

ВЕСТНИК
САРАТОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
2005

№ 4 (9)

Научно-технический журнал

Издается с 2003 г.
Выходит один раз в квартал
Декабрь 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. В.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 12.12.05
Формат 60×84 1/8 Бум. офсет.
Усл. печ. л. 21,24 Уч.-изд. л. 22,32
Тираж 500 экз. Заказ 442.
Отпечатано в РИЦ СГТУ,
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

**VESTNIK
SARATOV
STATE
TECHNICAL
UNIVERSITY
2005**

№ 4 (9)

Scientific Journal

Published since 2003
Once in a quarter
December 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.*

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

Editing council: Pr. V.R. Atoyan (Vice of the Chairman), Pr. V.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. Uli Arnold (Germany), Pr. Anthony Merser (UK), Pr. A. Ferreira (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. Slepukhin, 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:
Format 60×84 1/8 Paper offset.
Apr. tp. l. 21,24 Acc.-pbl. l. 22,32
Circulation 500 issues. Order 442.
Printed in EPC of SSTU,
77, Politechnicheskaya St., Saratov, 410054, Russia

ISBN 5-7433-1496-9

© Saratov State Technical University, 2005

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

Барац Я.И. Излучение черного тела и теплофизические процессы.....	5
Глазков В.П., Дауров С.К. Особенности решения некоторых задач кинематики в аппарате кватернионов.....	12
Губатенко В.П., Пескова О.С. Математическая модель измерения плоского электрического поля	24
Косников Ю.Н. Применение бикубических сплайнов в графических системах реального времени	30
Элькин П.М., Пулин В.Ф., Джалмухамбетова Е.А. Структурно-динамические модели и ангармонический анализ колебательных состояний замещенных урацила.....	36

НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

Балакина Е.В., Ревин А.А. Методика описания упругих и неупругих угловых колебаний управляемых колес по этапам их поворота	45
Васин А.Н. Анализ взаимосвязей технологических факторов и величины припуска	51
Денисов А.С., Данилов И.К. Влияние условий смазки на толщину масляного слоя в шатунных подшипниках дизельного двигателя	57
Крайнов С.С., Королев А.В. Механизм процесса эксцентрикового суперфиниширования	60
Куранов В.Г., Виноградов А.Н., Каракозова В.А., Бузов А.В. Особенности формирования фрикционных покрытий, называемых металлокерамикой.....	64
Любимов И.И., Сычѳв А.М. Об аналитическом определении показателей динамики колесной нагрузки транспортных машин при случайных колебаниях	71

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Ничволодин А.Г., Ольшанская Л.Н. Композитный катод на основе оксида хрома (VI) и полифторуглерода для литиевого аккумулятора	80
Яковлев А.В., Забудьков С.Л., Яковлева Е.В., Финаенов А.И. Применение терморасширенного графита для очистки воды от ионов Cr(VI), Ni(II), Fe(II)	85

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Черткова Е.А. Концепция спецификации требований для проектирования компьютерных обучающих систем	90
---	----

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Кубарева Т.С. Разработка модели функционирования нелинейной электроэнергетической системы по критериям устойчивости и существования режима на основе топологического подхода	98
---	----

ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Ширшин С.И., Кулишов В.Г., Ширшина М.С. Модель и численный анализ цифровой демодуляции сигнала с двухфазной фазовой манипуляцией	105
---	-----

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

Землянский А.А. Техническая диагностика и оценка эксплуатационной надежности резервуаров большого объема.....	111
Иванова Е.В., Павлутин М.В. Поселковые системы газоснабжения на базе сжиженного углеводородного газа	117

ЭКОЛОГИЯ

Губина Т.И., Лабунская В.И., Сафронова Л.А., Бабакова О.В., Огурцов К.Н., Архангельский Ю.С., Дроб И.А. Обеззараживание осадков биологических очистных сооружений ООО «Саратоворгсинтез»	124
Яковлев Б.Н. Классификация канализационных очистных сооружений по взрывопожароопасности	130

ГУМАНИТАРНЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА

Баландина Т.М. Развитие организационной культуры на российских предприятиях	134
Белоусов А.А. О национальной безопасности и эффективной системе управления экономикой России	141
Бородин А.И. Экологизация общественного производства как основа сбалансированного развития территории....	151
Драгун Н.П., Карпенко Е.М. Технология управления конкурентоспособностью промышленного предприятия	158
Землянухина С.Г. Экономические госбюджетные исследования в СГТУ	163
Печерский В.Г. Проблемы социализации лиц с психическим недоразвитием	169

ЮБИЛЕИ

Кафедре «Автомобили и автомобильное хозяйство» – 75 лет	180
---	-----

CONTENTS

PROBLEMS OF NATURAL SCIENCES

Barats Y.I. Black solid radiation and thermo-physics processes	5
Glazkov V.P., Daurov S.K. Features of the decision of some problems of kinematics	12
Gubatenko V.P., Peskova O.S. Plane electrical field measurement's mathematical model	24
Kosnikov Yu.N. Bicubic splines application in graphic real-time systems	30
Elkin P.M., Pulin V.F., Djalmuhambetova E.A. Structural dynamic models and anharmonic analysis of vibrational spectra of methyl substituted uracil	36

MACHINE RELIABILITY

Balikina E.V., Revin A.A. Method of description of resilient and rigid angular oscillations of controlled wheels by stages of their turns	45
Vasin A.N. Technological factors interrelations analysis and allowance's sizes	52
Denisov A.S., Danilov I.K. The influence of oiling conditions on the Diesel crankshaft oil coating thickness	57
Krainov S.S., Koroliov A.V. Superfinishing eccentric process mechanism	60
Kuranov V.G., Vinogradov A.N., Karakozova V.A., Buzov A.V. Frictional coverings formation features, named metallceramik	64
Ljubimov I.I., Sichev A.M. Transport machines wheel loading parameters dynamics analytical definition at casual fluctuations	71

NEW MATERIALS AND TECHNOLOGIES

Nitschvolodin A.G., Olshanskaya L.N. Composite cathode on cromoxide (VI) basis and poliphthorcarbone for lithium the batterie	80
Yakovlev A.V., Zabud'kov S.L., Yakovleva Ye.V., Finaenov A.I. Thermally expanded graphite (TEG) application for water purification from Cr^{6+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} ions	86

ELECTRONICS AND INSTRUMENT MARKING

Chertkova E.A. Computers systems design specification conception requirements	90
--	----

POWER ENGINEERING AND ELECTRICAL ENGINEERING

Kubareva T.S. Nonlinear power system functioning model development by criteria, stability and existence mode on topological approach basis	98
---	----

AUTOMATION AND MANAGEMENT

Shirshin S.I., Kulishov V.G., Shirshina M.S. A model and computer analysis of the digital BPSK demodulation	105
--	-----

ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

Zemlyanskiy A.A. Large volume tanks technical diagnosis and their exploitational reliability estimation	111
Ivanova E.V., Pavlutin M.V. Systems of gas supply of settlements on the basis of the liquefied petroleum gas	117

