плоскости снаряда

Обработка записанной информации осуществлялась последовательно во времени: сначала – запись информации, затем – её обработка. В настоящее время имеется возможность реализовать устройство накопления данных с необходимой для многочасовой работы ВИС емкостью на основе использования флэш-дисков, которые устойчивы к вибрациям и ударам до 1000 g.

Обработка экспериментальных графиков производилась по следующей методике. Для ряда линейных динамических систем, полученных из (1) с учетом вышеперечисленных упрощений и описываемых дифференциальными уравнениями второго порядка, при рассмотрении режима малых колебаний применены соотношения:

$$\xi'_{xi} = \frac{h'_{xi}}{\Omega_{xi}^{0'}}; t_{nn} = \frac{\ln \tilde{\mu}_i}{h'_{xi}}; h'_{xi} = \frac{n_{xi}}{2m}; \Omega_{xi}^0 = \sqrt{\frac{c_{xi}}{m}}, (i = 1, 2, 3), \Omega'_{xi} = \sqrt{(\Omega_{xi}^{0'})^2 - (h'_{xi})^2}, \quad (5)$$

где  $\xi'_i, h'_{xi}$  – безразмерный и размерный показатели затухания ВИС по сигналу акселерометра  $W'_{xi}$ ;  $\tilde{\mu}_i$  – число, показывающее снижение амплитуды колебаний. Аналогично для определения параметров переходного процесса по координатам углового движения имеем следующие формулы;

$$\xi'_i = \frac{h'_i}{\Omega'_i}; \quad h'_i = \frac{n'_i}{2I'_{xi}}; \quad \Omega_i^{0'} = \sqrt{\frac{c_i}{I'_{xi}}}, \quad (i=1,2,3); \quad \Omega'_i = \sqrt{(\Omega_i^{0'})^2 - (h'_i)^2}, \quad (6)$$

где  $\xi'_i, h'_i, \Omega_i^{0'}, \Omega'_i$  ( $i=1,2,3$ ) – безразмерный и размерный показатели затухания, частоты собственных недемпфированных и демпфированных колебаний для координат  $\gamma, \nu$  и  $\sigma$  соответственно.

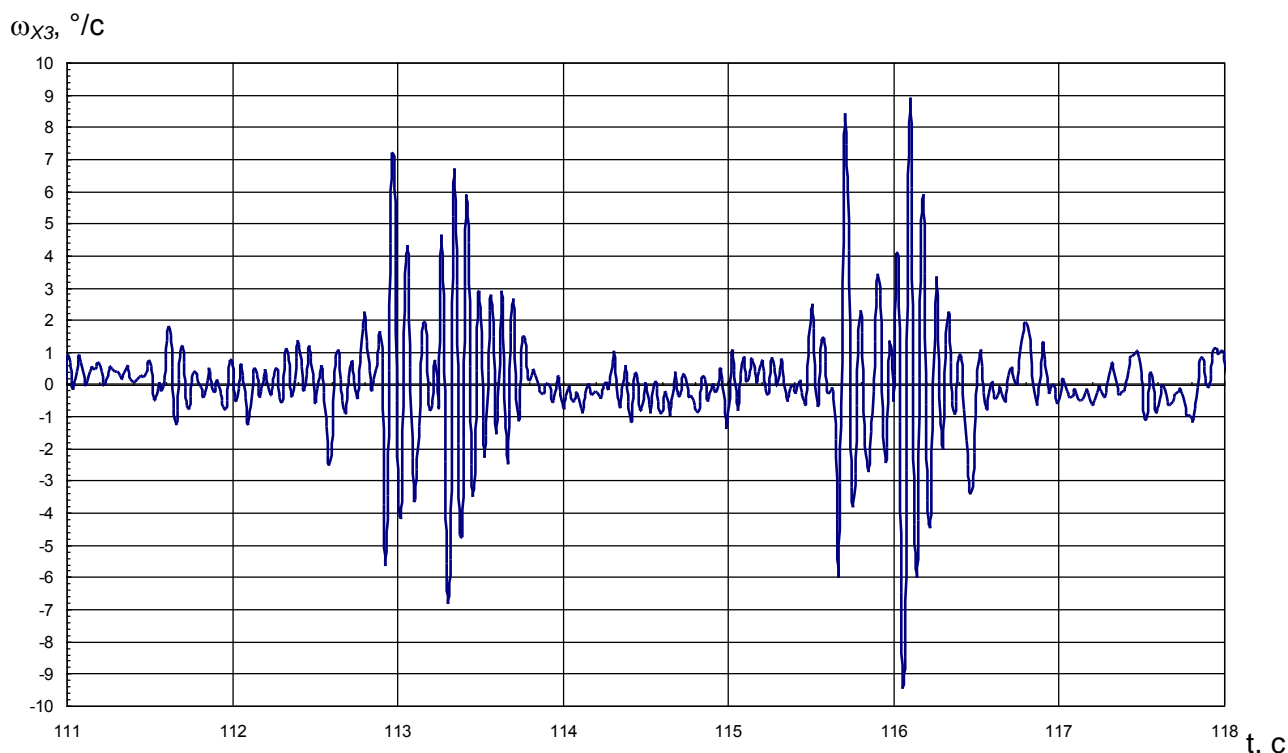


Рис. 2. Сигнал датчиков угловой скорости относительно оси  $OX'_3$

Для определения частоты резонансных колебаний НТ ВИС при движении в трубопроводе применен следующий подход. Сигналы гироскопов, а также акселерометров БИНС, записанные с дискретностью  $10^{-2}$  с, в соответствии с теоремой Котельникова позволили воспроизводить частоты колебаний ВИС в диапазоне частот до 50 Гц. В ходе испытаний ВИС на трассе «Екатериновка-Балашов» произведены записи оценок угловых скоростей  $\omega_{xi}$  ( $i=1, 2, 3$ ) и кажущихся ускорений  $W_{xi}$  ( $i=1, 2, 3$ ), на которых выявлены колебания с различными частотами. Указанные записи были подвергнуты быстрому преобразованию Фурье с помощью стандартных процедур математического процессора MathCAD 7.0 Professional Edition (PRO).

Спектральные характеристики построены для трасс Екатериновка-Балашов (>100 км), снаряд ДСУ-1200, 2 пропуска его со скоростями 3 и 4 м/с, а также для трассы «Грязовец – Торжок» (снаряд такого же типа марки СИТ-1200) – 3 пропуска снаряда со скоростями 4,4; 1,5 и 1,2 м/с. Для одних и тех же одноименных на каждой трассе участков построены переходные процессы для каждой из всех переменных  $\omega_{xi}$  и  $W_{xi}$  ( $i=1,2,3$ ) по 3-6 реализаций, а

для трассы Грязовец-Торжок – по 24 реализациям для процессов по  $\omega_{\xi}$  и  $W_{\eta}$ . К этим переменным приведены  $\omega_{xi}$  и  $W_{xi}$  ( $i=1,2,3$ ) с помощью формул преобразований координат на основе определенных БИСОН углов  $\psi, \theta, \gamma$ . После определения частот собственных демпфированных колебаний и безразмерных показателей затухания по каждой реализации переходных процессов одноименные параметры были осреднены с определением величин их среднеквадратических отклонений и доверительных вероятностей.

Частоты собственных колебаний  $\Omega_i$ , определенные в результате обработки переходных процессов, сравнивались с частотами резонансных колебаний  $\Omega_i^p$  по спектральным характеристикам. Так как в среднем безразмерные показатели затухания для всех процессов, кроме  $\omega_{x1}, W_{x1}$ , малы ( $\xi=0,05, \dots, 0,15$ ), то  $\Omega_i$  и  $\Omega_i^p$  отличаются друг от друга на малую величину. Для  $\omega_{x1}$  и  $W_{x1}$  указанные показатели  $\xi_i$  изменяются в более широких пределах – от 0,05 до 0,35 безразмерных долей единицы. Данные по частотам  $\Omega_i, \Omega_i^p, \dots$  приведены в табл. 1.

Таблица 1

Частоты собственных колебаний

Частоты колебаний	Параметр движения	$\omega_{x1}$	$\omega_{x2}$	$\omega_{x3}$	$W_{x1}$	$W_{x2}$	$W_{x3}$	Виды процессов
Трасса МГ «Екатериновка – Балашов»								
$\Omega_i, \Omega_{xi} (i=1,2,3)$ Гц		6	9,3	11	1, ..., 10	11,5	11	переходные
$\Omega_i^p, \Omega_{xi}^p (i=1,2,3)$ Гц		6	7,5	13	1, ..., 10	12,5	12	нестационарные
Трасса МГ «Грязовец – Торжок»								
$\Omega_{xi}, \Omega_i (i=1,2,3)$ $\Omega_{x2}, \Omega_3$		5,5	8	12,6	1, ..., 10	13	8	переходные
$\Omega_{xi}^p, \Omega_i^p (i=1,2,3)$ $\Omega_{x2}, \Omega_3$		5	8	12	1, ..., 9	13	9	нестационарные

Пример спектральной характеристики для трассы МГ «Екатериновка-Балашов» приведен на рис. 3, на нем ясно виден резонансный пик на частоте 3 Гц, другой, меньшей амплитуды – на частоте 6 Гц. По анализу переходных процессов частоты колебаний в разные интервалы времени на записях сигналов лежат в диапазоне от 1 до 10 Гц, что соответствует и данным значениям.

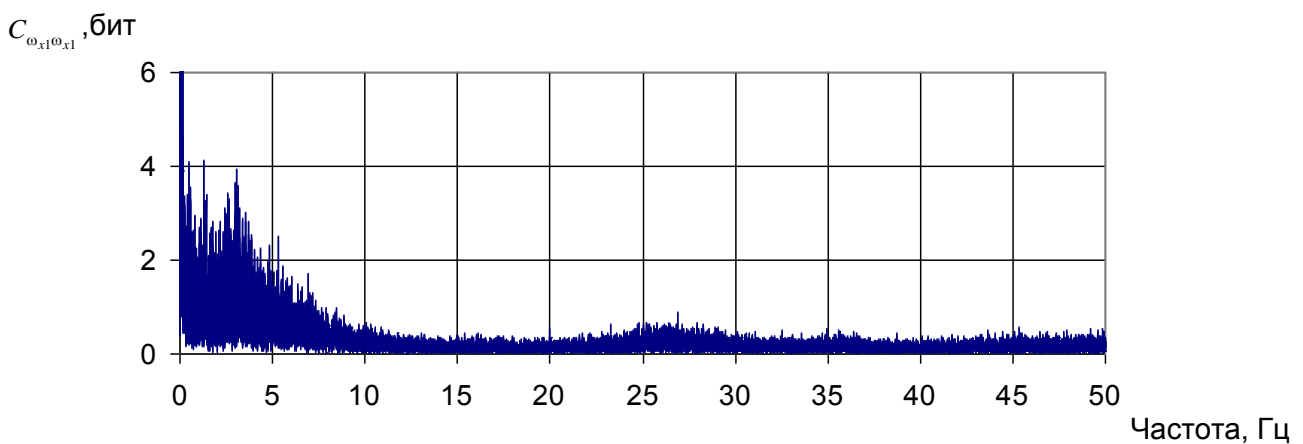


Рис. 3. Спектральная характеристика для трассы МГ «Екатериновка – Балашов»

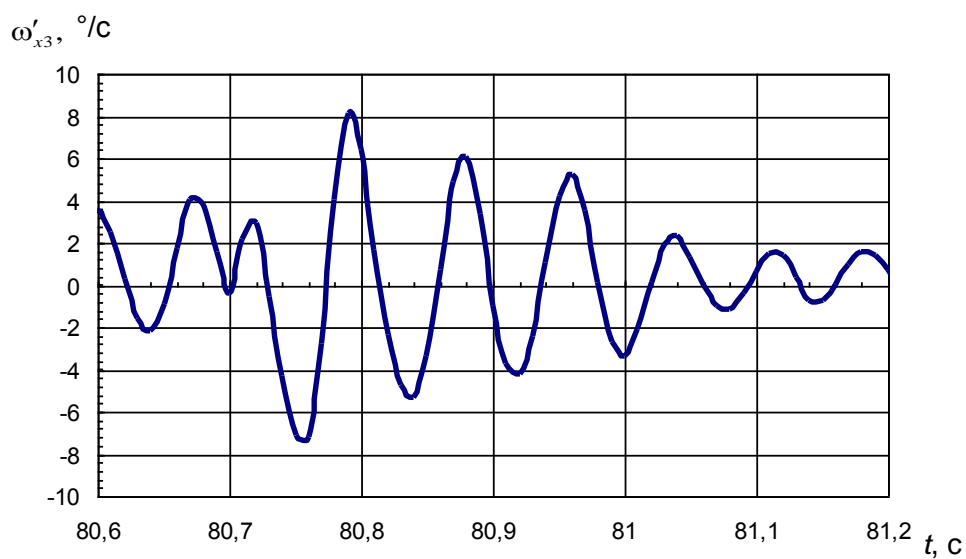
Анализ записанных кривых переходных процессов показал, что наиболее стабильными во времени и пространстве оказались переходные процессы по компонентам угловой скорости  $\omega'_{x3}$  и кажущегося ускорения  $W'_{x2}$ , векторы которых ориентированы в плоскости горизонта и по вертикали места. Наименее стабильными оказались переходные процессы по  $W_{x1}$  и  $\omega_{x1}$ . Упомянутые стабильности и нестабильности колебательных процессов объясняются тем, что за счет силы веса снаряда опорные элементы имеют существенные начальные деформации по координатам  $o^{(2)}x'_2$  и  $o^{(1)}x'_3$ , в силу чего при набегах снаряда на швы и другие препятствия в нем возбуждаются малые затухающие колебания вокруг смещенных положений.

По оценкам, реализации  $W_{x1}$  и  $\omega_{x1}$  менее стабильны по частоте и затуханию за счет того, что причинами, препятствующими движениям по этим переменным, являются в первую очередь моменты сил и силы трения соответственно от опорных элементов в виде колес, манжет и металлических щеток–магнитопроводов. Трение, как известно, является нестабильным. В первую очередь это относится к рабочим точкам на характеристиках сил и моментов сил в зависимости от величин поступательных и угловых деформаций в зонах и за зонами предварительных смещений. Они не являются стабильными по отношению к остальным координатам, в том числе по отношению к  $\omega_{x2}$  и  $W_{x3}$  – движениям НТ ВИС по этим переменным имеют частоты, имеющие большие вариации по отношению к  $\omega'_{x3}$  и  $W'_{x2}$ , но гораздо легче идентифицированы, чем по информации  $\omega_{x1}$  и  $W_{x1}$ . Определены путем статистической обработки 24 переходных процессов средние значения частоты колебаний и безразмерного показателя затухания по сигналам  $\omega'_{x3}$  и  $W'_{x2}$ . Это сделано для снарядов СИТ-1200.

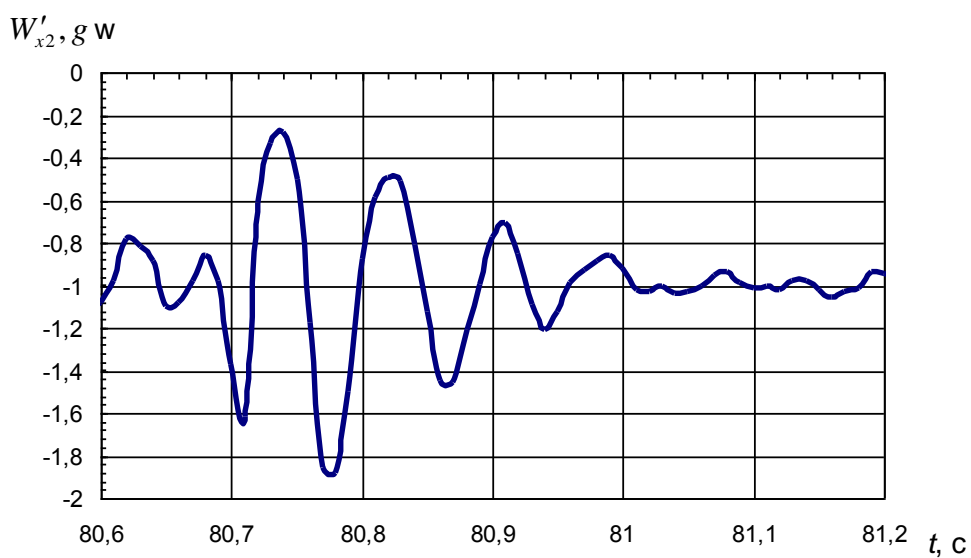
Примеры переходных процессов наиболее четких (рис. 4, а,б) и наименее четких (на фоне помех) (рис. 4, в) реализаций от отдельного возбуждения (за счет сварного шва) свидетельствуют о сказанном выше: частоты демпфированных колебаний  $\Omega_{x1}$  и  $\Omega_1$  равны 4 Гц и 9 Гц при безразмерных показателях затухания  $\xi_{x1}=0,4$  и  $\xi_{x1}=0,06$  соответственно. Нетрудно видеть, что наибольший безразмерный показатель затухания, в предположении линейности малых колебаний, наблюдается по координатам  $W_{x1}$  ( $\xi=0,2, \dots, 0,35$ ),  $\omega_{x1}$  ( $\xi=0,05, \dots, 0,35$ ), наименьший – ( $\xi=0,05, \dots, 0,15$ ) – по другим координатам.