ECOLOGY

Gubina T.I., Labunskaya V.I., Saphronova L.A., Babakova O.V., Ogurtzov K.N., Arhangelsky Y.S., Drob I.A. Saratovogrsynthesis, Co biological refineries precipitations detoxication	124
Yakovlev B.N. Sewage refineries explosion classification	130

HUMANITARIAN AND ECONOMICAL PROBLEMS OF MODERN SOCIETY

Balandina T.M. Russian enterprises organaizational cultur development	134
Belousov A.A. National security and russian economy effective management system	142
Borodin A.I. Ecologization the social production as the basis of balanced development of territory	151
Dragun N.P., Karpenko E.M. Industrial enterprise competitive ability management technology	158
Zemljanukhina S.G. State-run economics studies in SSTU	164
Pecherskiy V.G. Socialization problems of the people with mental deficiency	169

JUBILEES

Automobiles and automobile economics chair is 75 years	180
--	-----

ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

УДК 510.10

Я.И. Баратц**ИЗЛУЧЕНИЕ ЧЕРНОГО ТЕЛА И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ**

Теоретическое описание процессов взаимодействия материи основывается на философском положении: взаимодействие материи в физическом мире состоит в неразрывности и совместном проявлении процессов в форме притяжения и отталкивания, в форме поглощения и излучения энергии.

Получено квантовое уравнение, описывающее гравитационное поле элементарной частицы. Установлено, что гравитационное и нуклон-нуклонное взаимодействия представляют собой условно выделенную одну сторону физического процесса, связанную только с притяжением материи.

Y.I. Barats**BLACK SOLID RADIATION AND THERMO-PHYSICS PROCESSES**

The theoretical description of the matter interaction process is based on the following philosophical position: the matter interaction in physical world consists in continuity and simultaneously acting processes in the form of attraction and repulsion, in the form of absorption and energy radiation.

A quantum equation, describing the gravitation field of the elementary particle was received. According to the basic principle of attraction-repulsion it is established that the gravitational and the nucleon-nucleon interaction represent by themselves one side of the conventionally extracted physical process which is connected with the matter attraction only.

Современные теории физических процессов основываются на представлении, что все элементарные частицы взаимодействуют по общему закону и каждое из известных четырех взаимодействий характеризуется соответствующей константой связи.

Однако трудности, которые возникают при разработке объединяющих моделей (великое объединение, супергравитация), связаны с резким различием сил взаимодействия. Так, например, если принять силу сильного взаимодействия протона с протоном в ядре атома (расстояние порядка 10^{-13} см) за единицу измерения интенсивности взаимодействий, то электростатическое взаимодействие между этими частицами будет в 100 раз меньше, слабое – в 10^{13} раз меньше, а гравитационное – меньше в 10^{38} раз. Кроме того, гравитационное и электростатическое взаимодействия являются взаимно противоположными по знаку, в то время как сильное и слабое – взаимно дополняющими.

тромагнитное взаимодействия являются дальнедействующими, тогда как слабое и сильное – это близкодействующие взаимодействия, которые имеют место практически в пределах размеров атомного ядра. При этом приходится учитывать еще и то обстоятельство, что полярные по интенсивности гравитационное и сильное взаимодействия связаны с притяжением материальных объектов, тогда как электромагнитное и слабое – это взаимодействия отталкивания и происходят, как правило, с излучением частиц.

Философия природы утверждает, что все физические процессы и взаимодействия связаны с преобразованием форм движения материи. Определяя понятие материи, Кант рассматривал взаимодействие как единство и неразрывность притяжения и отталкивания. Если бы материя достигла того, чего она ищет в притяжении, то движение (по Гегелю) прекратилось бы, однако это не может осуществиться потому, что отталкивание есть такой же существенный момент материи, как и притяжение.

Таким образом, закон неумничтожимости и несотворимости движения состоит в том, что всякое движение – это взаимодействие притяжения и отталкивания. Поскольку мерой движения материи является энергия, то естественно, что преобразование форм движения материи всегда сопровождается сохранением энергии во взаимодействии, при этом количественное изменение одной формы движения при достижении определенной меры приводит к качественному изменению в другой форме движения и наоборот.

Тепловое излучение черного тела

Характерными примерами, иллюстрирующими закон количественно-качественных изменений в физическом взаимодействии, являются процесс теплового излучения и закон Планка [1].

Исследуя тепловое излучение черного тела, Планк пришел к заключению, что обмен энергией между излучением и веществом не может происходить непрерывным образом, а происходит дискретными порциями – квантами. При этом количество энергии E в каждой порции излучения с частотой ν определяется соотношением $E=h\nu$, в котором константа h – постоянная Планка.

В этом процессе количественные изменения в тепловом движении материи в твердом теле скачкообразно переходят в качественно другую форму движения материи – в излучение энергии дискретными квантами. В области тела, где происходит обмен энергией, возникает взаимодействие в форме притяжения-отталкивания. Импульсное излучение кванта энергии в какой-либо точке тела резко снижает здесь температуру. Возникают тепловые потоки в теле. Когда уровень энергии в данной точке тела достигает определенной меры, возникает следующий импульс излучения и так далее.

Тепловой режим в теле, связанный с излучением одного отдельного кванта энергии из бесконечно малой полости (духовки), можно исследовать на следующей модели. Рассматривается процесс теплопроводности в неограниченном изотропном твердом теле с начальной температурой, принятой равной нулю, в котором в точке $r=0$ в момент времени $t=0$ произошло импульсное поглощение тепла в количестве, равном энергии возникшего кванта излучения.

В такой постановке задачи решением уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \alpha \Delta \Theta \quad (1)$$

является функция [2]

$$\Theta(r, t) = -\frac{E}{c\rho(4\pi at)^{3/2}} \exp\left(-\frac{r^2}{4\alpha t}\right), \quad (2)$$

где α – коэффициент температуропроводности; $c\rho$ – объемная теплоемкость; Δ – оператор Лапласа.

Если $t \rightarrow 0$, то выражение (2) стремится к нулю везде, кроме точки $r=0$, где оно обращается в минус бесконечность, что следует из предельной сосредоточенности стока теплоты E или, что то же, поглощения энергии в точке $r=0$.

Предположим, что поглощение энергии в точке $r=0$ неограниченного твердого тела происходит непрерывно в количестве Q Вт. Поскольку за элементарный промежуток времени dt это составит $E=Q dt$ Дж и температурное поле определится соотношением

$$\Theta(r,t) = -\frac{Q dt}{c \rho (4 \pi \alpha t)^{3/2}} \exp\left(-\frac{r^2}{4 \alpha t}\right), \quad (3)$$

то установившийся тепловой режим при $t \rightarrow \infty$ можно вычислить интегрированием уравнения (3):

$$\Theta(r) = -\frac{Q}{c \rho (4 \pi \alpha t)^{3/2}} \int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{r^2}{4 \alpha t}\right) t^{-3/2} dt.$$

В результате вычисления интеграла приходим к выражению

$$\Theta(r) = -\frac{k Q}{r}, \quad (4)$$

в котором $k=1/4\pi\lambda$.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что соотношение (4), которое определяет тепловой режим в неограниченном теле с постоянно действующим поглощением теплоты, точно соответствует формуле

$$\varphi(r) = -\frac{G m}{r}, \quad (5)$$

описывающей в теории тяготения Ньютона гравитационное поле в неограниченном пространстве, вызванное частицей вещества с массой m .