Анализ спектральных характеристик по всем сигналам  $\omega_{xi}$  и  $W_{xi}$ ,  $\omega'_{x3}$  и  $W'_{x2}$  ( $i = \overline{1,3}$ ) рис. 3, таблица свидетельствует о следующем. На спектрах имеются явно выраженные резонансные пики и резонансные области. Сравнение частот переходных процессов по  $\omega_{\zeta}$ ,  $W_{\eta}$ ,  $\omega_{x2}$ ,  $W_{x3}$  с резонансными пиками и областями свидетельствует о том, что на характеристиках имеются резонансные частоты, которые практически совпадают с частотами переходных процессов. Следует отметить, что при малых  $\xi_i$  и  $\xi_{xi}$  ( $i = \overline{1,3}$ ) эти частоты по расчету практически совпадают, т.к.  $\Omega_i = \Omega_i^0 \sqrt{1 - (\xi_i)^2}$  и  $\Omega_i^{pez} = \Omega_i^0 \sqrt{1 - 2(\xi_i)^2}$ . Что касается частот, определяемых по процессам  $\omega_{x1}$ ,  $W_{x1}$ , то в них из-за значительных коэффициентов  $\xi_1$  и  $\xi_{x1}$  и неустойчивости значений  $\Omega_1^0$ ,  $\Omega_{x1}^0$ , вызываемой близостью границы зоны предварительного смещения, различия в частотах гораздо больше.

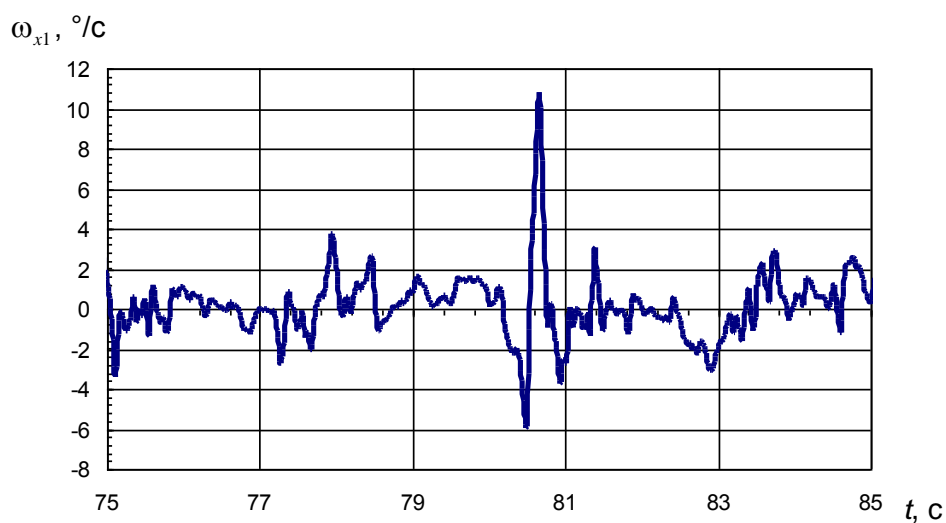
По определенным частотам собственных колебаний назначают частотный диапазон ВОГ и акселерометров. Он, как известно, должен быть на порядок больше этих частот. В практическом плане примененные в первом варианте БИСОН приборы ДЛУММ-3 с частотными диапазонами 25 Гц были заменены во втором варианте на ВГ-951 и КХ67-041 с частотными диапазонами 60 и 100 Гц соответственно.



а



б



в

Рис. 4. Примеры переходных процессов

По результатам испытаний для трассы Грязовец-Торжок для частот собственных демпфированных колебаний НТ ВИС, определенных по переходным процессам, для  $I_{x1}=22,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $I_{x2}=I_{x3}=91,8 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ; были найдены основные параметры снаряда СИТ-1200 (табл. 2).

Таблица 2

Упруго-демпфирующие параметры СИТ-1200

$C_{x1}, \text{ Н/м}$	$C_{\eta}, \text{ Н/м}$	$C_{x3}, \text{ Н/м}$	$K_1, \frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$	$K_2, \frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$	$K_3, \frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$
$4,2\cdot 10^6$	$2,42\cdot 10^7$	$8,76\cdot 10^6$	$2,8\cdot 10^4$	$6,17\cdot 10^5$	$5,9\cdot 10^5$

По сигналам ТГИУС и ТИКУ определены максимальные величины  $\omega_{xi}^{\max}$  и  $W_{xi}^{\max}$ . Они составили значения до 70 °/с и 5 g соответственно. Установлено, что при возрастании скорости движения снаряда с 1,2 м/с до 4,44 м/с наблюдается рост частот колебаний в переходных процессах с 11,8 Гц до 13 Гц и снижение безразмерных коэффициентов затухания по приближенным соотношениям, полученным методом наименьших квадратов (для снаряда СИТ-1200)

$$\Omega_{\omega_{\zeta}} = -0,005V_{x1}^2 \text{ sign}V_{x1} + 0,628V_{x1} + 11,035; \Omega_{W_{\eta}} = -0,116V_{x1}^2 \text{ sign}V_{x1} + 1,31V_{x1} + 10,07,$$

$$\xi_{\omega_{\zeta}} = 0,005V_{x1}^2 \text{ sign}V_{x1} - 0,012V_{x1} + 0,294, \xi_{W_{\eta}} = -0,001V_{x1}^2 \text{ sign}V_{x1} - 0,02V_{x1} + 0,284,$$

$$(V_{x1} \in (1,2;\dots;4,4)\text{ м/с}).$$

Таблица 3

Параметры переходных процессов сигналов датчиков вертикального ускорения (СИТ-1200)

Параметры переходных процессов	1-й пропуск, V=4,44 м/с			2-й пропуск V=3,83 м/с			3-й пропуск V=1,2 м/с		
	T, с	f, Гц	$\delta$	T, с	f, Гц	$\delta$	T, с	f, Гц	$\delta$
Среднее значение	0,074	13,57	0,545	0,076	13,37	0,6	0,088	11,469	0,81
Среднеквадратическое отклонение	0,005	0,866	0,101	0,001	1,043	0,178	0,007	0,925	0,223

Таблица 4

Параметры переходных процессов сигналов ВОГа по оси тангажа (СИТ1200)

Параметры переходных процессов	1-й пропуск, V=4,44 м/с			2-й пропуск V=3,83 м/с			3-й пропуск V=1,2 м/с		
	T, с	f, Гц	$\delta$	T, с	f, Гц	$\delta$	T, с	f, Гц	$\delta$
Среднее значение	0,077	13,1	0,435	0,0779	12,9	0,54	0,085	11,78	0,854
Среднеквадратическое отклонение	0,004	0,682	0,123	0,001	0,625	0,153	0,006	0,850	0,249

Таблица 5

Параметры переходных процессов сигналов датчиков вертикального ускорения (СИТ-1000)

Параметры переходных процессов	V=3,64 м/с			V=2,63 м/с		
	T, с	f, Гц	$\delta$	T, с	f, Гц	$\delta$
Среднее значение	0,0746	13,5	0,7	0,0763	13,1	0,88
Среднеквадратическое отклонение	0,002	0,303	0,039	0,0012	0,2	0,04

Таблица 6

Параметры переходных процессов сигналов ВОГа по оси тангажа (СИТ-1000)

Параметры переходных процессов	V=3,64 м/с			V=2,63 м/с		
	T, с	f, Гц	$\delta$	T, с	f, Гц	$\delta$
Среднее значение	0,0732	13,7	0,575	0,0768	13,05	0,78
Среднеквадратическое отклонение	0,0010	0,19	0,056	0,0010	0,1711	0,0444

Найдем жесткости  $c = \omega_0^2 m$  и коэффициенты демпфирования  $k_d = 2\eta m$  одномассовой системы, описываемой уравнением (3). Для  $m$  – массы снаряда (3500 кг) и трех пропусков СИТ-1200 получим:

Таблица 7

Динамические параметры снаряда СИТ-1200

V, м/с	$\eta$ , с <sup>-1</sup>	$\omega$ , с <sup>-1</sup>	$\omega_0$ , с <sup>-1</sup>	$c \cdot 10^7$ , Н/м	$k_d \cdot 10^5$ , Нс/м	$\xi$
4,44	14,7	85,2	87,74	2,7	1	0,17
3,83	15,9	84	86,95	2,65	1,1	0,19
1,2	18,4	72	76,6	2,05	1,3	0,26

Проведем аналогичные операции для определения параметров жесткости и демпфирования снаряда СИТ-1000 (масса снаряда 2580 кг). В результате получим следующие значения параметров:

Таблица 8

Динамические параметры снаряда СИТ-1000

V, м/с	$\eta$ , с <sup>-1</sup>	$\omega$ , с <sup>-1</sup>	$\omega_0$ , с <sup>-1</sup>	$c \cdot 10^7$ , Н/м	$k_d \cdot 10^4$ , Нс/м	$\xi$
3,64	18,86	84,77	88,86	2,04	9,7	0,22
2,63	23,2	82,6	88,49	2,02	12	0,28

Изменение параметров переходных процессов и динамических параметров снаряда от скорости предположительно объясняется в первую очередь изменением логарифмического декремента затухания полиуретановых манжет от силы удара, зависящей от скорости движения. Проведенные экспериментальные исследования на образце манжеты из полиуретана СК-1000 показали, что величина логарифмического декремента затухания колеблется в пределах от 0,5 до 0,7 в зависимости от силы удара.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Графики изменения сигналов ДПИ при движении снаряда по трубопроводу характеризуются наличием участков взаимодействия манжет со сварочными швами с повышенной амплитудой сигнала и наличием затухающего переходного процесса с одной частотой, зависящей от жесткости связи снаряда с трубопроводом, а также участков в середине трубы, на которых сигналы ДПИ характеризуются относительно постоянным значением.

2. Установлено, что при возрастании скорости движения снарядов наблюдается рост частот колебаний переходного процесса с 11,78 Гц до 13,1 Гц и снижение декремента затухания с 0,854 до 0,435; соответствующим образом изменяются значения суммарной жесткости и коэффициента демпфирования связи снарядов в трубопроводе при их взаимодействии со швом в вертикальном направлении для снарядов СИТ-1000 и СИТ-1200.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ № 2207512. Навигационно-топографический внутритрубный инспектирующий снаряд / П. К. Плотников, А. И. Синев, В. Б. Никишин, А. П. Рамзаев. Б. И. 2003. № 18.
2. Синев А. И. О физической и математической моделях внутритрубного инспектирующего снаряда / А. И. Синев. Саратов. гос. техн. ун-т. Саратов, 1999. 17 с. Деп. в ВИНТИ 08.12.99 № 3653-В99.
3. Четаев Н. Г. Теоретическая механика / Н. Г. Четаев. М.: Наука, 1987. 368 с.

**Синев Андрей Иванович** –  
генеральный директор ЗАО «Газприборавтоматикасервис»

**Плотников Петр Колестратович** –  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Приборостроение»  
Саратовского государственного технического университета

**Рамзаев Анатолий Павлович** –  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение»  
Саратовского государственного технического университета

**Черепанов Дмитрий Владимирович** –  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение»  
Саратовского государственного технического университета

**Никишин Владимир Борисович** –  
кандидат технических наук, доцент,  
руководитель группы навигационных технологий ЗАО «Газприборавтоматикасервис»

**Чигирев Петр Григорьевич** –  
инженер группы навигационных технологий ЗАО «Газприборавтоматикасервис»



---

---

# ЭКОЛОГИЯ

---

---

УДК 614.83+614.84:628.33

**Б.Н. Яковлев**

## **АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ СТЕПЕНЬ ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

*На основе долговременных натурных и теоретических исследований приведен анализ основных факторов, влияющих на взрывопожарную опасность канализационных очистных сооружений. Даны рекомендации по уменьшению опасности очистных сооружений при их эксплуатации.*

**B.N. Yakovlev**

## **ANALYSIS OF FACTORS, DETERMINING THE DEGREE OF THE FIRE-AND-EXPLOSION DANGER OF THE SEWAGE PURIFICATION FACILITIES**

*Analysis of main factors, influencing the fire-and-explosion danger of the sewage purification facilities was made based on the long-term field and theoretical investigations. Recommendations are given as regards the reduction of the dangers posed by the operation of the purification facilities.*

Описание случаев взрывов, пожаров и аварий на канализационных сетях и очистных сооружениях в нашей стране и за рубежом приводится в ряде работ [1-4].

В исследованиях автора [5-10] показана взрывная, пожарная и экологическая опасность канализационных очистных сооружений предприятий и производств. Эта опасность зависит от различных причин: технологических, организационных, санитарно-гигиенических и других. Представляет определенный интерес анализ основных факторов, которые и определяют взрывопожарную и экологическую опасность при эксплуатации очистных сооружений по очистке производственных сточных вод.

По полученным результатам долговременных экспериментальных и теоретических исследований, выявлены факторы, оказывающие непосредственное влияние на взрывопожарную опасность канализационных очистных сооружений.

Во-первых, установлена зависимость опасности сооружений от количества горючих веществ в производственных сточных водах, поступающих на очистку от различных производств, цехов, оборудования, аппаратов и пр. Чем больше в промстоках количество горючих веществ: легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, а также горючих газов, тем выше загазованность различных воздушных зон канализационных очистных сооружений, что повышает взрывопожарную и экологическую опасность.

Текущие концентрации горючих веществ в различных воздушных зонах очистных сооружений резко увеличивались при аварийных сбросах чистого продукта из производственного оборудования, аппаратов, трубопроводов в системы канализации.

Во-вторых, проведенные исследования показали, что не все очистные сооружения в равной степени являются взрывопожароопасными. Доказано, что наибольшей опасностью характеризуются очистные сооружения первичного блока очистки промстоков – песколовки, нефтеловушки и отстойники. В воздушных зонах этих сооружений были обнаружены максимальные значения концентраций паров и газов.

В-третьих, наибольшие концентрации паров и газов зафиксированы непосредственно у поверхности промстоков, в начальной части очистных сооружений.

Следует отметить тот факт, что опасность эксплуатации сооружений возрастает в зависимости от величины температур окружающей среды и самих стоков. Повышение данных температур увеличивает значения концентраций паров и газов в различных зонах сооружений.

Далее, само конструктивное исполнение канализационных очистных сооружений влияет на их взрывопожарную и экологическую опасность. Так, очистные сооружения открытого исполнения представляют меньшую взрывопожарную опасность, но большую экологическую, вследствие повышенной загазованности окружающей среды, и наоборот, при закрытом исполнении загазованность территории уменьшается, с одновременным увеличением концентрации паров и газов внутри воздушных зон самих очистных сооружений.

Скорость движения воздуха также влияет на значения концентраций паров и газов как внутри, так и снаружи очистных сооружений; с увеличением скорости ветра, уменьшаются значения концентраций паров и газов. Максимальные концентрации получены при полном штиле.



Схема основных факторов, снижающих взрывопожарную опасность канализационных очистных сооружений

К факторам, влияющим на взрывопожарную и экологическую опасность канализационных очистных сооружений, следует также отнести: спуск в канализацию горючих жидкостей с высокой температурой; отсутствие гидравлических затворов в местах спуска сточных вод; отсутствие локальной очистки стоков перед сбросом их в очистные сооружения; отсутствие аварийных емкостей для приема залповых сбросов в случаях аварийных ситуаций; размещение электротехнических устройств над или под взрывопожароопасными сооружениями; отсутствие обоснованных безопасных расстояний между различными сооружениями канализации и другими объектами; плохая герметизация технологического оборудования и трубопроводов; нерегулярное удаление с поверхности промстоков нефтепродуктов и других горючих веществ; объединение различных стоков, при котором могут произойти различные химические реакции с выделением горючих и вредных для человека и окружающей среды газов и паров; сброс в канализацию горючих и ядовитых веществ и реагентов, как в штатном режиме работы производства, так и в аварийном и т.д.

В качестве выводов дана схема (см. рисунок) основных факторов, определяющих взрывопожарную опасность канализационных очистных сооружений с рекомендациями по уменьшению опасности при их эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Молоков М. В. Воздух канализационных сетей и методы быстрого определения его состава / М. В. Молоков. Л.: ЛНИИ АКХ, 1958. 23 с.
2. Обухов Е. С. Аварии канализационных коллекторов и борьба с ними / Е. С. Обухов. М.: Госстройиздат, 1939. 116 с.
3. Хаскин С. А. Обеспечение взрывобезопасности и пожарной безопасности при проектировании сооружений водоснабжения и канализации / С. А. Хаскин // Водоснабжение и санитарная техника. 1975. № 3. С. 5-7.
4. Brown J. How to reduce hazards of your Refinery Sewer System / J. Brown and G. T. Shannon // Oil and Gas Journal. 1963. Vol. 61, № 20. P. 116-119.
5. Яковлев Б. Н. Исследование взрывной и пожарной опасности очистных сооружений производств, применяющих легковоспламеняющиеся и горючие жидкости / Б.Н. Яковлев // Химический фактор в условиях труда и охрана труда: межвуз. науч. сб./ СПИ. Саратов, 1979. С.38-43.
6. Яковлев Б. Н. Определение концентраций паровоздушных смесей внутри воздушных зон очистных сооружений нефтеперерабатывающих заводов при отсутствии в них естественной вентиляции / Б. Н. Яковлев // Инженерное обеспечение объектов строительства: Экспресс-информация / ВНИИС Госстроя СССР. М., 1983. Сер. 55, вып. 3. С. 7-10.
7. Яковлев Б. Н. Взрывопожарная опасность канализационных очистных сооружений предприятий железнодорожного транспорта / Б. Н. Яковлев; Саратов. гос. техн. ун-т. Саратов, 2000. 7 с. Деп. в ВИНТИ 17.10.00, № 2641-В 00.
8. Яковлев Б. Н. Загрязнение окружающей воздушной среды канализационными очистными сооружениями нефтеперерабатывающих заводов / Б. Н. Яковлев // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений: межвуз. науч. сб. / СГТУ. Саратов, 2000. С. 72-76.
9. Яковлев Б. Н. Взрывная, пожарная и экологическая опасность канализационных очистных сооружений: монография / Б. Н. Яковлев. Саратов: СГТУ, 2001. 104 с.
10. Яковлев Б. Н. Снижение загрязнения атмосферы канализационными очистными сооружениями предприятий нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности / Б. Н. Яковлев // Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов: материалы Первой Междунар. науч.-техн. конф. ЕLPIT- 2003 (11-14 сент. 2003 г.). Тольятти, 2003. С. 181-183.

**Яковлев Борис Николаевич** –

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Эргономика и безопасность жизнедеятельности» Саратовского государственного технического университета

## ГУМАНИТАРНЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА

---

УДК 008.001

**А.В. Волошинов**

### **СИСТЕМНО-СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА В КУЛЬТУРЕ – НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ КАФЕДРЫ КУЛЬТУРОЛОГИИ**

*Рассматривается история возникновения и основные идеи системно-синергетической парадигмы как междисциплинарной методологии, связующей естественные и гуманитарные науки. Излагаются основные научные результаты кафедры культурологии СГТУ, принимающей системно-синергетическую парадигму в культуре как основной рабочий инструмент в научных исследованиях.*

**A.V. Voloshinov**

### **SYSTEM-SYNERGETIC PARADIGM IN CULTURE AS THE SCIENTIFIC DISCOURSE OF THE DEPARTMENT OF CULTURAL STUDIES**

*The history of origin and the basic concepts of system-synergetic paradigm as the interdisciplinary methodology uniting science and humanities are considered. There are given the principal results of the research conducted by the department of the cultural studies that accepts the system-synergetic paradigm in culture as the main tool of scientific investigations.*

Какую бы точку отсчета в истории науки мы ни принимали – VI в. до н.э., время Пифагора (эта точка отсчета импонирует автору) или XVII в. н.э., век научной революции, время Галилея, Кеплера и Ньютона, бесспорным является то, что история науки шла по пути дифференциации знания. Это разделение науки на мелкие «огородики» достигло своего апогея к середине XX в., когда стала популярной шутка «сколько математиков – столько и математик» (эта шутка французского происхождения более понятна на родном языке, где *les mathématiques* – существительное множественного числа) и когда Чарльз Сноу прочел знаменитую лекцию о пропасти между «научной» и «художественной» культурами [1].

К этому же времени после механики, физики и химии вышли на передовые рубежи науки исследования по биологии, которая имеет дело с живыми системами, а живые системы недоступны методам традиционного анализа, ибо анализ (по-русски – расчленение) их про-

сто убивает. Так возникла потребность в изучении *целостных сложных и сверхсложных систем*, где *целое есть нечто большее, чем сумма составляющих частей*. Так в биологии (Людвиг фон Бергаланфи в США, Петр Анохин – в СССР) родился *системный подход*. С 1969 г. в Москве стал выходить ежегодник «Системные исследования».

Чуть позже и физика подошла к необходимости изучения процессов организации, самоорганизации и реорганизации в сложных и сверхсложных системах – это работы по теории лазера Германа Хакена (Германия), по неравновесной термодинамике Ильи Пригожина (Бельгия), по гидродинамике, теории плазмы и теории горения Сергея Курдюмова (Россия). В 1977 г. Хакен ввел в научный обиход термин *синергетика*, который стал обозначать *интегральную науку, изучающую процессы самоорганизации в сложных системах*. Хакен же основал шпрингеровскую серию книг по синергетике, которая к настоящему времени насчитывает более 70 томов.

А еще чуть позже стало ясным, что *системный подход* – это более, чем «подход», но новый универсальный метод, применимый не только к биологическим, но и к любым сложным, в том числе и социальным системам. Так же и *законы синергетики* проявили свою универсальность не только в естественных, но и гуманитарных науках. Так к концу XX в. сложилась новая *системно-синергетическая парадигма*, с которой связывают надежды на новую универсальную методологию, объединяющую естественно-научное и гуманитарное знание, надежды на новый интегральный междисциплинарный и трансдисциплинарный метод исследования, который объединит современное научное знание. Популярный в годы советского идеологического прессинга афоризм Нобелевского лауреата Льва Ландау о разделении наук на *сверхъестественные* (математика), *естественные* (физика, химия, биология) и *противоестественные* (гуманитарные науки) не просто потерял свою остроту с крахом советской системы, но стал архаичным по своей сути.

Интегральные процессы не оставили в стороне и гуманитарное знание. В 90-е годы на постсоветском пространстве рождается новая наука *культурология*, которая была призвана не только заполнить вакуум, образовавшийся на месте умерших «противоестественных наук» типа истории КПСС и научного коммунизма, но и выступить в роли междисциплинарной науки, объединяющей гуманитарные знания. Естественным для новой интегральной науки культурологии было воспринять новую интегральную методологию, основанную на системно-синергетической парадигме.

Однако новое, как известно, всегда пробивает себе дорогу в трудной борьбе со старым, в особенности, если этим старым выступает воинствующе-ортодоксальное, насквозь идеологизированное постсоветское гуманитарное мышление. В силу ряда причин кафедра культурологии СГТУ явилась в этом процессе проводником новой интегральной методологии в гуманитарных исследованиях, адептом и пионером новой системно-синергетической парадигмы не только в г. Саратове, но и в России. На этом пути у кафедры культурологии есть определенные успехи.

С позиций объединения естественно-научного и гуманитарного знания, преодоления пропасти между научной и художественной культурой (по Сноу) написана книга зав. кафедрой культурологии А.В. Волошинова «Математика и искусство» [2]. Как отмечается в аннотации, в книге на обширном материале от античных времен до наших дней прослеживаются пути взаимодействия и взаимообогащения двух великих сфер культуры – науки и искусства, развивается стержневая идея книги – идея единства науки и искусства, единства истины и красоты.

Методология точных наук, в частности, информационно-синергетические и симметрические методы анализа художественной культуры, являются методологическим стержнем исследований, осуществляемых на кафедре под руководством А.В. Волошинова. Основные результаты этого направления отражены в статьях [3-10]. Результаты этих исследований докладывались также на многих международных съездах, конгрессах и симпозиу-

мах (Москва, Клермон-Ферран, Рим, Прага, Токио, Стокгольм, Дрезден, Копенгаген, Лиссабон и др.).

Одним из ключевых понятий синергетики является понятие фрактала. Фрактальные структуры также являются и важнейшим морфогенетическим законом природы, изучение которых породило на рубеже веков настоящий «фрактальный бум». В работах последних лет, выполненных под руководством А.В. Волошинова, предпринимается попытка доказательства *фрактальной морфологии искусства* или, в парафраз известному высказыванию Галилея, доказательства того, что *книга искусства написана на языке фракталов*. Основные результаты этого направления отражены в статьях [11-15].

Проводимые на кафедре исследования отмечались грантами Российского фонда фундаментальных исследований (№ 97-06-80209), Российского гуманитарного научного фонда (№ 98-03-14050), научной программы МО РФ «Университеты России» (УР.10.01.009).

Особенно приятно, что системно-синергетическая парадигма стала рабочим инструментом для кафедральной молодежи (хотя и не для всей). В этой парадигме под руководством А.В. Волошинова защищены кандидатские диссертации аспирантами кафедры: А.В. Мальшевым «Принцип симметрии в художественном тексте» (1997), М.А. Абрамовым «Структурно-статистический анализ паттернов золотого сечения и зеркальной симметрии в стихотворениях А.С. Пушкина (опыт квантитативной культурологии)» (1999), Е.В. Байковой «Антропоморфные структуры в художественной культуре» (2000), Г.Д. Забродиной «Синергия архитектуры и костюма в пространстве культуры» (2002), Ю.В. Кирбабой «Генезис синергетической парадигмы: культурологические аспекты» (2004). Принята к защите диссертация М.В. Ладухиной «Культура как «вторая природа»: опыт культурологического анализа». Успешно работают над диссертацией «Компьютерный анализ колористической гармонии в живописи» аспирант В.В. Фирстов и диссертацией «Гармония как константа культуры» аспирантка О.В. Хотеева.

В системно-синергетической парадигме молодыми доцентами кафедры М.А. Абрамовым и С.И. Труневым написаны монографии [16, 17].

Таким образом, продуктивный и перспективный метод междисциплинарного анализа подхвачен молодыми силами кафедры, и это вселяет уверенность в успешности будущих научных разработок кафедры культурологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Snow C.P. The Two Cultures and the Scientific Revolution: The Rede Lecture / C.P. Snow. 1959. Cambridge: Cambridge University Press, 1961. 230 p.
2. Волошинов А.В. Математика и искусство. 2-е изд., испр. и доп. / А.В. Волошинов. М.: Просвещение, 2000. 400 с.
3. Voloshinov A. Symmetry as a Superprinciple of Science and Art / A. Voloshinov // Leonardo. 1996. Vol. 29. № 2. P. 109-113.
4. Волошинов А.В. Троица Андрея Рублева: геометрия и философия / А.В. Волошинов // Человек. 1997. № 6. С. 52-74.
5. Абрамов М.А. Пушкин и законы симметрии / М.А. Абрамов, А.В. Волошинов // Человек. 1999. № 3. С. 75-86.
6. Voloshinov A. "The Old Testament Trinity" of Andrey Rublyov: Geometry & Philosophy / A. Voloshinov // Leonardo. 1999. Vol. 32. № 2. P. 103-112.
7. Байкова Е.В. Антропоморфные паттерны как метаязык искусства / Е.В. Байкова, А.В. Волошинов // Языки науки – языки искусства. М.: Прогресс-Традиция, 2000. С. 322-329.
8. Voloshinov A. Alexander Pushkin and the Laws of Symmetry / A. Voloshinov // Symmetry-2000. Ed. by I. Hargittai & T. Laurent. Part 2. London: Portland Press, 2002. P. 597-607.

9. Волошинов А.В. Математические начала формообразования в искусстве / А.В. Волошинов // Нелинейный мир науки, образования, культуры. М.: Прогресс-Традиция, Астрахань: Факел, 2003. С. 19-28.
10. Болдова С.М. Симметричные структуры романа А.И. Солженицына «В круге первом» / С.М. Болдова, А.В. Волошинов // А.И. Солженицын и русская культура: науч. докл. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2004. С. 55-67.
11. Волошинов А.В. Об эстетике фракталов и фрактальности искусства / А.В. Волошинов // Синергетическая парадигма. Нелинейное мышление в науке и искусстве. М.: Прогресс-Традиция, 2002. С. 213-246.
12. Voloshinov A. Beauty: Cosmos and Chaos / A. Voloshinov // Aesthetics & Chaos: Investigating a Creative Complicity. Ed. by Grazia Marchiano. Torino: Trauben, 2002. P. 163-178.
13. Волошинов А.В. Фракталы зеркальной симметрии: от Гомера до Солженицына / А.В. Волошинов, М.В. Ладухина // Эстетика научного познания: материалы Междунар. науч. конф. М.: Современные тетради, 2003. С. 75-78.
14. Волошинов А.В. Гомер – Данте – Солженицын: фракталы искусства / А.В. Волошинов // Языки науки – языки искусства. М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. С. 153-160.
15. Voloshinov A. Fractals in Art: from Homer to Solzhenitsyn / A. Voloshinov // Art and Science. Proceedings of the XVIII Congress of International Association of Empirical Aesthetics. Ed. J.P. Frois et all. Lisbon: Calouste Gulbenkian Foundation, 2004. P. 517-521.
16. Абрамов М.А. Идейные основания русского космизма / М.А. Абрамов. Саратов: СГТУ, 2003. 280 с.
17. Трунев С.И. Цивилизация, отходы, власть: опыты философского осмысления / С.И. Трунев. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2002. 132 с.

**Волошинов Александр Викторович –**

доктор философских наук, кандидат физико-математических наук,  
профессор, заведующий кафедрой «Культурология»  
Саратовского государственного технического университета

УДК (1+111.32 +316.722) (022)

**Д.И. Заров**

**СТРАТЕГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА И ЧЕЛОВЕКА**

*Статья посвящена анализу стратегий и перспектив современного развития. Рассматриваются основания и механизмы цивилизационного развития. Анализируются различные цивилизационные модели человека и их возможности в реализации стратегий общественного развития.*

**D.I. Zarov**

**STRATEGIES AND PERSPECTIVES  
OF A SOCIETY AND A HUMAN BEING DEVELOPMENT**

*This article is devoted to the strategy analysis and perspectives of contemporary development. The foundation and the mechanisms of civilization development are considered here. Different civilization models of human beings and possibilities to realize the society development strategies are analyzed here.*

Исследование стратегий и перспектив развития общества и человека обладает статусом безусловной актуальности для современной науки. Любой конкретный анализ социальных феноменов, если он не исходит из общих закономерностей и стратегий развития всего социального организма и не определяется в плане перспектив его развития, дает лишь одностороннюю информацию об этих феноменах. Эта информация выступает в качестве своеобразного «свободного радикала», позволяющего включить ее в любой контекст и создать любую мифологию, в том числе и с целью манипулирования сознанием человека. Разработка стратегий и перспектив развития общества и человека дает необходимые ориентиры для проведения конкретных исследований по истории, социологии и политологии, анализа роли экономики или техники в современном обществе.

Проведение исследований в рамках основного научного направления кафедры философии СГТУ «Разработка стратегий и перспектив развития общества и человека» происходит под руководством заведующего кафедрой, доктора философских наук, профессора А.С. Борщова. Основное научное направление состоит из трех направлений, разработка которых проводится группами исследователей кафедры, возглавляемыми ведущими учеными коллектива. Прежде всего, это разработка методологических оснований и подходов к исследованию реальности в целом, далее – разработка методологии исследования стратегий и перспектив развития современного общества и, наконец, разработка методологии исследования перспектив развития современного человека.

В своих научных разработках исследователи исходят из положения, что действительные стратегии развития не изобретаются мыслителем или политиком. Иначе говоря, искусственно «изобретенные», сконструированные стратегии развития – это только плод воображения, имеющий к реальности лишь отдаленное отношение. Реальная жизнь, какой бы она ни была, развивается по определенным объективным законам, независимо от сознания даже самого талантливого ученого и самого деятельного политика. Попытки человека создать «гениальную» концепцию будущего состояния общества или человека и из самых благих побуждений направить развитие по своему произволу – по пути «лучшего будущего» всегда наткнулись на реально существующие механизмы развития и направляли его в сторону от оптимального варианта. Поэтому с уверенностью можно сказать, что реальные стратегии не изобретаются, – они существуют объективно и главная задача исследователя – сделать открытие, т.е. – открыть реально существующие стратегии, артикулировать их и сформулировать на этой основе ожидаемые перспективы, реальные цели задачи развития общества и человека.