Аналогия в соотношениях (4) и (5) соблюдается также между параметрами обоих физических процессов. Так, гравитационный потенциал φ Дж/кг соответствует потенциалу тепловой энергии – температуре Θ °С, гравитационная постоянная G , характеризующая свойства пространства, соответствует коэффициенту k , определяющему теплофизические свойства твердого тела и, наконец, масса m точечного источника гравитационного поля эквивалентна энергии Q в соотношении (4). При этом температурный градиент $\partial\Theta/\partial r$ определяет тепловой поток в твердом теле точно так же, как $\partial\varphi/\partial r$ представляет собой гравитационный поток – форму движения материи с ускорением $g=Gm/r^2$.

Полное соответствие процессов, которые описываются соотношениями (4) и (5), свидетельствует о том, что физическая сущность этих процессов одна и та же: **тепловой режим в твердом теле при тепловом излучении и гравитационное поле, вызванное частицей вещества, возникают вследствие того, что источники этих процессов поглощают энергию дискретными порциями – квантами.**

Вывод, который следует из сопоставления процессов тепловой и гравитационной форм движения материи: **частица вещества с массой m поглощает энергию из окружающего ее пространства, вызывая гравитационную форму движения материи.**

В соответствии с диалектической логикой движение материи, мерой которого является поглощаемая из вакуума энергия, не может быть уничтожено или бесследно исчезнуть, это противоречило бы и закону сохранения энергии. Очевидно, что гравитационная форма движения материи может только принять другую форму. Если далее следовать аналогии с законом излучения Планка, то вполне логичным будет и другой вывод: **гравитационная форма движения материи, вызванная поглощением энергии частицей вещества, преобразовывается в качественно другую форму движения материи.** В этом случае выполняет-

ся также фундаментальное философское положение: движение материи представляет собой взаимодействие притяжения и отталкивания.

Рассмотрим, насколько выводы, сделанные в соответствии с диалектической логикой, соответствуют современным физическим представлениям.

Пространство (вакуум) обладает энергией, следовательно, это одна из форм существования материи. По современным представлениям, вакуум представляет собой основное состояние квантовых полей, обладающих определенной энергией с возможностью виртуальных процессов. Кроме того, согласно принципу эквивалентности, энергия вакуума гравитирует и учитывается поэтому в уравнениях общей теории относительности (ОТО) Эйнштейна [3]. Следовательно, энергия вакуума может поглощаться источником гравитационного поля и трансформироваться в другие формы движения материи.

Рассмотрим в связи с этим нуклон как элементарную частицу, процессы в которой связаны с притяжением (гравитационное и сильное взаимодействия) и отталкиванием (электромагнитное и слабое взаимодействия). Эксперименты по процессам с большой передачей импульса свидетельствуют о существовании внутри нуклона точечноподобных рассеивающих центров – партонов. Поэтому предполагается, что «голые» протон и нейтрон представляют собой точечные частицы и что конечные размеры реального нуклона определяются исключительно наличием облака виртуальных частиц, которые он непрерывно излучает. Облако из виртуальных частиц определяет и электромагнитные свойства нуклона [4].

Таким образом, современные представления о структуре и свойствах нуклона могут только свидетельствовать в пользу сделанного выше вывода о том, что для формирования облака виртуальных частиц и поддержания стабильности нуклона требуются затраты энергии, которая может черпаться элементарной частицей дискретными порциями (квантами) исключительно только из обладающего энергией вакуума.

Гравитационное поле виртуальной частицы

Облако виртуальных частиц, которые окружают нуклон, представляет собой различные кварк-антикварковые пары. Пионы – самые легкие из таких виртуальных частиц и они должны определять структуру внешних частей облака.

В нерелятивистском приближении гравитационное поле, вызванное возникновением виртуальной частицы, можно описать, основываясь на аналогии теплового и гравитационного процессов. Поскольку стационарные процессы и теплопроводности, и тяготения описываются однотипными соотношениями, а именно $\theta(r) = -\frac{kQ}{r}$ (4) и соответственно

$\varphi(r) = -\frac{Gm}{r}$ (5), то очевидно, что нестационарные процессы, вызванные поглощением энергии одним квантом излучения, должны описываться однотипными функциями

$$\theta(r,t) = -\frac{E \cdot \exp\left(-\frac{r^2}{4at}\right)}{c\rho(4\pi at)^{3/2}} \quad \text{и соответственно} \quad \varphi(r,t) = -\frac{h \cdot \exp\left(-\frac{r^2}{4at}\right)}{v(4\pi\chi t)^{3/2}}. \quad (6)$$

Очевидно также, что эти соотношения должны, кроме того, являться и решениями однотипных дифференциальных уравнений, представляющих тепловой и гравитационный процессы, т.е.

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} = a \Delta\theta \quad (1) \quad \text{и соответственно} \quad \frac{\partial\varphi}{\partial t} = \chi \Delta\varphi. \quad (7)$$

Как видно, уравнение (7) и его решение для импульсного точечного поглощения энергии (6) представляют собой квантовые соотношения, в которых

$$\chi = \frac{h}{4\pi m} \text{ и } v = \frac{mc^2}{h},$$

где m – масса виртуальной частицы.

Принцип соответствия квантового (6) и классического (5) решений здесь выполняется, поскольку при $h \rightarrow 0$ и замене в (6) $h = E dt$ с последующим интегрированием этой функции по времени в пределах от $t=0$ до $t=\infty$, приходим к классическому решению (5).

Соотношение (6) может быть представлено с использованием параметров комптоновской волны, если положить в последнем

$$\chi = \frac{\lambda^2}{4\pi T} \text{ и } \lambda = \frac{c}{\nu}.$$

Тогда приходим к соотношению

$$\varphi(r, t) = -\frac{Gm}{\lambda(\nu t)^{3/2}} \exp\left(-\frac{\pi r^2}{\lambda^2 \nu t}\right). \quad (8)$$

В соотношениях (6) и (8) предполагается, что источник гравитационного поля предельно сосредоточен как в пространстве, так и во времени. Однако, если иметь в виду, что виртуальная частица, возникшая в облаке нуклона, все-таки ограничена некоторым пространством, то очевидно, что промежуток времени t не может принимать значения меньше, чем планковский элементарный временной интервал

$$t_o = \sqrt{\frac{G\hbar}{C^5}}, \text{ где } \hbar = \frac{h}{2\pi}.$$

Поэтому более общее решение для гравитационного поля виртуальной частицы будет представлять выражение

$$\varphi(r, t) = -\frac{Gm}{\lambda[\nu(t+t_o)]^{3/2}} \exp\left[-\frac{\pi r^2}{\lambda^2 \nu(t+t_o)}\right]. \quad (9)$$

Соотношение (9), таким образом, определяет гравитационное поле, вызванное виртуальной частицей, возникающее в момент времени $t=0$. Поскольку в этой формуле имеет место соотношение между пространственными и временными параметрами, то ограничение времени планковским значением предполагает также, что виртуальная частица ограничена в пространстве с нормально-сферическим распределением своей энергии [5].