Существуют различные точки зрения по поводу атрибутивных признаков и моделей человека, а также перспектив его развития. Возможно выделить четыре основные парадигмы человека, порождающие четыре его модели: эссенциализм, экзистенциализм, нигилизм и прагматизм. Кроме этого, выделяются цивилизационные модели человека: западно-христианская, русско-российская, исламская, буддийско-конфуцианская, буддийская и проч.

В рамках эссенциализма ведущей, доминирующей стороной человека определяется его сущность. Выделяются три основных подхода к проблеме сущности человека [1]. Первый подход в качестве атрибутивных признаков человека рассматривает разум и способность к символотворчеству. В рамках данного подхода основная установка мышления направлена на выявление смысла и сущности человеческого бытия. Природа смысла может быть раскрыта лишь через одновременный анализ семантической триады: смысл, текст, язык. В результате мир предстает как своеобразный онтологизированный текст. Второй подход рассматривает человека как процессуальное существо, акцентируя внимание на стабильности



его неизменных атрибутивных качеств и характеристик. Третий подход исходит из признания доминирования связей и отношений человека как интегрального социального существа, сущность которого представляет собой совокупность общественных отношений. В целом в эссенциализме выделяется четыре атрибута сущности человека: свобода (свободный выбор), высшее благо, истина, красота.

В экзистенциализме ведущей стороной человека полагается не его сущность, а существование. Экзистенция как живое существование человека есть то уникальное и неповторимое начало, которое не может быть воспроизведено и артикулировано никакими текстами. Экзистенциальная модель человека существенное внимание уделяет разработке жизненных условий человеческого существования. С позиции нигилизма, высшие ценности не обладают статусом объективного существования. Потому возможно произвольно сформировать такую модель человека, действуя в рамках которой, человек сам определяет векторы и цели своего развития. Прагматическая модель человека ориентирует его на достижение успеха.

Цивилизационные модели человека формируются культурно-цивилизационным контекстом человеческого бытия. Здесь важно отметить, что та или иная личность и этнос в целом может стать оптимальным субъектом социальных процессов, лишь пребывая в рамках установившейся цивилизационной модели человека. Субъект цивилизационного развития способен к реальной конструктивной деятельности, созиданию общественных отношений. Разрушение цивилизационной модели человека определяет возможности личности лишь в рамках деструктивной, разрушительной деятельности. Человек становится неспособным к решению проблем общественного существования. Задача современного развития – восстановление цивилизационной модели человека, разработка цивилизационной идеологии, способной мобилизовать личность на конструктивные действия.

Начало XXI века подтверждает прогнозы о столкновении цивилизаций. То, что еще недавно казалось случайным выражением противостояния отдельных государств или военных блоков, ныне со всей очевидностью выступает как противостояние более массивных и фундаментальных целостностей – цивилизаций. В современных условиях глобализации общественных процессов наиболее реальными игроками на «мировой шахматной доске» становятся цивилизации, объединенные вокруг одного, универсального для данной цивилизационной целостности, государства – Империи и ведущие между собой конкурентную борьбу за право стать ведущим системным фактором глобального сообщества. Другими словами смысл возникающих цивилизационных войн заключается в борьбе за расширение цивилизационного пространства.

Сложившаяся к середине XX века четкая и, казалось бы, «окончательная» цивилизационная дифференциация человеческого сообщества, неожиданно стала меняться. Внешне эти изменения носили характер формационного противостояния, борьбы социализма и капитализма.

На самом деле, формационные процессы в значительной мере выражают и одновременно скрывают собою процессы более фундаментальные и потаенные. На поверхности истории проходят заметные «невооруженному» глазу события, которые фиксируются и калькулируются человеком. В глубинах истории реализуются ее сакральные идеи и смыслы, развиваются цивилизационные взаимодействия и противостояния национальных идей, национальных культур и смысловых установок, интерпретаций в понимании мира и человека, роли субъекта в общественных процессах.

Сейчас становится все более очевидной цивилизационная неоднородность того культурно-цивилизационного материка, который называют Западом, – он все более заметно разделяется на Западную Европу и Североамериканскую цивилизационную систему. По всей видимости, зарождение и становление цивилизационных целостностей – процесс непрерывный и если одни из них могут проходить этапы становления «в себе» в силу различных внешних и внутренних причин достаточно долгое время, то другие, создав необходимые для этого материальные и духовные основы, выходят на уровень «ставшей» локальной, самостоятельной цивилизации и строят необходимое для себя цивилизационное пространство за счет

других целостностей. Последнее включает в себя собственно локальную цивилизацию, а также духовное пространство обществ, подвергнувшихся культурной экспансии.

Разгадка различных, в том числе и военных столкновений в условиях, когда ведущим, наиболее развитым в военном и экономическом отношении государствам, способным, казалось бы, «раздавить» оппонентов, противостоят силы внешне значительно менее мощные, мобилизованные в большей степени лишь пассионарным напряжением, лежит в процессах цивилизационного становления.

Ведущим из них является процесс дифференциации североамериканской цивилизации.

Исходная духовная доминанта североамериканского общества – протестантизм с его протестантской этикой, роль которой в формировании капиталистического общества так глубоко обосновал Макс Вебер [2]. Однако если в Западной Европе протестантская этика и «дух капитализма» были включены в сформировавшийся социокультурный контекст цивилизации, объединяющей различные общества, зачастую противостоящие друг другу и оформляющие это противостояние в духовные и культурные формы, то в североамериканском обществе протестантская идеология развивалась в относительно более «чистом виде», формируя новый доминирующий тип личности и новые качества социальной реальности. Этот тип личности, основные мировоззренческие установки формирующегося нового человека как субъекта развития человека и создаваемая в соответствии с данными установками социокультурная целостность наиболее точно были артикулированы в идеологии прагматизма [3].

С позиции прагматизма, человек, проживая в мире, вырабатывает различные типы действия и привычки действовать определенным образом, в соответствии с обстоятельствами. Эти привычки заменяют человеку инстинкты и называются верой. Следовательно, вера – это спокойная готовность, нацеленность действовать, решать проблемы. Состояние веры может нарушаться и сменяться состоянием сомнения, – беспокойства, приостановки действия. Главная задача мышления состоит в устранении сомнения и достижении верования. С этой позиции, человек, по сути, стремится не к достижению истины, а к достижению устойчивого верования, вырабатывает основания для появления абсолютной уверенности в своей правоте, правильности своих действий. Критерием истинности поступков человека является успех. Ясно, что для достижения успеха в процессе действий нет смысла сомневаться в избранных действиях. Прагматический человек, – это «человек действия», далекий от любых ненужных теоретизирований, а поиск оснований деятельности для него – это, в первую очередь, поиск факторов укрепления уверенности в своих действиях.

Основанием для такого представления, определяющего активную целедостигающую деятельность человека, является общее представление о соотношении мира и человека, Бога и человека. В рамках классических представлений Мир – уже в основном «ставшая» система, имеющая устоявшиеся законы, и задача человека, прежде всего, – познание этих законов и действие в соответствии с ними; основная установка на действия человека состоит в априорном признании границ возможностей человека, установленных Богом или самой реальностью. В прагматизме же развивается теория плюралистической Вселенной. Мир понимается как нечто пластичное, иррациональное, многомерное и изменчивое, находящееся в процессе непрерывного становления и требующее постоянного вмешательства Бога и человека. Он постоянно остается незаконченным, в нем всегда есть место для нового. Бог воспринимается не в качестве небесного гаранта стабильности, бесконечного и всемогущего, но в качестве своеобразного соратника верующего человека в борьбе за успех в его делах, за осуществление его целей. Мир завтра, будучи пластичным, принимает облик и подобие того человека, который на сегодня наиболее активен и уверен в своих действиях. Человек, таким образом, фактически занимает место Бога, сотворяя реальность по своему образу и подобию, – прагматическую реальность, включающую, помимо материальных предметов и отношений, совокупность смысловых установок, представлений о мире, месте, роли и возможностях человека.

В рамках прагматической реальности формируется, по сути, мифологическое представление о всемогуществе и вседозволенности человека, способного достичь любых целей, главной задачей которого является поиск средств их достижения. В отношении североамериканского общества такие представления дополняются и укрепляются мифологией Голливуда. Например, в известном сериале «Санта-Барбара», человек очень часто оказывается в ситуации чуда: у него внезапно возникают неизвестные ранее брат и сестра, у матери неожиданно появляется уже взрослая дочь, родители оказываются чужими людьми и т.д. Такой подход формирует тотальный нигилизм: в мире все возможно и нет ничего постоянного или святого, все можно подвергнуть сомнению, а более реальной является умозрительная конструкция, в которую верит человек и которая выступает для него оптимальной и самодостаточной картиной мира. В конечном итоге это – тупик развития, но тупик не абсолютный, а цивилизационный, присущий данному локальному сообществу. Включаясь в общественные процессы, он ограничивается и становится лишь одной из альтернатив развития.

Прагматическая реальность – это наиболее важная характерная составляющая цивилизационного пространства североамериканской цивилизации, которая борется за расширение своих границ. Суть современной цивилизационной экспансии состоит в перестройке, изменении цивилизационных границ. Если в формационном понимании война – это то, что подвергает разрушению материальные системы и объекты, то в цивилизационных войнах захваты территории противника – лишь крайнее выражение духовной экспансии. Общим же результатом и военных и «мирных» цивилизационных столкновений являются потеря людских ресурсов, деградация этносов, будь то американские индейцы в ранних цивилизационных столкновениях, будь то современные народы.

Цивилизация задается общностью смыслов, схем мышления и идеалов, поэтому цивилизационные войны ведутся, прежде всего, за расширение пространств доминирования одних смыслов и поглощение других, распространение модификаций модели человека, реализующих данные цивилизационные процессы. Замена или значительное видоизменение цивилизационного пространства приводит к кризису традиционной доминирующей модели человека, проявлению ее негативных характеристик, неспособности носителя цивилизационной модели человека выступать в качестве деятельного, конструктивного субъекта развития.

Большинство людей остаются у своеобразного «разбитого корыта», потому что они не предназначены для реализации цивилизационной модели, не базирующейся на собственном основании. Данная проблема долгое время скрывалась текстами и понятиями, взятыми из формационной идеологии. К примеру, дискуссии о статусе и необходимых характеристиках цивилизационной модели человека переводились в плоскость борьбы с идеями коммунистической идеологии и представлениями «совков».

Опасность доминирования прагматической модели человека в России заключается, во-первых, в том, что прагматический человек в случае доминирования способен лишь разрушать традиционные для России устои, характеризующиеся признанием ведущей роли в общественной жизни духовного, культурного начала, а также установкой на существование объективных законов развития, высшей справедливости, сакральность высшего начала, будь то Бог, Идея или Слово. Во-вторых, прагматический человек национально и культурно достаточно четко определен и в этом смысле вытеснение носителя традиционной для России цивилизационной модели человека является, прежде всего, вытеснением русского человека и «русского духа», какие бы недостатки им ни приписывались. Можно, например, сказать, что европейцы принесли много хорошего на американские континенты, но именно в таком варианте высказывания особенно заметна абсурдность ситуации: на континентах процветают прекрасные общества, но какое отношение эти общества имеют к вымирающим коренным жителям, – индейцам? Естественно, нельзя отказываться от идей модернизации и прогрессивного развития общества, но речь идет о сохранении собственной цивилизационной основы и собственной цивилизационной модели человека.

Негативные последствия социальной, культурной и политической экспансии, связанной с доминированием модели человека североамериканской цивилизации, проявились еще на заре ее формирования. Демографическая и культурная катастрофа, постигшая туземное население Америки, была связана с философией «пустого» пространства, ни к чему не обязывающей пришедшего «нового», «прогрессивного» человека [4]. Американский континент рассматривался белыми пришельцами как своего рода культурный вакуум, которому надлежит стать ареной действия нового человека, а аборигены – как досадный балласт, мешающий освоению «не известных ранее» новых земель.

Можно согласиться, что за либеральной идеологией «западного» «открытого общества», которое еще в 70-е – 80-е годы XX века символизировало социум, свободный от тоталитарных ограничений, начинает все отчетливее проявляться фундаментальный американский архетип, требующий очищения окружающего мирового пространства, для того, чтобы современный «новый» человек – прагматический – смог беспрепятственно осуществить свою планетарную миссию [4]. Не случайно И. Валлерстайн называет современный распад либеральных ценностей агонией либерализма [5].

На деле этот распад является дифференциацией западных ценностей на западно-европейские и североамериканские с доминированием последних. Ценности либерализма – это ценности западно-европейской цивилизационной модели. Это хорошо понимает С. Хантингтон, который подчеркивает, что представления об индивидуальной свободе, правах человека, политической демократии являются именно европейскими идеалами, а не азиатскими и не африканскими. Именно эти представления делают западную цивилизацию уникальной, – «западная цивилизация ценна не потому, что универсальна, а потому, что действительно уникальна» [6]. Однако сам Хантингтон, говоря об опасном для мира универсализме Запада, не желает замечать разлома самой западной цивилизации и навязывания в качестве универсальных новых ценностей, – не консервативных, коммунистических или либеральных, а прагматических.

России для сохранения своего цивилизационного статуса, вне которого она уже и не сможет существовать, и следования в русле естественных стратегий необходимо развивать свои позиции во всех формах выражения современного цивилизационного пространства. Прежде всего, это территориальное, географическое пространство, поскольку любая нация, теряя даже символические территории, получает сильнейший удар по национальному самосознанию и способности быть субъектом общественного развития. Не менее важным являются сохранение, актуализация и развитие культурного пространства, борьбу в отношении которого регулировать наиболее сложно. Современные цивилизации развиваются и взаимодействуют также в космическом, социальном, информационном пространстве, конкурируют через доминирующие цивилизационные модели человека.

Для того чтобы выстраивать последовательную линию в межцивилизационном взаимодействии, необходима разработка цивилизационной идеологии. Фактический развал ряда политических партий, ориентирующихся на формационные идеологии из парадигмы «социализм-капитализм», лишней раз подчеркивает актуальность проблемы построения цивилизационной идеологии, определяющей стратегии цивилизационного развития в пространстве современного общества, а также место и роль субъекта цивилизационного развития.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Борщов А.С. Человек в Универсуме и универсум человека / А.С. Борщов // Современная парадигма человека. Саратов: СГТУ, 2000. 198 с.
2. Вебер М. Протестантская этика и дух капитализма / М. Вебер // Избранные произведения. М.: Мысль, 1990. 625 с.
3. Джеймс У. Что такое прагматизм? / У. Джеймс // Вестник Московского университета. Серия 7. Философия. 1993. № 3. С. 7-10.
4. Панарин А.С. Искушение глобализмом / А.С. Панарин. М.: Алгоритм, 2000. 486 с.

5. Валлерстайн И. Анализ мировых систем и ситуация в современном мире / И. Валлерстайн. М.-СПб.: ООО Изд-во «АСТ», 2001. 412 с.

6. Хантингтон С. Столкновение цивилизаций / С. Хантингтон. М.: ООО Изд-во «АСТ», 2003. 603 с.

**Заров Дмитрий Иванович** –

кандидат философских наук, доцент кафедры «Философия»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 008.001

**А.А. Понукалин**

### **МАССОВОЕ СОЗНАНИЕ В ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЩЕСТВЕ И СОЦИОПСИХОЛОГИЯ БЕЗОПАСНОСТИ**

*Рассмотрены предпосылки и основания разработки научного направления, связанного с исследованиями социопсихологии массового сознания в контексте решения практических задач обеспечения национальной безопасности страны. Проведенный анализ состояния современного общества позволил сделать вывод о том, что перспективы психического развития человека как необходимого условия социальной эволюции, определяют особенности массовой психологии в аспекте методологии познания. Поставлена задача создания социопсихологической теории массового сознания, выступающего в качестве регулятора общественных процессов.*

**A.A. Ponukalin**

### **MASSIVE CONSCIOUSNESS IN INFORMATIONAL SOCIETY AND SOCIO-PSYCHOLOGY OF SAFETY**

*Preconditions and bases of scientific directions developments are studied here, connected with the researches of socio-psychology of mass ideology within the context of solution of practical tasks of national safety. The analyses of the modern world conditions allows to make the conclusion that perspectives of psychological development of a human being as a necessary element social evolution determines the peculiarities of mass psychology in the aspect of methodology of cognition. The task is the creation of the socio-psychological theory of mass consciousness jutting out as social processes regulator.*

**Информация о развитии научного направления.** Новое научное направление сформировалось в рамках разрабатываемой до 2005 г. научной проблемы «Перспективные направления исследований процессов развития современного общества и человека». Такая проблема в её практическом аспекте порождена крайне обострившимся в наше время противоречием между стремлением человечества к достижению социального идеала и постоянно растущими потребностями в сфере материальной жизни. Это происходит в условиях, когда

реальные возможности их удовлетворения непрерывно снижаются, поскольку в глобальный процесс потребления включаются всё большие массы населения Планеты. Возможности достижения идеала, желаемого всем обществом, на стадии его индустриального развития оказываются предельными и ограниченными.

Цивилизационные последствия проблемного состояния общества проявляются в тенденциях, принимающих в определённых отношениях значения социальных инвариантов и даже констант. Одна из наиболее значимых тенденций – десоциализация общества и расчеловечивание масс. Промышленно-производственный путь развития цивилизации достиг своего предела в силу необратимой тенденции преобразования естественного мира в искусственный механизированный мир, в котором роботизированный человек становится его придатком и теряет неповторимое собственное «Я» как источник свободы воли, мыслей, побуждений. В пределе, когда созданный обществом искусственный мир станет самодостаточным (самовоспроизводящимся, самосохраняемым, самоорганизуемым), человек становится ненужным в качестве субъекта этого мира и лишается смысла социального бытия.

В нынешнюю эпоху вынужденного перехода индустриального общества в новое качество (постиндустриальное информационное) возникают и проявляются негативные (инволюционные) тенденции дифференциации человечества на «избранных» и всех остальных, которым отводятся роли и функции обслуживающих «избранных». Эти «все остальные» потому должны обладать стандартной примитивной психологией и довольствоваться минимумом потребностей жизнеобеспечения. В таких условиях эволюция человеческого общества в направлении непрерывного психического развития на основе естественной реализации генетического многообразия становится невозможной и общество обрекает себя на вырождение.

Перед наукой возникает актуальная задача изучения всех вопросов онтологии, от которых зависит выбор обществом путей эволюции, основанных на законах мироздания и миропорядка. Становится необходимым исследование современного общества и человека в системе природы с позиций эволюционно-экологического и системно-деятельностного принципов научного познания. В рамках данной проблематики в СГТУ проведены Всероссийские научные конференции: «Стратегии и перспективы современного общественного развития» (2002, 2003 гг.), «Проблемы национальной безопасности России» (2003, 2004, 2005 гг.), «Социальный идеал в перспективе развития современного общества» (2004 г.). Материалы работ по данной проблематике представлены в пленарных и секционных докладах на 22 научных конференциях.

Изданы сборники научных работ: «Перспективы социальной эволюции современного общества» (2001 г.), «Эволюция человека и общества (научные проблемы)» (2002 г.), «Духовность: теория и практика» (2002 г.), «Стратегии психического развития человека в современном обществе» (2002 г.), «Политическая доктрина России» (2003 г.), «Векторы современного цивилизационного развития» (2003 г.), «Стратегии и перспективы современного общественного развития» (2003 г.), «Научные проблемы национальной безопасности России» (2003 г.), «Проблемы национальной безопасности России» (2004 г.), «Ведущие стратегии и механизмы современного общественного развития» (2004 г.), «Социальные и духовные основания общественного развития» (2004 г.), «Социальные идеалы в стратегиях общественного развития» (2005 г.).

**Наиболее существенные результаты развития научного направления.** Решаемая проблема находится в состоянии неопределённости в связи с тем, что процессы развития современного общества и человека в современной науке рассматриваются отдельно и с разных позиций. Развитие общества анализируют политологи, экономисты, социологи, философы, культурологи, историки, астрологи, футурологи. Развитие человека изучают, в основном, биологи, хотя оно происходит, скорее, в сфере психологии. Перспективы развития психики человека и общества находятся в жёсткой взаимосвязи, поскольку взаимообуславлива-

ют друг друга. Поэтому необходима разработка новой системной концепции общественного развития, основанной на такой взаимосвязи.

Результаты проведенных исследований позволили обосновать актуальность и необходимость выполнения НИР как базы нового научного направления, интегрирующего знания и возможности многих традиционных наук, а также и междисциплинарных исследований. В обосновании НИР использованы следующие положения. Состояние современного общества характеризуется экспансией западного образа и смысла жизни, происходящих из неограниченного стремления к наслаждению, что обеспечивается интенсификацией научно-технического прогресса в условиях выбранного мировым сообществом промышленно-производственного способа развития.

Наслаждение (чувственное субъективное переживание) как результат потребления благ (удовлетворение искусственных, в значительно большей части, потребностей) опосредствуется социально приемлемыми способами его достижения, а потому субъективная степень наслаждения невысока, что и порождает стремление к переживаниям наслаждения ещё большей степени. Погоня за наслаждением становится образом жизни и даже её смыслом. Предельная же субъективная величина наслаждения возможна лишь в изменённых состояниях сознания, например, в состоянии наркотического погружения. Становится ясно, если общество примет в качестве смысла индивидуальной жизни достижение состояния абсолютного наслаждения (через посредство наркомании или непосредственной стимуляции «центра удовольствия»), то оно окажется на грани исчезновения и будет обречено. Поэтому стремление к наслаждению как идеология и практика есть пагубный путь, однако этим путём идёт современное общество.

Наслаждение через потребление требует всё большего израсходования многих видов естественных ресурсов, которых в ближайшее время хватит на ограниченное количество особей. Прогноз таких обстоятельств становится одной из ведущих причин борьбы цивилизаций, народов, этносов, стран, различных сообществ за превосходство с целью добиться возможности оказаться в числе тех, на кого хватит ресурсов для осуществления смысла жизни как наслаждения посредством потребления (страхи за несвершения становятся причинами невротизации, принимающей масштабы эпидемии).

В борьбе за превосходство успеха добиваются те, кто использует методы психологического управления массами в своих интересах, что требует глубокого знания психологии. Потому психология – наука XXI века и выходит на вершину всех наук о человеке. Следовательно, познание психического (как явления природы) становится условием успеха в борьбе за превосходство. На первый план выходят методологические проблемы психологии, решение которых необходимо для построения теории как истинного знания о психике. Более того, познавая психику на уровне её материальных оснований, возможно познание и всей природы в целом – в её объективной и субъективной реальностях как системы явлений. Отсюда – методология системного познания есть наивысшая ценность в современном информационном обществе, а потому борьба за превосходство происходит и в информационном пространстве как борьба за овладение такой методологией. И это путь к овладению миром как объектом разрушения или созидания.

Значение разработки перспективных направлений исследования проблем развития (эволюции) общества и человека обусловлено состоянием, в котором пребывает земная цивилизация XXI века. Основная особенность этого состояния: альтернативность будущего и объективная необходимость субъективного выбора пути, на котором общество может сохранить себя в качестве причины, условия и способа эволюции психики<sup>1</sup> челове-

---

<sup>1</sup> Психика с позиции естественных наук есть абстракция – гипотетический объект, а потому о её качествах можно судить лишь по проявлениям человека в предположении, что на проявления проецируется этот объект. По совокупности современного психологического знания психику можно определить как то, что позволяет человеку стать в развитии социальным существом, личностью с её интеллектуальными, нравственными и

ка, от чего, в свою очередь, зависит и состояние самого общества. Процессы развития человека и общества неотделимы один от другого и, будучи взаимообусловленными, составляют суть эволюции цивилизации как гуманистической перспективы универсального мирового процесса.

Таким образом, перспективность направлений исследования эволюции общества и человека связывается с анализом хода Универсального мирового процесса, потому как эволюция объективно обусловлена со стороны происходящих в природе и мире событий. Ошибка в выборе альтернативного пути переводит общество в состояние борьбы с природой, породившей и человека, и само общество, в связи с чем возрастает степень риска его жизнеспособности и просто существования в этом мире. Одной из важнейших составляющих гарантии эволюции как конечной (в бесконечности) цели развития цивилизации является знание о природе человека, которая производна от законов мироздания в условиях, когда он является неотъемлемой составляющей универсального мирового процесса. Сам же человек как интеллектуально-нравственно-духовное существо является продуктом общества и становится таковым только в результате социализации, однако же, эволюционное качество социализации напрямую определяется тем интеллектуально-нравственно-духовным уровнем развития, которого достигли люди в этом обществе.

Возможные ошибки в выборе рискованного пути развития общества могут возникать не только в силу незнания, но и по причине субъективного характера, поскольку устремления людей направляются их желаниями, отражающими обычно неосознаваемые детерминанты деятельности. Неосознаваемые источники её мотивации, порождающие желания, происходят из стремлений к неограниченным наслаждениям, что становится причиной инволюции и общества, и человека. Отсюда и знание, необходимое для минимизации риска выбора пути общественного развития, должно быть перспективным с точки зрения гностического и практического его значения. Это и составляет критерии, по которым определяются перспективные направления исследований.

Субъективное начало в выборе альтернатив может быть как адекватным, так и неадекватным естественному назначению человека – сохранению и развитию мироздания в форме знания и практической деятельности. Субъективным началом выбора может быть биологическая природа человека – стремление к неограниченному удовлетворению первичной потребности в переживании удовольствия посредством развития начального системного хватательного рефлекса до уровня индивидуальной деятельности, имеющей конечной целью такое переживание, но не собственное совершенствование. Но может быть и духовная природа – стремление к идеалу и его достижение как конечная цель индивидуальной жизни и её смысл. Отсюда возникает одна из наиболее актуальных научных проблем природы субъективного начала, сущности субъективной реальности.

В разрабатываемой нами теории субъективности природа и механизмы психофизического преобразования на уровне субъективной реальности в каких-либо формах не могут быть сведены к нейрофизиологическим процессам и главным остаётся вопрос: как и почему физическое превращается в психическое (что это такое?) и наоборот? То, что составляет механизмы внутриспсихической деятельности, одинаковые для всех людей, есть объект теоретической психологии, изучение которого предполагает введение в анализ категории природного (естественного) эталона психического. Этот объект, как некое целостное образование, в своих психических качествах «выходит» за пределы мозга в область физического пространства и в нём принимает форму, если её так можно назвать, «вакуумной копии» мозга.

---

духовными основаниями, что возможно только способом социализации. В этом плане категории «социальное» и «психическое» оказываются неразделимыми.



Простейшая форма субъективной реальности – ощущение как реакция на действие раздражителя является в некотором смысле уподоблением (имитацией) характеристик раздражителя. Ощущение выполняет функцию интеграции отражения (как впечатления) и ответа (как адекватного действия в его идеальной форме) и тем самым устанавливается соответствие между характеристиками раздражителя и ответа, которые оказываются гомоморфными. Таким образом, объективные законы воздействия становятся объективными законами ответа, отражённого к тому же в психике в целостном, нерасчленённом виде. Ощущение как знание становится таким тогда, когда устанавливается в опыте связь реакции-стимула и ощущение приобретает качество субъективной определённости, запоминается и называется (именуется – обозначается, отражаясь в вербальной форме).

Процесс познания объективной реальности через ощущения начинается с интеграции психомоторных компонентов и потому ощущение как знание имеет структуру так же, как и всякий психический образ. Следовательно, формирование ощущения как познавательный процесс и ощущение как форма субъективной реальности возможны только в активном отражении. Через ощущения познаются простейшие законы поведения раздражителя (его элементарные характеристики), выраженные в характеристиках ответных действий. Потому внешний мир, объективная реальность познаётся лишь через собственные действия, соответствующие раздражителям. Эти действия переносятся на раздражители и приписываются ему. Только таким путём человек приобретает способность быть адекватным объективному миру, т.е. в своих проявлениях отражать рациональное начало мироздания.

В соответствии с таким подходом важнейшим направлением исследования становится разработка методологии познания человека и общества как *явлений* природы. Такая методология перспективна в познании природы, породившей (или создавшей) человека и общество, природы, способной это осуществить. Поставив так вопрос о методологии познания, мы тем самым выдвигаем на первый план научную задачу построения теории мироздания как мировоззренческую систему, принципы которой и будут методологическими в познании конкретных явлений природы.

В истории человеческой культуры сформировались, как наиболее устойчивые и признанные, две теории мироздания. Одна основывается на положении о естественном происхождении человека и общества в результате процессов эволюции неживой материи (как физического субстрата). Физикалистские основания этой теории, однако, имеют двойственный характер, начиная с дискуссии между А. Эйнштейном и Н. Бором о детерминированности-ндетерминированности фундаментальных физических явлений. Если верны гипотетико-теоретические основания квантовой механики, то появление человека в физическом мире – событие случайное. Но в этом случае вся природа должна подчиняться одному закону – случайностей, однако, природа существует в силу действия строгих, устойчивых и достаточно изученных наукой законов, в том числе – и физических. Тогда почему же появление человека случайно в природе, подчиняющейся таким законам, ведь появление разумного человека – событие не локальное, но общекосмическое по своему значению (и последствиям). К тому же, как можно объяснить случайностью сознание человека, не имеющее (как представляется на сегодня) своего физического субстрата, который соответствовал бы свойствам, проявляемым сознанием, особенно в изменённых состояниях.

Другая теория – религиозная, в которой (практически во всех вариантах) утверждается, что человека сотворил Бог по образу и подобию Своему. Значит, в природе существует некий эталон человека – и это уже не религия, но вопрос науки. Если сотворение человека рассматривать как причинное явление (пусть эта причина именуется Богом), то должны существовать какие-то законы, по которым это произошло. Отсюда видно, что религиозная теория должна быть объектом научного исследования, поскольку она постулирует, фактически, так же, как и научная теория, существование неких законов природы, в силу которых появился человек, создавший общество. Науке необходимо на основе материалистического подхода объяснить природу субъек-

ективной реальности во всех её формах, включая и сознание. На этом пути она будет неуклонно двигаться в направлении духовного знания, накопленного мировыми религиями. Религия, в свою очередь, должна пытаться ответить на вопросы науки по отношению к догматам, которые ниоткуда не выводятся и никак не аргументируются, т.е. не рационализированы. Признание бытийной возможности нерациональности Божьих творений не может быть решением таких вопросов, поскольку познанная человеком природа рациональна.

Перспективы исследования человека связываются с изучением различных форм проявления вводимого нами «Закона сохранения жизни». Нет никаких оснований не предполагать, что вечной в природе является жизнь, а всё остальное служит лишь условиями, в которых она существует. Материальная форма жизни – органическая клетка, в которой путём необходимых преобразований можно смоделировать самые разные взрослые (зрелые) организмы (тела), ведь генетические аппараты всех живых существ работают по универсальным законам. «Сотворение Богом» человека есть одна из версий превращения органической клетки в модель человека путём (способом) эволюции организмов в земных условиях. Путь современной науки – движение к познанию «Души» как некоего образования в физическом пространстве и объяснение религиозной феноменологии в терминах познаваемого при этом. В конечном счёте, перспективы исследования человека альтернативны и значительные возможности открываются на пути понимания неслучайности появления человека на Земле, его целесообразности и функциональной определённости с точки зрения универсального мирового процесса. Перспективы же исследования общества связываются с изучением социальных идеалов, определяющих общественные устои и отражающие природу человека разумного, целесообразного с точки зрения Природы.

Системный анализ тенденций развития современного общества и человека приводит к выводу об альтернативности путей общественного развития и, следовательно, возникает актуальная в наше время проблема выбора такого пути. Основанием выбора служит определённый социальный идеал, выводимый из фундаментального знания о природе человека и общества. Такое знание имеет фрагментарный и разрывный характер, а потому необходима разработка системообразующих подходов к построению целостного мировоззрения, чтобы решать проблемы методологии познания. Перспективно применение принципов эволюционно-экологической и системно-деятельностной методологии в исследовании системы природы в её объективной и субъективной реальностях, во взаимосвязи естественного и искусственного, живого и неживого, рационального и иррационального. В теоретических построениях значительной объяснительной силой обладает целостная структура законов сохранения, основанная на общенаучных категориях «порядка» (организации) и симметрии-асимметрии явлений в глобальных и локальных областях природы.

Анализ состояния современного общества как индикатора психической эволюции человечества позволил выявить основные тенденции в психическом самоопределении современного мирового сообщества, что предполагает выбор в качестве перспективных и приоритетных направлений научного исследования проблем развития современного общества: социальная культура, психологическая культура, политическая культура общества в аспектах стратегии его развития и перспектив. В рамках рассматриваемых проблем разработаны перспективные тематики, реализованные в диссертационных исследованиях: космическая естественная регуляция социальных процессов и массовой психологии; социокультурный риск выбора пути эволюции современного общества; национальная самоидентификация в социальной структуре общества; социально-личностная ценность духовной практики.