Положив в (9) $t_o=0$, получим математическую модель с предельной сосредоточенностью энергии в пространстве, что соответствует мгновенному точечному источнику гравитационного поля.

В соответствии с соотношением (9) напряженность гравитационного поля виртуальной частицы

$$g(r, t) = \frac{2\pi G m r}{\lambda^3 [\nu(t+t_o)]^{5/2}} \exp\left[-\frac{\pi r^2}{\lambda^2 \nu(t+t_o)}\right]. \quad (10)$$

Из соотношения (10) следует, что при $r=0$ напряженность $g=0$; по мере увеличения расстояния от частицы напряженность резко возрастает до максимума при

$$r = \lambda \sqrt{\frac{(t_o+t)\nu}{2\pi}},$$

затем при дальнейшем удалении от источника поля напряженность g опять снижается.

Поскольку пространство нуклона формируется облаком виртуальных частиц, то весьма вероятно, что в ядре атома в пространстве одного из нуклонов с массой m_N может возник-

нута виртуальная частица, испущенная другим нуклоном, и наоборот. В этом случае сила притяжения между ними будет

$$F(r,t) = \frac{2\pi G r m m_N}{\lambda^3 [v(t+t_o)]^{5/2}} \exp\left[-\frac{\pi r^2}{\lambda^2 v(t_o+t)}\right]. \quad (11)$$

Соотношение (11) позволяет определить силу взаимодействия между частицами в области пространства с максимальной напряженностью. Положив в последнее

$$r = \lambda \sqrt{\frac{(t_o+t)v}{2\pi}} \quad \text{и} \quad \ell_o = ct_o,$$

при $t=0$ получим, что

$$F_{max} = \frac{G m m_N}{\ell_o^2} \sqrt{\frac{2\pi}{e}}. \quad (12)$$

Вычисления по формуле (12) показывают, что при массе виртуального пиона $m=0,25 \cdot 10^{-27}$ кг и массе протона $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг сила притяжения между ними равна $1,6 \cdot 10^5$ Н, что соответствует порядку сил межнуклонного (сильного) взаимодействия.

Закключение

Поглощение энергии источником гравитационного поля из физического вакуума вызывает потоки энергии в пространстве. Это вытекает непосредственно из теории тяготения Ньютона. Так, из соотношения (5) следует, что потенциальная энергия частицы с массой M , находящейся на расстоянии r от источника поля с массой m , будет составлять

$$E = -G \frac{mM}{r}. \quad (13)$$

Поскольку уровень потенциальной энергии в гравитационном поле не имеет физического смысла, то обычно вычисляют величину δE , представляющую собой энергию, которую необходимо затратить, чтобы переместить частицу с массой M из положения r_1 от источника поля в положение r_2 . В этом случае

$$\delta E = G m M \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (14)$$

является работой, совершаемой внешней силой против гравитационной силы. Если же $\delta E < 0$ то эта работа совершается самой гравитационной силой, т.е. потоком энергии, поскольку любой энергии может быть приписана (по ОТО) не только инертная, но и тяжелая масса. Следовательно, поток энергии реально материализует пространство в направлении вектора напряженности гравитационного поля. В этом направлении поток энергии или, что то же, поток материальной субстанции своим движением увлекает и принуждает двигаться все, что попадает в этот поток – как материальные объекты, так и различные энергетические поля.

Помимо вектора напряженности гравитационного поля, в направлении которого материализуется пространство, гравитационный поток материальной субстанции обладает и другим исключительным свойством: он увлекает своим потоком и приводит в движение материальные объекты, сообщая им тотчас же свои параметры движения (скорость и ускорение) независимо от массы.

Безынерционность гравитационного взаимодействия достаточно логично объясняет гипотеза о гравитационном потоке материальной субстанции. Поскольку градиент потенциальной энергии в гравитационном поле не может быть экранирован, то он имеет место в любой области вещества. Градиент потенциальной энергии пронизывает структуру вещества, все составляющие его частицы и поля.

Поэтому вызванный градиентом потенциальной энергии гравитационный поток материальной субстанции увлекает своим движением каждую в отдельности элементарную частицу материального тела и таким образом захватывает своим потоком все тело как монолитное целое. Очевидно, что только при таком характере взаимодействия гравитационного потока с физическим объектом может иметь место безынерционность процесса.

Безынерционность гравитационного взаимодействия обосновывал Кант в своем философском построении понятия материи из сил притяжения и отталкивания. В этом теоретическом исследовании [6] силу притяжения Кант определял как *пронизывающую*, благодаря которой одна материя может непосредственно действовать на части другой и за поверхностью соприкосновения. Силу же отталкивания он определял как поверхностную силу, посредством которой материи могут действовать друг на друга лишь в их общей поверхности соприкосновения.

Гипотеза о гравитационном потоке материальной субстанции объясняет фундаментальное философское положение: *единство мира состоит в его материальности*. Каждый из составляющих Вселенную конечных материальных объектов как источники тяготения создают неограниченное пространство с гравитационными потоками материальной субстанции и таким образом образуют целостный мир с движущейся непрерывно и во всех направлениях материей.

Такая Вселенная совмещает в себе конечное и бесконечное. Конечным в этом мире является вещество как тяжелая материя, а бесконечным – физические процессы, связанные с гравитационными потоками материальной субстанции.

Все процессы в физическом мире связаны с преобразованием форм движения материи. Это выражается в переходе одного вида энергии в качественно другой вид. При этом на любом уровне превращения энергии взаимодействие материи всегда происходит в форме притяжения-отталкивания, в форме единства и неуничтожимости противоположных процессов и в их неразрывности.

Научное познание физических процессов по Гегелю – это познание логического положения о том, что отрицательное – равным образом и положительное, что противоречащее себе не переходит в нуль, в абстрактное ничто, а по существу лишь переходит в отрицание своего особенного содержания. Такое понимание процесса более содержательно, поскольку оно обогатилось его отрицанием или противоположностью; оно, стало быть, содержит предыдущее понятие, но содержит больше, чем только его, оно есть единство его и его противоположности [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Борн М. Атомная физика / М. Борн; пер. с англ. М.: Мир, 1965. 483 с.
2. Карслоу Г. Теплопроводность твердых тел / Г. Карслоу, Д. Егер; пер. с англ. М.: Наука, 1964. 487 с.
3. Паули В. Теория относительности / В. Паули; пер. с нем. М.: Наука, 1963. 336 с.
4. Фраунфельдер Г. Субатомная физика / Г. Фраунфельдер, Э. Хенли; пер. с англ. М.: Мир, 1979. 736 с.
5. Барац Я.И. Теория физических процессов / Я.И. Барац. Саратов: СГТУ, 2003. 122 с.
6. Кант И. Математические начала естествознания / И. Кант; пер. с нем. М.: Мысль, 1966. 384 с.
7. Гегель Г. Энциклопедия философских наук. Т. 1. Наука логики / Г. Гегель. М.: Мысль, 1974. 450 с.