Проведенный анализ социально-психологической культуры и состояния современного общества позволяет утверждать, что перспективы психического развития человека определяют в значительной степени особенности массовой психологии в аспекте методологии познания. Сформулировано положение об особом этапе психической эволюции человечества, связанном с формированием и развитием сознания как явления цивилизации,

достигшей современного уровня развития. Сформулировано также положение о том, что направление психической эволюции связано с развитием сознания и имеет общеэкологическое значение, которое состоит в том, что человек достигает понимания (в процессе развития сознания) ответственности всего человечества и за свою судьбу, и за судьбу всей природы. Сформулировано положение о том, что смена общественной системы происходит, когда психика массы достигает определенного уровня развития сознания. Выявлена массовая тенденция увлечения сатанизмом, принимающая общемировые масштабы, легализующаяся и образующая особый социальный институт. Проведен анализ идеологии, теории и практики сатанизма, возведенного в культ религии с соответствующими обрядами и главным ритуалом «церкви сатаны» – «Черной мессой».

В области проблем психологической культуры разработаны вопросы методологии психологических исследований, стратегии и перспектив психического развития человека в современном обществе. В этом плане разработано направление исследований в области психолого-акмеологического сопровождения и обеспечения учебно-воспитательного процесса в вузе. Проведен анализ биологического значения основных функций психики человека: целеобразования, центрации, системообразования как проявлений феномена сознания. Выполнен анализ стратегий и перспектив развития основных составляющих феномена сознания – чувственной ткани, значения, смысла. Сделан вывод о том, что на современном этапе психологической эволюции ведущей становится проблема образования, от которой зависит и постоянное воспроизводство полноценной психики.

Результаты общенаучного анализа мировых процессов имеют особенное значение для современной России, оказавшейся на перепутье столбовых дорог, ведущих в никуда или, как минимум, в неизвестность. На основе принципов эволюционно-экологического мировоззрения разработаны проблемы исследования перспектив и возможных стратегий развития России. Построены концептуальные основы политической доктрины России с учетом исторического опыта, существующей реальности, социального идеала, её места и роли в становлении человеческой цивилизации и современного мирового сообщества. Переходные процессы в обществе порождают различного рода аномальные явления, способные быть источниками разрушающих сил. Анализ нравственного состояния западного общества выявил тенденции упадка духовной культуры как следствие углубляющегося морально-психологического кризиса капиталистической системы. В связи с этим рассмотрены причины и механизмы деформации социально-психологической культуры западного общества как фактора опасности для России в аспектах её национальной безопасности.

В современной России реформирование цивилизованных основ государственного устройства принимает характер бифуркаций в динамике наиболее существенных показателей жизни большинства населения. Эти условия специфическим образом влияют на психику человека, и такие влияния принимают масштабы массовых трансформаций, преобразований психического потенциала общества. Изменения происходят, главным образом, в смещении регуляторов поведения с уровня сознания на уровень бессознательного, когда начинают высвобождаться биологические инстинкты как главные побудительные силы проявлений людей в их повседневной жизни. Сознание, позволяющее человеку быть адекватным объективной реальности, теряет свою регулятивную силу, что приводит к снижению, в конечном счете, интеллектуальных качеств общества в целом. Становится актуальным исследование особенностей массового сознания в соотношении его основных форм, базовых компонентов, наиболее существенных признаков.

Одной из важнейших предпосылок исследования массового сознания служит то обстоятельство, что в современном обществе непрерывно возрастает количество природных и техногенных катастроф с значительными для больших масс людей негативными последствиями. В современном информационном обществе это обстоятельство приводит, в свою очередь, к изменениям в массовом сознании, поскольку катастрофы с их последствием как фак-

ты становятся известными населению в короткие промежутки времени. Катастрофическая информация, благодаря техническим возможностям СМИ, структурирует и организывает индивидуальное сознание, в результате чего формируются представления о рисках и порождаются чувства тревоги, страха, беспокойства по поводу жизнеспособности и своей жизни. Отражение рисков в сознании обуславливает отношение к жизни людей в современном обществе, из чего выводятся и их требования к условиям жизни.

Исследования массового сознания должны быть основаны на его теории, выводимой из социопсихологического знания о природе индивидуального сознания. Поэтому разработка теории массового сознания предполагает создание теоретических основ индивидуального сознания человека как социального существа, как личности с ее типологическими и уникальными качествами. Для построения теории массового сознания необходимы и широкомасштабные исследования различных его форм и проявлений в реальной действительности.

**Понукалин Алексей Алексеевич** –

доктор социологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Психология и акмеология» Саратовского государственного технического университета

УДК 42 (075)

**С.М. Федюнина, Н.Ю. Пятницкая, Л.Н. Максимова, С.А. Станиславская**

### **СОЦИОКУЛЬТУРНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕЖЛИЧНОСТНОЙ КОММУНИКАЦИИ**

*Статья посвящена исследованию социальных и филологических проблем обучения кросскультурному общению учеными и педагогами лингвистического учебно-научного центра СГТУ. В рамках данного исследования были описаны структура и содержание курса иностранного языка, выступающего как средство межкультурной общегуманитарной и профессиональной коммуникации, изучались риторико-педагогические аспекты обучения речевому общению в малых группах и публичному общению, рассматривались социокультурные и педагогические основы компьютерного обеспечения в техническом вузе.*

**S.M. Fedyunina, N. Yr. Pyatnitskaya, L.N. Maximova, S.A. Stanislavskaya**

### **SOCIOCULTURAL PROBLEMS OF INTERPERSONAL COMMUNICATION**

*The article deals with social and philological problems of cross-cultural communication teaching. The investigation gives a detailed description of the structure and the main points of the foreign language program developed and introduced to the teaching process of intercultural communication in its different aspects in the Saratov State Technical University by the scientists and leading lecturers of the Linguistic Centre. The authors stress and analyze lingua-rhetorical*

*creative skills in small groups, public speaking and cross-cultural education and learning with computer in technical university education.*

В условиях постоянно развивающегося международного сотрудничества акцентировалось внимание на изучение национальных особенностей языкового сознания коммуникантов – представителей различных лингвокультурных общностей.

Признание высокого уровня речевой культуры и культуры общения в качестве одной из квалификационных характеристик современного специалиста и ориентация всей системы российского высшего образования на воспитание и развитие творческой личности обучающегося послужили причиной того, что одной из важнейших составляющих обучения в неязыковом вузе признано лингвистическое образование. В рамках данного направления предусматриваются совершенствование владения родным языком, обучение одному или нескольким иностранным языкам, развитие общей лингвистической культуры, обучение культуре общения как на родном, так и на иностранном языках. Таким образом, совокупность лингвистической, коммуникативной и риторической компетенции выступает в качестве одной из составляющих гуманитарной культуры обучаемых.

Язык, как известно, представляет собой символическую структуру, объединяющую и сохраняющую все достижения данного общества. Это кодирование информации, отражение особого мироощущения. Одновременно язык – это продукт культуры, часть культуры, условие культуры. Следовательно, «языковое мировидение» лежит в основе каждой совокупности людей, подчеркивая их самобытность. Таким образом, важнейшим компонентом содержания лингвистического и лингвориторического обучения должна стать речевая культура своей страны и страны изучаемого языка. В связи с этим в последние годы все большее внимание ученых привлекает именно интеркультурный аспект образования, предполагающий развитие индивида в процессе освоения ценностей не одной, а двух и более культур. В процессе обучения родному и иностранному языкам студент овладевает не только грамматическими, фонетическими и лексическими законами языка, системой речи на текстовом и стилистическом уровнях, но и законами кросскультурного общения, принципами и правилами коммуникативного взаимодействия, стратегиями и практиками ведения разговора и т.д.

В основе современного инновационного образования лежит личностно-ориентированный, социально обусловленный подход к подготовке современного профессионала, развитой языковой личности, транслятора не только специальных знаний, но и творческих умений лингвориторического общения. В Саратовском государственном техническом университете, в рамках работы лингвистического учебно-научного центра существует научно-исследовательская группа, исследующая теоретико-методологические основы развития языковой личности при обучении кросскультурному общению. В рамках данной проблемы исследовались структура и содержание курса иностранного языка в техническом вузе, изучались терминосистема, социокультурные и педагогические основы компьютерного обеспечения развития языковой личности. Значительное место в исследованиях отводилось педагогическим и филологическим проблемам обучения кросскультурному общению. Отдельно исследовались риторико-педагогические аспекты обучения речевому общению в малых группах и публичному общению.

Кросскультурный аспект обучения коммуникации нашел отражение в исследованиях Л.С. Выготского, В.В. Сафоновой, В.П. Фурмановой, С.Г. Тер-Минасовой. Обзор научной литературы показал, что кросскультурная компетенция включает три блока знаний: лингвострановедческие знания, т.е. знания лексических единиц с национально-культурной семантикой и умения применять их в ситуациях межкультурного общения; социально-психологические знания (владение социокультурно-обусловленными сценариями, национально-специфическими моделями поведения с использованием коммуникативной техники, принятой в данной культуре); культурологические знания социокультурного, историко-

культурного, этнокультурного фона и умения использовать их для достижения взаимопонимания с носителями данной культуры).

Речь идет не просто о знании языка, а об умении его использовать в реальном общении, т.е. о практическом владении языком. При этом обучение иноязычной культуре используется не только как средство межличностного общения, но и как средство обогащения духовного мира личности на основе приобретения знаний о культуре страны изучаемого языка, знаний о строе языка, его системе, характере, особенностях и т.д.

Становление языковой личности сопряжено с развитием, поочередным вхождением «человека говорящего» в малые и большие социальные группы, и каждое такое вхождение знаменуется изменением речевой культуры. Речевой опыт человека есть отражение его языковой личности; речевая субкультура не исчерпывает всех характеристик языковой личности, но становится одним из факторов, позволяющих понять уникальность языкового облика каждого человека. Говоря о взаимовлиянии речевой субкультуры и носителя языка, отмечается, что субкультура проникает в речевое подсознание человека и одновременно связывает его с речевым и коллективным бессознательным нации, с народным языковым творчеством. Языковые ассоциации могут быть связаны и с разницей в народно-поэтических традициях той культуры, к которой принадлежит человек. Носитель языка как бы фокусирует в себе черты «коллективных языковых личностей», «человек говорящий» предстает в виде многогранного, многопланового объекта исследования, неповторимость которого определяется уникальной комбинацией социально-психологических характеристик.

Языковая личность в процессе коммуникации на родном языке передает, сохраняет и накапливает социальный и культурный опыт в рамках одной культуры. При развитии языковой личности на базе неродного языка транслируются не только знания о другом языке, но и социально-культурный опыт, накопленный носителями этого языка. В связи с этим сегодня мы говорим не об обучении иностранным языкам, а об обучении межкультурной коммуникации. При этом необходимо отметить, что язык как явление духовной жизни человечества выполняет главную роль – способствует процессу коммуникации и процессам социализации, профессионализации и социальной адаптации. Соответственно, профессионализацию, понимаемую как степень овладения индивидом профессиональными навыками, и социальную адаптацию, характеризуемую как процесс активного приспособления индивида или группы к определенным материальным условиям, нормам и ценностям социальной среды, невозможно представить без развития автономной языковой личности в рамках обучения межкультурному общению.

Внимание к личности студента в процессе обучения, развитие его креативных способностей, стимулирование стремления к самовыражению и самоорганизации должно сопровождаться переводом внешнеобусловленных потребностей, заданных преподавателем, во внутренние, самоосознанные и сформированные на основе межкультурного общения.

Исследование возможности развития языковой личности в неязыковом вузе привело к выводу, что развитие автономной языковой личности при обучении межкультурному общению предполагает:

- внедрение различных форм внеучебного общения с использованием креативных и инновационных технологий;
- развитие умения четко определять ситуации и цели общения, планомерно и эффективно реализовывать их;
- разработку обучаемыми собственных технологий обработки информации, подготовки ответов и составления собственных суждений относительно заданной проблемы/темы;
- расширение творческого и научного потенциала обучаемых в рамках межкультурной коммуникации;

– стимуляцию инициативности и креативности на основе осознания собственной автономности в вопросах осуществления экономической, политической и культурной деятельности.

Сегодня достигнуто понимание целесообразности развития языковой личности через восприятие картины мира у обучаемых на материале, создающем социокультурный фон и контекст иноязычного общения. При этом «необходимо уделять особое внимание отбору именно социально значимых, культурологически специфических «отдельностей», овладевая которыми, обучаемый будет осваивать релевантные лингвокогнитивные характеристики представителя иной этнокультурной общности, и уметь адекватно (вряд ли в полном объеме – в отсутствии соответствующей социокультурной сферы) интерпретировать его текстовую деятельность» [1, с.19].

Исследовав возможности совершенствования образовательных программ с целью повышения уровня развития языковой личности при обучении письменному и устному речевому общению, необходимо отметить, что в настоящее время уже имеется определенный опыт формирования и развития языковой личности в практическом курсе обучения межкультурной профессиональной коммуникации. Данная задача реализуется в процессе поэтапного обучения в соответствии с исходным уровнем языковой подготовки обучаемых, конкретными целями для каждого этапа, средствами и методами обучения, ожидаемым конечным результатом. Преподаватели-практики, апробировавшие такое обучение, считают, что оно позволяет обучаемым осмыслить роль иностранного языка как средства межкультурной общегуманитарной и профессиональной коммуникации. По их мнению, обучение способствует развитию мировоззренческой позиции будущих специалистов, их ценностной ориентации, повышению мотивации к учебной и производственной деятельности, а также формированию чувства социальной ответственности и защищенности в современных условиях.

Но на сегодняшний день исследователи предлагают лишь общую характеристику уровней развития языковой личности, что требует дальнейшей теоретической и практической доработки этой проблемы. При этом нужно отметить, что студенты должны быть не только ознакомлены с национально-культурной спецификой речевого поведения, но они должны также приобрести и способность «пользоваться теми элементами социокультурного контекста, которые релевантны для порождения и восприятия речи с точки зрения носителей языка: обычаи, правила, нормы, социальные условия, ритуалы, социальные стереотипы, страноведческие знания и др.» [2, с.333].

В содержании подобранного учебного материала отражены релевантные для студентов неязыковых вузов сферы функционирования национальной культуры (социально-бытовая, семейно-бытовая, учебная, профессионально-трудовая, информационная сферы, микросфера отдыха и развлечений); темы общения, представляющие собой совокупность знаний о функционировании национальной культуры в конкретной сфере и микросфере; социальные роли, реализующиеся в конкретных ситуациях общения, определяемых сферами и микросферами функционирования национальной культуры, отвечающие возрастным интересам студентов; тексты как образцы речевых высказываний, передающих необходимую собеседникам социокультурную информацию; речевые навыки и умения, позволяющие осуществлять межкультурную коммуникацию в ситуациях общения в рамках конкретных сфер и микросфер функционирования национальной культуры. Конкретный лексический минимум включает в себя имена собственные, названия явлений общественно-политического характера, термины из различных областей науки, техники и искусства, афоризмы и крылатые слова, пословицы и поговорки, ситуативные клише, лексические заимствования, безэквивалентную и фоновую лексику [3, с.35].

На основе подобранного учебного материала был разработан многокомпонентный набор заданий, применяемых для повышения уровня развития языковой личности при обучении устному речевому общению. При этом были использованы такие дидактические материалы, как жанрово-стилистические разновидности аутентичных текстов, статьи, патенты,

паралингвистические и иконографические источники информации, сопровождаемые необходимыми объяснениями, помогающими лучше ориентироваться в содержании понятия «иноязычная культура». Использование разработанных тренировочных и речевых упражнений, коммуникативных заданий и ситуаций для парного, группового и коллективного речевого общения, создание соответствующих условий для речемыслительной деятельности оказывают стимулирующее воздействие на ступенчатое развитие языковой личности студента на максимальном для каждого из них уровне.

Таким образом, развитую языковую личность характеризуют следующие умения и навыки:

1. Владение системой языка, его грамматическими и лексическими нормами.
2. Владение системой речи на текстовом и стилистическом уровне.
3. Владение социальными нормами употребления речевых произведений на уровне сферы общения, темы, стиля, жанра.
4. Владение построением сложных текстов и восприятием сложных текстов (научных, официально-деловых, публицистических и др.).
5. Владение ролями говорящего и слушающего, социальными и психологическими ролями партнерства в общении.
6. Владение прагматическими законами общения в разных кооперативных и конфликтных коммуникативных эпизодах.