Барац Яков Ильич –

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
«Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки»
Энгельсского технологического института
Саратовского государственного технического университета

В.П. Глазков, С.К. Дауров

ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ КИНЕМАТИКИ В АППАРАТЕ КВАТЕРНИОНОВ

Рассматриваются особенности решения основных задач кинематики манипуляторов при использовании нетрадиционных кинематических параметров – кватернионов и их дуальных аналогов (бикватернионов). Предложен метод ускоренного умножения кватернионов, позволяющий снизить вычислительные затраты в 5-6 раз. Проведён сравнительный анализ эффективности предложенного метода решения обратной задачи кинематики и метода, использующего матрицы однородных координат.

V.P. Glazkov, S.K. Daurov

FEATURES OF THE DECISION OF SOME PROBLEMS OF KINEMATICS

Features of the decision of the primary goals of kinematics of manipulators are considered at use of nonconventional kinematic parameters – quaternion and their dual analogues (biquaternion). The method of the accelerated multiplication quaternion is assumed, allowing to lower computing expenses in 5-6 times. The comparative analysis of efficiency of the offered method of the decision of a return problem of kinematics is lead to comparison with a method, using matrixes of homogeneous coordinates.

Прямая задача

Приведем некоторые сведения решения прямой задачи манипулятора с использованием аппарата бикватернионов. Кинематическое звено многозвенного механизма соединяет два смежных цилиндрических шарнира, с каждым из которых связана своя система координат. При этом кинематическое звено характеризуется дуальным углом B_i конструктивных параметров и дуальным углом Q_i обобщенной координаты.

$$B_i = \beta_i + \epsilon \beta_i^0, \quad Q_i = q_i + \epsilon q_i^0, \quad (1)$$

где β_i , β_i^0 и q_i^0 – некоторые постоянные параметры i -го звена; q_i – обобщенная координата i -го звена; ϵ – символ Клиффорда.

Бикватернионы, соответствующие дуальным углам из выражения (1), будут иметь вид:

$$\Lambda_i^B = \Lambda_{i0}^B + i_1 \Lambda_{i1}^B, \quad \Lambda_i^Q = \Lambda_{i0}^Q + \Lambda_{i3}^Q,$$

а соответствующие бикватернионные матрицы:

$$M_i^B = \begin{vmatrix} \Lambda_{i0}^B & -\Lambda_{i1}^B & 0 & 0 \\ \Lambda_{i1}^B & \Lambda_{i0}^B & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \Lambda_{i0}^B & -\Lambda_{i1}^B \\ 0 & 0 & \Lambda_{i1}^B & \Lambda_{i0}^B \end{vmatrix}, \quad M_i^Q = \begin{vmatrix} \Lambda_{i0}^Q & 0 & 0 & -\Lambda_{i3}^Q \\ 0 & \Lambda_{i0}^Q & -\Lambda_{i3}^Q & 0 \\ 0 & \Lambda_{i3}^Q & \Lambda_{i0}^Q & 0 \\ \Lambda_{i3}^Q & 0 & 0 & \Lambda_{i0}^Q \end{vmatrix}.$$

Матрицы M_i^B и M_i^Q могут быть представлены в ином виде:

$$M_i^B = m_i^B [E + \in m_i^B (r_y) / 2], \quad M_i^Q = m_i^Q [E + \in m_i^Q (r_y) / 2],$$

где m_i^B и m_i^Q – матрицы вещественных членов бикватернионов Λ_i^B и Λ_i^Q :

$$m_i^B = \begin{vmatrix} C_{\beta i} & -S_{\beta i} & 0 & 0 \\ S_{\beta i} & C_{\beta i} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_{\beta i} & -S_{\beta i} \\ 0 & 0 & S_{\beta i} & C_{\beta i} \end{vmatrix}, \quad m_i^Q = \begin{vmatrix} C_{q i} & 0 & 0 & -S_{q i} \\ 0 & C_{q i} & -S_{q i} & 0 \\ 0 & S_{q i} & C_{q i} & 0 \\ S_{q i} & 0 & 0 & C_{q i} \end{vmatrix},$$

в которых $S_{\beta i} \equiv \sin(\beta_i)$, $C_{\beta i} \equiv \cos(\beta_i)$, $S_{q i} \equiv \sin(q_i)$, $C_{q i} \equiv \cos(q_i)$.

В целом, i -е кинематическое звено описывается бикватернионной матрицей вида:

$$M_i = M_i^B M_i^Q = m_i [E + \in m_i (r_y) / 2],$$

где $m_i = m_i^B \cdot m_i^Q$ характеризует ориентацию i -го кинематического звена относительно $(i-1)$ -й системы координат, а

$$m_i(r_y) = q_i^o M_3 + m_i^o(\beta_i^o M_1) m_i^{oT}$$

определяет радиус-вектор i -го кинематического звена. Матрицы M_1 и M_3 :

$$M_1 = \begin{vmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}, \quad M_3 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

предназначены для указания осей координат, по которым осуществляется смещение на величины β_i^o и q_i^o .

Введем традиционные для многозвенных механизмов обозначения:

$M_i \Rightarrow^{i-1} M_i$, $m_i \Rightarrow^{i-1} m_i$, $m_i(r_y) \Rightarrow^{i-1} r_i$ и определим результирующую бикватернионную матрицу:

$${}^0 M_k = {}^0 M_1 \cdot {}^1 M_2 \cdot \dots \cdot {}^{i-1} M_i \cdot \dots \cdot {}^{k-1} M_k,$$

которая распадается на два итерационных алгоритма:

$${}^i m_k = {}^i m_{i+1} \cdot {}^{i+1} m_k, \tag{2}$$

$${}^i r_k = {}^i r_{i+1} + {}^i m_{i+1} \cdot {}^{i+1} r_k \cdot ({}^i m_{i+1})^T, \tag{3}$$

$$k = \text{const}, \quad i = k-1, k-2, \dots, 1, 0.$$

Ускоренное умножение кватернионов

Анализ выражений (2), (3) для решения прямой задачи показывает, что основной операцией является умножение кватернионов и, следовательно, разработка метода ускоренного перемножения кватернионов позволила бы существенно увеличить быстродействие решения многих задач кинематики.

Кватернион представляет собой гиперкомплексное число вида:

$$\Lambda = \lambda_0 + i_1 \lambda_1 + i_2 \lambda_2 + i_3 \lambda_3, \tag{4}$$

где $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – действительные числа; i_1, i_2, i_3 – орты гиперкомплексного пространства.