Профессиональная кросскультурная коммуникация включает в себя также знания иноязычной профессиональной терминологии с целью ее дальнейшего практического и теоретического использования в профессиональной деятельности. Общеизвестно, что терминология как совокупность терминов составляет автономный сектор любого национального языка, тесно связанный с профессиональной деятельностью. Термины противопоставляются общеупотребительной лексике, так как они связаны с определенной научной концепцией; в термине отражаются результаты научных исследований и их теоретическое осмысление. Терминология тесно связана с номенклатурой, хотя у них имеется и целый ряд различий. Каждая номенклатура автономна, но при этом одни и те же лексические единицы, номены, могут входить в разные номенклатуры и не смешиваться с ними, поскольку принадлежат к разным полям, употребляются разными людьми, т.е. не встречаются в общем контексте, оставаясь межотраслевыми омонимами. Номен относится к категории лексики и рассматривается как знак, связанный с называемым предметом в рамках акта восприятия и представления.

При изучении терминов, описании и разработке терминосистем можно выделить несколько этапов:

1. Терминирование понятий науки и техники, предполагающее тесное сотрудничество отраслевых специалистов с лингвистами и логистами. При этом строятся терминосистемы отдельных отраслей, подбираются наиболее целесообразные лексические единицы для их обозначения, заимствуются термины из других языков, нашедшие широкое применение в международной практике.

2. Нормализация употребления терминов, существующих в данном языке, и составление рекомендаций для создания новых терминов для каждой отрасли знаний, которая выполняется предметными специалистами совместно с лингвистами.

Современной лингвистикой накоплен большой опыт стандартизации и унификации терминологии, который с успехом может быть использован для планомерной работы по упорядочению конкретных отраслевых терминосистем к разработке новых терминологических словарей.

На основании вышеизложенного следует подчеркнуть тот факт, что овладение иностранным языком без ознакомления с культурой определенной страны, с менталитетом людей, говорящих на этом языке, не может быть полноценным. Иными словами, нужно освоить не только сам язык, но и «образ мира» говорящего на нем. Следует уметь поставить себя на место иноязычного собеседника, понять логику его поведения, знать и понимать хотя бы ми-



нимум того, что окружает его в повседневной, социальной и профессиональной жизни. Иначе, даже говоря на одном и том же языке, мы никогда не сможем договориться.

Сегодня исследователи предлагают лишь общую характеристику уровней обучения иностранным языкам с позиций кросскультурной коммуникации. Поиск и обновление места социальных и филологических аспектов профессиональной кросскультурной коммуникации при определении уровней обучения иностранным языкам приводит к мысли о необходимости разработки теоретических оснований концепции поэтапного построения вузовского курса иностранного языка с учетом социокультурного аспекта как одного из основных компонентов межкультурной коммуникации.

В рамках исследования теоретико-методологических основ развития языковой личности при обучении кросскультурному общению актуальным становится также риторико-педагогический аспект обучения речевому общению в малых группах. В научной литературе не существует единого мнения о данном виде коммуникации, недостаточно изучены структурно-языковые, тематические и ролевые характеристики общения в малой группе. В связи с этим особое значение приобретает исследование языковых и психологических факторов распределения ролей в групповом общении, изучение психолингвистической природы коммуникативных конфликтов и барьеров, возникающих в процессе коммуникации в малых группах, невербальных средств во взаимодействии «преподаватель-студент», стратегий речевого поведения коммуникантов и т.д.

Изучение основных слагаемых общения в малых группах проходило в аспекте социолингвистики и кросскультурной риторики. Особое внимание уделялось получению базовых знаний из области общей риторики, формированию направленной и направляющей речи, осуществлению словесного и невербального воздействия через риторические приемы, а также умениям создавать ситуации информационной комфортности, регулировке речевого поведения в соответствии с коммуникативными потребностями, национальными и психологическими особенностями собеседников.

Процесс межкультурной коммуникации характеризуется по уровню проникновения коммуникантов в контактирующие культуры. В ходе исследований были выделены следующие уровни: культурное взаимоприятие, культурное взаимопонимание и культурное взаимодействие. Первый уровень гарантирует взаимную культурную толерантность, второй обеспечивает взаимную культурную адаптацию, третий – взаимное культурное единение. Таким образом, было выявлено, что процесс социализации происходит именно через общение в малых группах. В связи с этим на лекциях и практических занятиях особое внимание уделялось вопросам, связанным со структурой малой группы, проблемам распределения ролей, лидерства и членства в группе. Для студентов весьма важными становятся сведения о языковых универсалиях, языковых лакунах, внутренней речи, взаимоотношениях языка и мышления у билингов. Эти знания не только совершенствуют уровни языковой и коммуникативно-речевой компетенции, но и формируют способность к взаимодействию и совместной работе с представителями «инокультуры» в социально-бытовой, социокультурной, деловой сферах общения.

Изучение особенностей родной и инофонной речевых культур тесно связано с содержанием курса общей риторики. В результате научного исследования были изучены функционально-семантические, тематические и антропоцентрические характеристики публичной коммуникации в научно-учебной и общественно-политической сферах деятельности. Наиболее актуальными при этой направленности исследования стали вопросы о национальной специфике публичного общения, особенностях организации текстов русской и английской публичной речи. Особое внимание уделялось лексической и грамматической специфике директивных речевых актов, которые часто употребляются в публичном общении. Специальное исследование показало, что класс директивных речевых актов привлекает внимание исследователей сложностью организации высказывания и множественностью побудительных интенций, выражаемых специализированной грамматической формой императива. Обобщенное интенциональное зна-

чение побуждения интегрируется из ряда конкретных значений, каждое из которых имеет свои прагматические условия для реализации и свои языковые средства выражения. Для этого были изучены процесс реализации публичной коммуникации, создание и восприятие высказываний (текстов) в ходе общения, обмен текстами, актуальными для данной речевой ситуации.

В центре исследования стояли также вопросы о языковой личности оратора, речевом поведении ритора в публичной речи в русской и английской речевых культурах. Обзор научной литературы показывает, что публичная коммуникация требует особого внимания к вопросам авторизации и адресации текста, т.к. адресованный текст обладает большей силой воздействия на воспринимающего, чем текст безадресный. Одним из самых существенных факторов, оказывающих прямое влияние на построение текста, является то, что интерпретация текста осуществляется не только для самого говорящего, но с обязательным учетом адресата. Можно считать, что адресат становится своеобразным соавтором любого текста. Адресант как создатель текста не только выбирает тональность и жанр общения, исходя из потребностей, целей и понимания обстановки, но и соотносит свои речевые действия с социальным статусом адресата, с его коммуникативными правами. Адресанту необходимо выполнять правила требования кооперативного общения. Результат инициативы адресанта, удачность или неудачность его действий зависят от того, насколько точно он ориентируется в общении и выполняет правила коммуникативного сотрудничества. Поскольку каждый текст должен быть ориентирован на адресата, была составлена классификация адресатов публичного педагогического общения, описаны универсальные и специфические для русской и английской речевых культур характеристики публичной коммуникации, вопросы соотношения темы, общей цели и вида речи, внешнего облика оратора, качеств хорошей речи в публичном общении.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что лингвосоциопсихологические и культурологические знания об иноязычном социуме, создающие широкий контекст межкультурного общения, обучение студентов основам публичной коммуникации формируют перцептивную готовность к эффективному межкультурному общению в различных сферах деятельности и, следовательно, к международному профессиональному сотрудничеству.

Современный этап развития лингвистики характеризуется также вниманием к разработке проблем, относящихся к прикладному языкознанию, в частности к той его области, которая называется компьютерной лингвистикой.

Внедрение новой отрасли знаний – компьютерной лингвистики, где компьютер характеризуется как дидактическое средство, представляющее материал особым способом и оказывающее влияние на процесс обучения, приобретает все большую популярность. Сфера исследований теоретической лингвистики ЛУНЦ ориентирована на использование компьютеров для решения научных и практических задач, связанных с языком. Современный этап развития компьютерной лингвистики является этапом становления новых теоретических и практических подходов, которые получают свое выражение в существующих и создаваемых программных продуктах. В настоящее время в теоретическом и практическом языкознании уделяется внимание не только процедурным и технологическим аспектам работы с ЭВМ, но и прикладным проблемам общелингвистического характера и современным методам их решения. К числу таких проблем следует отнести использование ЭВМ в обучении английскому языку. Теоретические и прикладные аспекты применения новых информационных технологий в обучении английскому языку в зарубежных исследованиях разрабатываются учеными уже в течение 30 лет. Повсеместное внедрение ЭВМ во все сферы жизнедеятельности сделало компьютерные технологии более доступными для образования.

Исследование подходов к обучению языку с использованием компьютеров связано с двумя основными проблемами, а именно с проблемами эффективной интеграции компьютерного обучения в учебный процесс и возможностью развития коммуникативных навыков в условиях компьютерного обучения.

Эффективная интеграция компьютерного обучения обеспечивается единством компьютерных и некомпьютерных средств обучения и осознанием роли преподавателя: степенью необходимости его участия, контроля при организации работы с компьютерными программами и т.д. Весь комплекс компьютерных материалов, который используется для изучения того или иного курса, должен служить средством «поддержки», интенсификации и индивидуализации традиционного некомпьютерного обучения. Независимо от степени участия преподавателя и от того, является ли работа с компьютерными программами частью самостоятельных или аудиторных занятий, необходимой является систематическая организация. Не вызывает сомнения, что эффективная интеграция компьютеров в учебный процесс во многом определяется степенью оптимизации деятельности преподавателя. Наличие программных средств и документации, позволяющих сократить затраты времени на подготовку к занятиям и разработку компьютерных дидактических материалов, является существенным фактором успешности компьютерного обучения.

В результате этого можно сделать следующие выводы: совместный этап развития компьютерной лингвистики, в частности обучение английскому языку с использованием ПК, является этапом становления новых теоретических и практических подходов, которые получают свое выражение в существующих и создаваемых программных продуктах. Специфика программного обеспечения обучения английскому языку заключается в том, что для обучения языку могут использоваться различные типы программ: прикладные, инструментальные и обучающие. Комплексное использование всех указанных типов программ позволяет создать уникальное интегрированное средство обучения английскому языку – «компьютерную обучающую языковую среду», которая обеспечивает полное погружение в среду изучаемого языка. Особенности коммуникации «человек – компьютер» в обучающей системе определяются функциями, которые выполняет компьютер как особое средство обучения, функциями преподавателя, учебного пособия и собственно компьютерной системы. Специфика компьютерной программы как средства обучения проявляется в интерактивности, особой структуре и содержании диалога «пользователь (ученик) – компьютер», комплексности средств представления информации (текста, графики, звука, анимации, видео); адаптации возможности индивидуализации обучения, индивидуальности дизайна, нелинейности специальной подготовки пользователя для работы с программой. В программах для обучения английскому языку интерфейс выполняет обучающие функции, это требует включения интерфейсных параметров в систему оценки компьютерной обучающей программы наряду с лингвистическими и методическими. Модель лингвометодической оценки компьютерной обучающей программы, построенная с учетом требований человеко-машинной коммуникации, коммуникативно-деятельностного подхода к обучению иностранным языкам, способствует появлению огромного количества компьютерных программ для обучения языку. Разнообразие существующего и постоянно развивающегося программного обеспечения привело к тому, что не только перед обычным пользователем, но и перед специалистом в области обучения встала проблема выбора, т.е. появляется необходимость оценки качества предлагаемых компьютерных обучающих программ. Именно недостаток качественных учебных программ большинство специалистов считают наиболее важной причиной, затрудняющей успешную реализацию компьютерного обучения. Невысокий уровень образовательного качества программ связывается со следующими проблемами:

- отсутствие теоретической базы (лишь в некоторых программах чувствуется стремление разработчиков применить какую-либо теорию обучения);
- преобладание технических аспектов (большинство коммерческих пакетов совершенно в технических аспектах, они имеют хорошую графику, звуковое сопровождение и т.п., при этом педагогические и методические вопросы в них игнорируются);
- использование стандартных образовательных моделей в отношении новых средств (ряд программ просто дублируют учебники);

– недостаточная требовательность к качеству программ в условиях, когда количество ПК растет неизмеримо быстрее качества учебных программ.

Эффективное использование ПК в обучении иностранному языку требует взвешенного, теоретически обоснованного подхода. Теория и практика обучения языку с использованием компьютеров являются в настоящее время одной из наиболее быстро развивающихся областей компьютерной лингвистики.

Как в нашей стране, так и за рубежом начинает практиковаться индивидуальная работа обучаемого с ЭВМ в аудиторном режиме под руководством преподавателя. Обучаемый получает задания – упражнения для отработки текущего материала и реализует эту работу на предложенном преподавателем программном обеспечении. Эта форма организации компьютерного обучения чаще всего практикуется как поурочная и представляет собой отдельное занятие, встроенное в традиционно организованный курс аудиторного некомпьютерного обучения. В том случае, если компьютеров не хватает на всех обучаемых, их объединяют в малые группы, работающие за одним компьютером. В настоящее время появились новые программы и системы с электронными таблицами, графикой, статистическим и динамическим изображением объектов, мультипликацией. Стало возможным графическое моделирование процессов, явлений, игровых ситуаций. Компьютерная технология предложила способы моделирования различных сред и средств обучения.

На основании вышеизложенного следует еще раз подчеркнуть, что признание определяющей роли студента в процессе обучения, развитие его креативных способностей, стимулирование стремления к самовыражению ведет к изменениям в самой системе обучения. Сам процесс обучения все больше основывается на социокультурных началах, поскольку социальность задает систему отношений между людьми, между человеком и окружающей средой. Так, овладение иностранным языком невозможно без ознакомления с культурой определенной страны, с менталитетом людей, говорящих на этом языке. В связи с этим особое значение приобретает кросскультурный аспект обучения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Халеева И.И. Основы теории обучения пониманию иноязычной речи (подготовка речи): автореф. дис. ... доктора пед. наук / И.И. Халеева. М., 1990. 19 с.
2. Азимов Э.Г. Словарь методических терминов (Теория и практика преподавания языков) / Э.Г. Азимов, А.Н. Щукин. СПб.: Изд-во АО ООО «Златоуст», 1999. 472 с.
3. Гусева А.В. Формирование социокультурной компетенции в процессе обучения устному иноязычному общению: автореф. ... канд. пед. наук / А.В. Гусева. М., 2002. 35 с.
4. Федюнина С.М. Коммуникативная функция языка как проводник национально-культурной информации / С.М. Федюнина // Человек, общество, мир: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 1996. С. 49-50.
5. Федюнина С.М. Квалитативная языковая подготовка в системе «Общество – культура – образование» / С.М. Федюнина // Теория и практика преподавания иностранных языков в неязыковых вузах: межвуз. сб. науч. тр. Саратов: СГАП, 1998. С. 38-40.
6. Федюнина С.М. Риторический тренинг как компонент комплексной поствузовской педагогической и научно-методической подготовки / С.М. Федюнина // Риторика в современном образовании: сб. материалов 3-й Междунар. конф. по риторике. М.: Изд-во МГПИ, 1999. С. 63-64.
7. Федюнина С.М. О некоторых кросскультурных аспектах научного стиля общения / С.М. Федюнина // Социально-педагогические проблемы лингвистического образования в неязыковом вузе: сб. науч. тр. Всерос. науч.-метод. конф. Саратов: СГТУ, 2000. С. 24-29.
8. Федюнина С.М. Лингвокультурологические и лингвориторические аспекты межкультурной коммуникации / С.М. Федюнина, Л.Н. Максимова // Человек в информационном

пространстве: материалы третьей Междунар. конф. Ярославль: Ярослав. гос. пед. ун-т, 2004. С. 115-117.

9. Федюнина С.М. Межкультурная коммуникация в контексте культуры / С.М. Федюнина, Л.Н. Максимова // Межкультурная коммуникация и перевод: материалы четвертой межвуз. науч. конф. М.: Москов. открытый социальный ун-т, 2005. С. 101-106.

10. Fedyunina S. The Use of Cross-Cultural Training in the Option "Intercultural Rhetoric" / S. Fedyunina // Language and Communication. Saratov ISSUES: SSU, 2003. P. 49-54.

11. Максимова Л.Н. Интеркультурная риторика для студентов-нефилологов / Л.Н. Максимова // Риторика в системе коммуникативных дисциплин: материалы девятой Междунар. науч.-метод. конф. Записки горного (технического) института: в 2 ч. СПб., 2005. Т. 160. Ч. 2. С. 81-83.