Произведение кватернионов можно представить в виде произведения кватернионных матриц M_λ и M_μ [1]:

$$M_\lambda \circ M_\mu = \begin{vmatrix} \lambda_0 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & -\lambda_3 \\ \lambda_1 & \lambda_0 & -\lambda_3 & \lambda_2 \\ \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_0 & -\lambda_1 \\ \lambda_3 & -\lambda_2 & \lambda_1 & \lambda_0 \end{vmatrix} \circ \begin{vmatrix} \mu_0 & -\mu_1 & -\mu_2 & -\mu_3 \\ \mu_1 & \mu_0 & -\mu_3 & \mu_2 \\ \mu_2 & \mu_3 & \mu_0 & -\mu_1 \\ \mu_3 & -\mu_2 & \mu_1 & \mu_0 \end{vmatrix}. \tag{5}$$

Операционный состав данного произведения – 64 операции умножения и 48 операций сложения, что соответствует произведению любых двух матриц размером (4×4). Однако анализ кватернионной матрицы показывает: матрица составлена из компонентов кватерниона с различными знаками, имеет определенную (кососимметричную) структуру, а элементы первого столбца точно соответствуют компонентам кватерниона. Всё это позволяет заменить операцию перемножения двух матриц на операцию умножения матрицы (4×4) на вектор (4×1), требующую 16 операций умножения и 12 – сложений. В результате получим только первый столбец результирующей кватернионной матрицы Mr . Используя свойства кососимметричных матриц, остальные элементы матрицы Mr восстанавливаются. Предложенный (основной) метод умножения кватернионных матриц увеличивает быстродействие выполнения этой операции в 4 раза.

При выполнении основного метода умножения кватернионных матриц можно предложить еще один (дополнительный) метод снижения операционных затрат [2].

Детально распишем произведение матрицы M_λ на первый столбец матрицы M_μ :

$$\begin{vmatrix} \lambda_0 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & -\lambda_3 \\ \lambda_1 & \lambda_0 & -\lambda_3 & \lambda_2 \\ \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_0 & -\lambda_1 \\ \lambda_3 & -\lambda_2 & \lambda_1 & \lambda_0 \end{vmatrix} \circ \begin{vmatrix} \mu_0 \\ \mu_1 \\ \mu_2 \\ \mu_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \lambda_0\mu_0 - \lambda_1\mu_1 - \lambda_2\mu_2 - \lambda_3\mu_3 \\ \lambda_1\mu_0 + \lambda_0\mu_1 - \lambda_3\mu_2 + \lambda_2\mu_3 \\ \lambda_2\mu_0 + \lambda_3\mu_1 + \lambda_0\mu_2 - \lambda_1\mu_3 \\ \lambda_3\mu_0 - \lambda_2\mu_1 + \lambda_1\mu_2 + \lambda_0\mu_3 \end{vmatrix}. \quad (6)$$

Анализируя правую часть выражения (6), можно заметить, что все частичные произведения $\lambda_i\mu_j$ образуют полный набор частичных произведений при умножении двух четырехчленов (см. рис. 1, а). С другой стороны, левая часть выражения (6) представляет собой компоненты результирующего кватерниона R :

$$R = \Lambda \circ M = \begin{vmatrix} r_0^0 - r_0^1 - r_0^2 - r_0^3 \\ r_1^0 + r_1^1 - r_1^2 + r_1^3 \\ r_2^0 + r_2^1 + r_2^2 - r_2^3 \\ r_3^0 - r_3^1 + r_3^2 + r_3^3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} r_0 \\ r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{vmatrix}$$

	μ_0	μ_1	μ_2	μ_3
λ_0	$\lambda_0\mu_0$	$\lambda_0\mu_1$	$\lambda_0\mu_2$	$\lambda_0\mu_3$
λ_1	$\lambda_1\mu_0$	$\lambda_1\mu_1$	$\lambda_1\mu_2$	$\lambda_1\mu_3$
λ_2	$\lambda_2\mu_0$	$\lambda_2\mu_1$	$\lambda_2\mu_2$	$\lambda_2\mu_3$
λ_3	$\lambda_3\mu_0$	$\lambda_3\mu_1$	$\lambda_3\mu_2$	$\lambda_3\mu_3$

а)

	μ_0	μ_1	μ_2	μ_3
λ_0	r_0^0	r_1^1	r_2^2	r_3^3
λ_1	r_1^0	$-r_0^1$	r_3^2	$-r_2^3$
λ_2	r_2^0	$-r_3^1$	$-r_0^2$	r_1^3
λ_3	r_3^0	r_2^1	$-r_1^2$	$-r_0^3$

б)

Рис. 1. Формальное представление: частичных произведений многочленов (а), составляющих компонентов R (б)

Каждая компонента кватерниона R определяется как алгебраическая сумма соответствующих частичных произведений, например:

$$r_0 = \lambda_0\mu_0 - \lambda_1\mu_1 - \lambda_2\mu_2 - \lambda_3\mu_3 = r_0^0 - r_0^1 - r_0^2 - r_0^3.$$

Анализ таблицы формального распределения составляющих компонентов кватерниона R с учетом знаков (рис. 1, б) позволяет заметить, что, если сложить две соседние компоненты в строках $\lambda_0+\lambda_1$ и в столбцах $\mu_0+\mu_1$, а затем выполнить умножение этих сумм, то получим:

$$(\lambda_0 + \lambda_1) (\mu_0 + \mu_1) = r_0^0 + r_0^1 + r_1^0 + r_1^1,$$

откуда при известных значениях r_0^0 и r_0^1 определим:

$$r_1^0 + r_1^1 = (\lambda_0 + \lambda_1) (\mu_0 + \mu_1) - r_0^0 + r_0^1.$$

Для определения алгебраической суммы оставшихся двух составляющих (см. рис. 1, б) – $r_1^2 + r_1^3$ необходимо использовать суммы λ_2, λ_3 и μ_2, μ_3 . Так как составляющая r_1^2 должна быть с отрицательным знаком, то это можно обеспечить, взяв с отрицательным знаком компоненту λ_3 , либо компоненту μ_2 :

$$(\lambda_2 - \lambda_3) (\mu_2 + \mu_3) = r_0^2 - r_0^3 - r_1^2 + r_1^3 ,$$

откуда определим:

$$-r_1^2 + r_1^3 = (\lambda_2 - \lambda_3) (\mu_2 + \mu_3) - r_0^2 + r_0^3 .$$

Окончательное значение r_1 будет равно:

$$r_1 = r_1^0 + r_1^1 - r_1^2 + r_1^3 = (\lambda_0 + \lambda_1) (\mu_0 + \mu_1) + (\lambda_2 - \lambda_3) (\mu_2 + \mu_3) - r_0^0 - r_0^1 - r_0^2 + r_0^3 .$$

Для вычисления r_1 потребовались 2 операции умножения и 9 операций сложения вместо 4 операций умножения и 3 операций сложения.

Из порядка определения компоненты r_1 (рис. 1, б) можно сделать вывод о том, что составляющие определяемой компоненты должны быть в непосредственной близости от диагонали, на которой находятся известные составляющие компоненты r_0 . Аналогично определим остальные компоненты результирующего кватерниона [2].

На основании полученных выражений сформируем алгоритм умножения кватернионов.

1. Определим составляющие r_0 :

$$r_0^0 = \lambda_0 \mu_0, \quad r_0^1 = \lambda_1 \mu_1, \quad r_0^2 = \lambda_2 \mu_2, \quad r_0^3 = \lambda_3 \mu_3 .$$

2. Значения r_1, r_2 и r_3 определяются соответственно:

$$r_1 = (\lambda_0 + \lambda_1) (\mu_0 + \mu_1) + (\lambda_2 - \lambda_3) (\mu_2 + \mu_3) - r_0^0 - r_0^1 - r_0^2 + r_0^3 .$$

$$r_2 = (\lambda_0 + \lambda_2) (\mu_0 + \mu_2) + (\lambda_3 - \lambda_1) (\mu_3 + \mu_1) - r_0^0 + r_0^1 - r_0^2 - r_0^3 .$$

$$r_3 = (\lambda_1 - \lambda_2) (\mu_1 + \mu_1) + (\lambda_3 + \lambda_0) (\mu_3 + \mu_0) - r_0^0 - r_0^1 + r_0^2 - r_0^3 .$$

3. Суммируя составляющие r_0^i с определенными знаками, находим:

$$r_0 = r_0^0 - r_0^1 - r_0^2 - r_0^3 .$$

Операционный анализ показывает, что вспомогательный алгоритм для своей реализации требует 10 операций умножения и 30 операций сложения, то есть быстродействие возрастает более чем на треть.

Окончательно, используя основной и вспомогательный методы сокращения вычислительных затрат, быстродействие выполнения операции умножения кватернионов возрастает в 5-6 раз. Полученный результат нашел свое подтверждение при выполнении вычислительного эксперимента.

Формирование исходных данных для решения обратной задачи

Исходными данными для решения обратной задачи манипулятора являются пространственные координаты схвата и его ориентация. Можно утверждать, что задание координат схвата практически не зависит от вида математического аппарата, в котором решается обратная задача. Этого нельзя сказать в отношении ориентации. Например, в аппарате однородных координат ориентация схвата задается углами Эйлера φ, θ, ψ [1], с помощью которых определяется матрица ориентации размером $[3 \times 3]$. Зная координаты схвата и матрицу его ориентации, легко сформировать однородную матрицу манипулятора, которая и является основой для решения обратной задачи.

В аппарате кватернионов ориентация схвата задается в виде кватерниона, представляющего собой совокупность трех направляющих косинусов и угла поворота. Направляющие косинусы определяют пространственное положение оси, вокруг которой осуществляется поворот, в результате чего реализуется преобразование из системы координат схвата в базовую систему координат манипулятора.

Необходимо определить порядок формирования кватерниона ориентации. Известно, что между матрицей ориентации и кватернионом существует однозначное соответствие, поэтому можно предложить процедуру, в которой вначале определяется матрица ориентации, а затем по элементам этой матрицы вычисляются компоненты кватерниона. Практическое применение данной процедуры требует больших вычислительных затрат, во-первых, при задании углов Эйлера и определении матрицы ориентации и, во-вторых, при использовании довольно громоздких формул пересчета элементов матрицы в компоненты кватерниона. Приведем здесь некоторые положения разработанного метода непосредственного определения кватерниона ориентации [3].

Связь между вектором в системе координат схвата V_6 и вектором V_0 в базовой системе координат определяется выражением:

$$V_0 = \Lambda \cdot V_6 \cdot \Lambda^T, \quad (7)$$

где V_6, V_0 – известные координаты одного и того же вектора в системах координат схвата и стойки манипулятора; Λ – кватернион поворота в полной и сокращенной форме:

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_0 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & -\lambda_3 \\ \lambda_1 & \lambda_0 & -\lambda_3 & \lambda_2 \\ \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_0 & -\lambda_1 \\ \lambda_3 & -\lambda_2 & \lambda_2 & \lambda_0 \end{pmatrix} \text{ или } \Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_0 \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Формально, используя выражение (7), можно было бы определить компоненты кватерниона Λ , однако система алгебраических уравнений, полученных из выражения (7), оказывается неполной, то есть недостаточной для решения задачи. Полную систему алгебраических уравнений получим, если используем выражение (7) для тройки ортогональных векторов, заданных в системе координат схвата $(X, Y, Z)_6$:

$$V_0^x = \Lambda \cdot V_6^x \cdot \Lambda^T, \quad V_0^y = \Lambda \cdot V_6^y \cdot \Lambda^T, \quad V_0^z = \Lambda \cdot V_6^z \cdot \Lambda^T, \quad (9)$$

где V_6^x, V_6^y, V_6^z – тройка ортогональных векторов, лежащих на соответствующих осях OX_6, OY_6, OZ_6 ; V_0^x, V_0^y, V_0^z – положение этих же векторов в базовой системе координат.

Так как мы используем системы координат только одного типа (правые), то система уравнений (9) является избыточной и нам достаточно использовать, например, первое и третье уравнения. Представим их в следующем виде:

$$V_0^z \cdot \Lambda = \Lambda \cdot V_6^z, \quad V_0^x \cdot \Lambda = \Lambda \cdot V_6^x, \quad (10)$$

где V_6^x и V_6^z соответственно равны:

$$V_6^z = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ z_6 \end{pmatrix}, \quad V_6^x = \begin{pmatrix} 0 \\ x_6 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix},$$

а значения координат этих же векторов V_0^x, V_0^z в базовой СК определяются либо аналитически либо из сборочного чертежа объекта сборки. Для корректного решения задачи необходимо проверить ортогональность векторов V_0^x, V_0^z , для чего составим скалярное произведение векторов и проверим его на равенство нулю.

Подставляя в приведенные выше выражения (10) известные значения векторов, найдем правые и левые части. Для выражения (10) эти части будут соответственно равны:

$$\mathbf{V}_0^z \cdot \Lambda = \begin{vmatrix} 0 & -x_0^z & -y_0^z & -z_0^z \\ x_0^z & 0 & -z_0^z & y_0^z \\ y_0^z & z_0^z & 0 & -x_0^z \\ z_0^z & -y_0^z & x_0^z & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \lambda_0^{\circ} \\ \lambda_1^{\circ} \\ \lambda_2^{\circ} \\ \lambda_3^{\circ} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -x_0^z \lambda_1 - y_0^z \lambda_2 - z_0^z \lambda_3 \\ x_0^z \lambda_0 - z_0^z \lambda_2 + y_0^z \lambda_3 \\ y_0^z \lambda_0 + z_0^z \lambda_1 - x_0^z \lambda_3 \\ z_0^z \lambda_0 - y_0^z \lambda_1 + x_0^z \lambda_2 \end{vmatrix}, \quad (11)$$

$$\Lambda \cdot \mathbf{V}_6^z = \begin{vmatrix} \lambda_0^{\circ} \\ \lambda_1^{\circ} \\ \lambda_2^{\circ} \\ \lambda_3^{\circ} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0^{\circ} \\ 0^{\circ} \\ 0^{\circ} \\ z_6^{\circ} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\lambda_3 z_6 \\ \lambda_2 z_6 \\ -\lambda_2 z_6 \\ \lambda_0 z_6 \end{vmatrix}. \quad (12)$$

Из равенства приведенных выражений сформируем систему алгебраических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} -x_0^z \lambda_1 - y_0^z \lambda_2 - z_0^z \lambda_3 &= -\lambda_3 z_6 \\ x_0^z \lambda_0 - z_0^z \lambda_2 + y_0^z \lambda_3 &= \lambda_2 z_6 \\ y_0^z \lambda_0 + z_0^z \lambda_1 - x_0^z \lambda_3 &= -\lambda_1 z_6 \\ z_0^z \lambda_0 - y_0^z \lambda_1 + x_0^z \lambda_2 &= \lambda_0 z_6 \end{aligned} \right\},$$