**Федюнина Светлана Михайловна –**

кандидат филологических наук, доцент,  
заведующая кафедрой «Русский язык, прикладная лингвистика и методика обучения»  
Саратовского государственного технического университета

**Пятницкая Наталья Юрьевна –**

кандидат филологических наук, доцент кафедры «Иностранные языки»  
Саратовского государственного технического университета

**Максимова Лариса Николаевна –**

кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Иностранные языки»  
Саратовского государственного технического университета

**Станиславская Сусанна Александровна –**

кандидат филологических наук,  
доцент кафедры «Русский язык, прикладная лингвистика и методика обучения»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 316.42

**В.В. Щебланова, К.А. Санкова**

**АНАЛИЗ СОЦИОКУЛЬТУРНЫХ КОНТЕКСТОВ СОВРЕМЕННОСТИ**

*Представлен обзор основной исследовательской деятельности в рамках научного направления «Анализ социокультурных контекстов современности», возглавляемого профессором Е.Р. Ярской-Смирновой. Излагаются результаты теоретических и эмпирических исследований коллективов кафедр СГТУ и его филиала в г. Балаково: социальной антропологии и социальной работы, социологии, менеджмента туристического бизнеса, социальных и гуманитарных наук.*

**V.V. Sheblanova, K.A. Sankova**

**ANALYSIS OF SOCIOCULTURAL CONTEXTS OF MODERNITY**

*This work is a survey of main research activity within the frame of scientific activity «Analysis of socio-cultural contexts of modernity», led by professor E.R. Iarskaya-Smirnova. There are results of theoretical and empirical research done by academic staff of SSTU departments and its branch in Balakovo which are presented by Social Anthropology and Social Work Dept, Sociology Dept, Management of Tourist Business Dept, Dept of Social Sciences and Humanities.*

*Актуальность научного направления.* В процессе социального развития происходят существенные количественные и качественные изменения в социокультурных сферах общественной жизни или таких её компонентах как институты, организации, социальные отношения, общности. В современном российском контексте проблемы социального регионального развития имеют свою специфику, которая отчасти связана с традиционно высокой ролью государства в различных секторах социальной жизни, а также наследием социалистических принципов управления и культурой. При этом динамика реорганизации российской социальной политики на протяжении последнего десятилетия была довольно интенсивной. Значительные изменения произошли и с институтами, обеспечивающими социальную политику, с реципиентами государственной поддержки. Поэтому, анализируя пространственные и временные социальные изменения, необходимо ответить на вопрос о том, в чём же состоят особенности российской, в том числе региональной социальной политики в современном контексте.

В последние годы обострился интерес к современной стадии ускоренных социальных изменений в современном обществе. У политиков и социологов значительный интерес вызывает анализ кризисных ситуаций, социальной неустойчивости, неравновесности, разнообразие нелинейного соотношения в социальных процессах и системах. Современная политика выступает в двух противоположных ипостасях: как разновидность мощных, преобразующих общественную сферу технологий и как средство противодействия технологическому разрушению невозпроизводимых ресурсов общества или незащищенных социальных институтов, отдельных групп населения, сохранения среды обитания. На уровне доктрины политика составляет версию трансформации существующего, а на уровне конкретного курса – политические технологии, практически реализующие крупномасштабные проекты, ориентирующие развитие общества, ускоряющие или сдерживающие его жизнестроительство.

Наличие многочисленных лимитов в общественном развитии на рубеже столетий породило понятие «общество риска». Современные социальные процессы продуцируют усложнение поведения социальной системы, таким образом – степень ее неопределенности. Поэтому современное общество зачастую и рассматривается в рамках парадигмы «общества риска». Исследование интеграционных процессов, происходящих в «обществе риска», ставит своей целью формирование общественных структур, способных противостоять рискам, а также предупреждать, локализовать в пространстве и времени, нейтрализовать их отрицательные проявления. С точки зрения решения проблем интеграции, выживания современного российского общества, сохранения его национальной безопасности в состоянии «общества риска» необходим поиск новых социально-политических технологий, позволяющих адаптивно современным требованиям обеспечить стабильную систему социокультурной регуляции общественной жизни. Практика социальной интеграции выступает как альтернатива социальной эксклюзии и социальной атомизации. Проблема интеграционных процессов как ресурсов общественного развития сегодня – одна из ключевых в социологической теории. Её изучение позволит сделать прогнозные предложения по развитию такого объекта исследования как общество эпохи постмодерна.

*В качестве методологии* в исследованиях научного направления используются мультипарадигмальный подход, принцип «методологического плюрализма», применяются факту-

алистическая, дефиционистская, критическая парадигма, парадигма социально-исторического детерминизма, парадигма социального поведения и другие парадигмы.

*Методы исследования:* общенаучные и специальные методы эмпирического и теоретического исследования, системный подход, общенаучные подходы.

Объектами исследования 01В «Анализ социокультурных контекстов современности» являются: пространство и время социальных изменений; общество постмодерна в координатах пространства и времени; социальные, культурные и экономические факторы развития туристического бизнеса; человек как субъект социального пространства современного малого города.

Теоретическая рефлексия по вопросам анализа социокультурных контекстов современности в координатах пространства и времени, интеграции общества периода постмодерна, специфики российского общества представлена в философских, экономических, культурологических, социологических дискурсах. Сегодня проблемы целостности общества, национальной безопасности, интеграции России в мировое сообщество требуют анализа механизма взаимодействий в России трёх мегафакторов, характеризующих специфику постмодерна: бурного развития науки и техники, осознания многочисленных лимитов общественного развития и глобализации.

Анализ социокультурных контекстов современности в координатах пространства и времени является ключевой темой научных изысканий предыдущих лет и настоящего времени исследовательских коллективов кафедр СГТУ и его филиала в г. Балаково: *социологии, социальной антропологии и социальной работы, менеджмента туристического бизнеса, социальных и гуманитарных наук*. Коллективы кафедр имеют высокий уровень профессиональной подготовки, предшествующий данным проблемам научный задел, содержащийся в публикациях, представленный на конференциях.

Итоги проводимой кафедрами научной работы могут быть использованы как *теоретико-методологическая* основа для дальнейших научных исследований состояния и перспектив развития общества; использованы в проведении социально-политического анализа и прогноза; при разработке и реализации региональных стратегий развития народонаселения; построении моделей социальной политики и социального обслуживания на региональном уровне; дадут возможность проследить социальную динамику, духовную ангажированность и процессы стабилизации/дестабилизации современного российского общества; усилить, сбалансировать и целостность развития общества через повышение эффективности фактора сознательной организации социальной жизни; использоваться при проведении обучающих семинаров работников администраций по разработанным кафедрами программам.

Результаты предыдущих лет исследовательских изысканий работы кафедр научного направления «Анализ социокультурных контекстов современности» использовались при разработке приоритетных направлений социальной политики, при организации работы информационно-аналитических центров в районах Саратовской области, службами занятости, социально-реабилитационными центрами, службами социальной помощи и поддержки в регионе, при формировании Областной программы развития туризма в Саратовской области. Творческие группы кафедр проводят консультации по ряду вопросов: направления социальной политики в современной России (гендерные аспекты социальной политики, стратегии интеграции инвалидов в общество, геронтологические аспекты социальной политики, развитие инновационных сервисов в контексте социальной работы с населением, оценка эффективности демографической и семейной политики), избирательные технологии, электоральное поведение, социокультурное конструирование имиджа депутата.

Сотрудники кафедр участвовали в проводимых по заказу Саратовской областной думы и Правительства области социологических исследованиях по темам: «Взаимодействие депутатов представительных органов власти различных уровней», «Отношение населения г. Саратова к ипотечному кредитованию», «Перспективы создания безбарьерной среды жизне-

деятельности инвалидов», «Изучение мнения населения и специалистов по реализации программы государственных гарантий бесплатной медицинской помощи населению Саратовской области», «Религиозные процессы в Саратовской области», «Потенциал социального согласия и межнациональной конфликтности в Саратовской области». Результаты исследований внедрены в практиках социального управления и управленческого консультирования при Правительстве Саратовской области, в преподавании учебных дисциплин, а также демонстрируются на международных выставках в городах России и дальнего зарубежья.

Кафедры проводят руководство научной работой студентов, соискателей, аспирантов, докторантов по оригинальным программам. Сотрудники активно работают в качестве экспертов кандидатских и докторских диссертаций. На кафедрах постоянно действуют методологические семинары, активно организуются научно-практические конференции разного уровня. Кафедральные исследования по данным проблемам опубликованы в центральных социологических, социально-антропологических, политических журналах, отражены в учебно-методических разработках, в монографиях, дебютных работах высокого уровня, принадлежащих сотрудникам, докторантам, аспирантам кафедр, в проведённых исследовательских проектах по данным проблемам.

**Щебланова Вероника Вячеславовна –**

кандидат социологических наук,  
доцент кафедры «Социальная антропология и социальная работа»  
Саратовского государственного технического университета

**Санкова Клавдия Алексеевна –**

кандидат философских наук, доцент кафедры «Социология»  
Саратовского государственного технического университета



## ЮБИЛЕИ

---



### ВАЛЕНТИНА НИКОЛАЕВНА ЯРСКАЯ И САРАТОВСКАЯ ШКОЛА СОЦИОЛОГИИ

Валентина Николаевна Ярская – заслуженный деятель науки России, представитель саратовской социальной науки. Жизненный стиль Валентины Николаевны – образование и талант, море энергии и обаяния, незаурядного и острого ума, дара убеждения и логики, энергии и решительности, красоты и доброты. Становление В.Н. Ярской как ученого связано с влиянием общения с представителями отечественной науки: Я. Аскиным, И. Бестужевым-Ладой, Э. Гирусовым, Т. Заславской, О. Зелькиной, В. Лекторским, Е. Мамчуром, Е. Молевичем, И. Мочаловым, А. Овсянниковым, А. Спиркиным, В. Ядовым. По культуре мышления и неформальной научной эрудиции, философской фундаментальности, увлеченности развитием социального образования, продвижению идей и проектов, щедрости общения с коллегами, учениками Ва-

лентина Николаевна – ученый, отнюдь не провинциальный.

После защиты докторской диссертации Валентина Николаевна работала профессором кафедры философии Саратовского государственного университета, а в 1985 г. ее пригласили в политехнический институт. Этот переход сыграл большую роль в повороте научных и педагогических интересов Валентины Николаевны. В 1986 году на базе СГТУ Валентина Николаевна открыла *Социологический центр*, в котором стали разрабатываться и осуществляться социологические исследования по запросам и заявкам ректората и сторонних организаций, коллектив центра брался за исследования городских и региональных проблем. С середины 80-х Валентина Николаевна формировала и затем долгие годы руководила известной в Саратове научной школой социологии, помогала становлению будущих учёных и исследователей. На ее методологические семинары и сейчас стремятся попасть студенты, магистранты, аспиранты, докторанты, состоявшиеся учёные вузов Саратова, ей удалось сплотить вокруг себя учеников и единомышленников. Под влиянием знакомства с Т.И. Заславской Валентина Николаевна организует в 1988 году *Региональное отделение ВЦИОМ* в Саратове. В начале 90-х Валентина Николаевна входит в союзную программу *Народы России*, успешно пройдя конкурс и получив финансирование на подтвержденные темы. В том числе это были проблемы поволжских немцев, молодежных субкультур, этнических взаимодействий в регионе, появляются системность в работе, регулярные научные отчеты, сборники статей, монографии.

Более глубокий след оставила другая общесоюзная программа: *Общественное мнение* (социология вуза). Под влиянием работы в Программе сформировались академические сети, профессиональные межвузовские связи. Интересы Валентины Николаевны соединяли прикладные исследования и образование. Ей удалось расширить в техническом вузе спектр дис-

циплин по социальным и гуманитарным наукам, ввести в образовательные программы историю философии, этику, эстетику, курс «Познай самого себя» (психологию личности), теорию и историю культуры.

Технический вуз попадает в первую пятерку российских вузов, начавших подготовку по социальной работе. Через несколько лет эта специальность открывается во многих вузах страны, университетах, педагогических институтах. Кафедра стала предметом профессиональной гордости, форумом для общения начинающих социологов, благодаря В.Н. Ярской и ее сподвижникам (Елена Ростиславовна вернулась из Швеции Гетеборгским магистром социальной работы). Отечественная подготовка по социальной работе приобрела многоуровневый характер, с открытием магистратуры.

Появляются сразу несколько дополнительных направлений роста научной школы, налаживаются контакты с Институтом социологии, Институтом молодежи, проводится исследование по культуре молодежи, анализу молодежных субкультур. С 1991 году в Саратове организован Саратовский научный центр Академии наук, руководителем социологической группы на общественных началах назначена Валентина Николаевна. В это же время ею осуществляется проект создания Научного парка в Межрегиональном учебном центре Федеральной службы занятости, его исследовательские отделы фокусируются на социологии занятости, социальной адаптации, профессиональной консультации и подготовки персонала для новой системы.

Сотрудничая с учёными ведущих российских и зарубежных университетов, В.Н. Ярская открывает аспирантуру, а затем докторантуру по трем научным социологическим специальностям. Сотрудники, аспиранты и магистранты кафедры разрабатывают социологические проекты и повышают свою квалификацию по грантам зарубежных и российских фондов – РГНФ, РФФИ, Институт Открытое общество, TEMPUS/Tacis, фонды Спенсера, Дж. Бёлля, Дж. и К. Макартуров, Фулбрайт, НФПК, Проект гражданского образования (СЕР). Большинство преподавателей кафедры прошли стажировки в университетах Великобритании, Германии, Ирландии, США, Швеции, часть из них решили продолжить социологическое образование в докторантуре. Большую роль сыграли открытые курсы по социологии в ИС РАН при поддержке программы ТЕМПУС, фонда Форда, магистратура по социологии в МВШСЭН, контакты с Открытым университетом СПбГУ, ГУ ВШЭ.

Одна из ключевых особенностей социологической школы технического университета – активный прикладной характер научных разработок. Постоянным направлением деятельности социологов СГТУ является участие в разработке и реализации направлений социальной политики во взаимодействии с министерствами здравоохранения и социального развития, образования и науки Саратовской области, социальными службами и образовательными учреждениями области. Широкие сети сотрудничества ведущих социологов города придают дополнительный импульс развитию научной школы, расширению профессионального сообщества, созданию единого научного пространства, обмену идеями.

*Дорогая Валентина Николаевна, поздравляем Вас с юбилеем и желаем здоровья, успехов и процветания Вам, Вашей семье и Вашей школе!*

Коллектив кафедры  
социальной антропологии и социальной работы ИСПМ СГТУ

**ЖУРНАЛ ПУБЛИКУЕТ  
СТАТЬИ ПО СЛЕДУЮЩИМ РАЗДЕЛАМ:**

- Автоматизация и управление
- Архитектура и строительство
- Гуманитарные и экономические проблемы современного общества
- Информационные технологии
- Надежность машин
- Новые материалы и технологии
- Проблемы естественных наук
- Экология
- Электроника и приборостроение
- Энергетика и электротехника

**ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ,  
ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ В РЕДАКЦИЮ ЖУРНАЛА  
«ВЕСТНИК СГТУ»**

1. Статья должна быть тщательно отредактирована и представлена в одном экземпляре, распечатанном через 1 интервал на белой бумаге форматом А4, поля: верхнее, нижнее, левое, правое – 2,0 см; ориентация книжная; шрифт Times New Roman, высота 12. Одновременно текст статьи представляется на дискете (1,44 Мбайт) в формате текстового редактора «MS Word 97» или по электронной почте [vestnik@sstu.ru](mailto:vestnik@sstu.ru).

2. Статья должна обосновывать актуальность темы, отражать теоретические и (или) экспериментальные результаты и содержать четкие выводы.

3. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице данные идут в такой последовательности:

- инициалы и фамилии авторов;
- полное название статьи (шрифт жирный, буквы прописные);
- краткая (5-7 строк) аннотация (курсив).

Далее авторы, название статьи и аннотация повторяются на английском языке.

Затем идет текст самой статьи и литература.

Статья завершается сведениями об авторах: ф.и.о. (полностью), ученая степень, ученое звание, место работы (полностью), должность, контактные телефоны.

4. Объем статьи не должен превышать 10 страниц текста, содержать не более 5 рисунков или фотографий; объем обзора – 25 страниц, 10 рисунков; объем краткого сообщения – не более 3 страниц, 2 рисунков.

Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, pcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Допускается также создание и представление графиков при помощи табличных процессоров «Excel», «Quattro Pro», «MS Graph». Каждый рисунок должен иметь номер и подпись. Рисунки и фотографии должны иметь контрастное изображение.

Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь номер и заголовок.

5. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в редакторе формул MS Word Microsoft Equation. Каждая формула должна иметь номер.

6. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т.е., и т.д., и т.п.). Допускается введение предварительно расшифрованных сокращений.

7. Список литературы должен быть оформлен по ГОСТ 7.1-2003 и включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг – фамилии и инициалы авторов, точное название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц.

8. К статье прилагается экспертное заключение.

9. Рукописи статей представляются в редакцию с рецензией ведущего ученого в данной области, как правило, доктора наук.

10. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

11. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются, рукописи и дискеты авторам не возвращаются. Датой поступления рукописи считается день получения редакцией окончательного текста.