которые могут быть преобразованы к следующему виду:

$$\left. \begin{aligned} -x_0^z \lambda_1 - y_0^z \lambda_2 - \lambda_3 (z_0^z - z_6) &= 0 \\ x_0^z \lambda_0 + y_0^z \lambda_3 - \lambda_2 (z_0^z + z_6) &= 0 \\ y_0^z \lambda_0 - x_0^z \lambda_3 + \lambda_1 (z_0^z + z_6) &= 0 \\ -y_0^z \lambda_1 + x_0^z \lambda_2 + \lambda_0 (z_0^z - z_6) &= 0 \end{aligned} \right\},$$

используя первое и четвертое уравнения системы, выразим компоненты λ_3 и λ_0 :

$$\lambda_3 = -\frac{\lambda_1 x_0^z + \lambda_2 y_0^z}{z_0^z - z_6}, \quad \lambda_0 = \frac{\lambda_1 y_0^z - \lambda_2 x_0^z}{z_0^z - z_6}. \quad (13)$$

Возвращаясь ко второму уравнению из выражения (10), повторим для него ту же процедуру. Правая и левая части выражения (10) будут соответственно равны:

$$\mathbf{V}_0^x \cdot \Lambda = \begin{vmatrix} 0^{\circ} \\ x_0^x \\ y_0^x \\ z_0^x \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \lambda_0^{\circ} \\ \lambda_1^{\circ} \\ \lambda_2^{\circ} \\ \lambda_3^{\circ} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\lambda_1 x_0^x - \lambda_2 y_0^x - \lambda_3 z_0^x \\ \lambda_0 x_0^x - \lambda_2 z_0^x + \lambda_3 y_0^x \\ -\lambda_3 x_0^x + \lambda_0 y_0^x + \lambda_1 z_0^x \\ \lambda_2 x_0^x - \lambda_1 y_0^x + \lambda_0 z_0^x \end{vmatrix}, \quad \Lambda \cdot \mathbf{V}_6^x = \begin{vmatrix} \lambda_0^{\circ} \\ \lambda_1^{\circ} \\ \lambda_2^{\circ} \\ \lambda_3^{\circ} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0^{\circ} \\ x_6^{\circ} \\ 0^{\circ} \\ 0^{\circ} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\lambda_1 x_6 \\ \lambda_0 x_6 \\ \lambda_3 x_6 \\ -\lambda_2 x_6 \end{vmatrix}.$$

Из равенства последних выражений сформируем систему алгебраических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} -\lambda_1 (x_0^x - x_6) - \lambda_2 y_0^x - \lambda_3 z_0^x &= 0 \\ \lambda_0 (x_0^x - x_6) + \lambda_3 y_0^x - \lambda_2 z_0^x &= 0 \\ -\lambda_3 (x_0^x + x_6) + \lambda_0 y_0^x + \lambda_1 z_0^x &= 0 \\ \lambda_2 (x_0^x + x_6) - \lambda_1 y_0^x + \lambda_0 z_0^x &= 0 \end{aligned} \right\},$$

из которых, используя первое и четвертое уравнения системы, выразим компоненты λ_3 и λ_0 :

$$\lambda_3 = \frac{-\lambda_1 (x_0^x - x_6) - \lambda_2 y_0^x}{z_0^x}, \quad \lambda_0 = \frac{\lambda_1 y_0^x - \lambda_2 (x_0^x + x_6)}{z_0^x}. \quad (14)$$

Приравняем правые части значений λ_3 из выражений (13) и (14):

$$-\frac{\lambda_1 x_0^z + \lambda_2 y_0^z}{z_0^z - z_6} = \frac{-\lambda_1 (x_0^x + x_6) - \lambda_2 y_0^x}{z_0^x}$$

и после ряда преобразований найдем отношение:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{y_0^z z_0^x - (z_0^z - z_6) y_0^x}{(z_0^z - z_6)(x_0^x - x_6) - x_0^z z_0^x} = C.$$

Используя одно из свойств кватерниона, можно задать, например: $\lambda_1=C$, а $\lambda_2=1$, тогда из выражений (13) определяются остальные компоненты кватерниона:

$$\lambda_0 = \frac{Cy_0^z - x_0^z}{z_0^z - z_6}, \quad \lambda_3 = -\frac{Cx_0^z + y_0^z}{z_0^z - z_6}.$$

В заключение выполним нормирование кватерниона, для чего разделим все его компоненты на величину $\sqrt{\lambda_0^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2}$.

Исходными данными для решения обратной задачи являются:

– матрица радиуса-вектора схвата в полной и сокращенной форме:

$$V_{CX} = \begin{vmatrix} 0 & -X_{CX} & -Y_{CX} & -Z_{CX} \\ X_{CX} & 0 & -Z_{CX} & Y_{CX} \\ Y_{CX} & Z_{CX} & 0 & -X_{CX} \\ Z_{CX} & -Y_{CX} & X_{CX} & 0 \end{vmatrix}, \quad V_{CX} = \begin{vmatrix} 0 \\ X_{CX} \\ Y_{CX} \\ Z_{CX} \end{vmatrix};$$

– кватернионная матрица ориентации схвата в полной и сокращенной форме:

$$M_\lambda = \begin{vmatrix} \lambda_0 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & -\lambda_3 \\ \lambda_1 & \lambda_0 & -\lambda_3 & \lambda_2 \\ \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_0 & \lambda_1 \\ \lambda_3 & -\lambda_2 & \lambda_1 & \lambda_0 \end{vmatrix}, \quad M_\lambda = \begin{vmatrix} \lambda_0 \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{vmatrix}.$$

Для удобства изложения и решения обратной задачи необходимо иметь в виду таблицу конструктивных параметров манипулятора (см. таблицу).

Особенностью данного манипулятора является совпадение начал трех последних систем координат СК₄, СК₅ и СК₆. С другой стороны, заданные координаты схвата в базовой системе СК₀ являются координатами вектора с компонентами $(0, 0, q_6^0)$, находящегося в системе координат схвата СК₆. Если теперь найти координаты начала системы СК₆ в базовой системе, то мы тем самым перейдем к трехзвенному манипулятору.

Сочленение i	$q_{ci}\beta_i^0$	${}^{i-1}A_i$	q_i^0 (мм)	β_i^0 (мм)	Диапазон
1	$90^\circ \quad q_1$	-90°	0	0	$-160^\circ \quad -160^\circ$
2	$0 \quad q_2$	0°	149,09	431,8	$-225^\circ \quad -45^\circ$
3	$90^\circ \quad q_3$	γ_2	0	-20,32	$-45^\circ \quad -225^\circ$
4	$0 \quad q_4$	$\lambda_0 = \frac{Cy_0^z - x_0^z}{z_0^z - z_6}$	433,07	0	$-110^\circ \quad -170^\circ$
5	$0 \quad q_5$	90°	0	0	$-100^\circ \quad -100^\circ$
6	$0 \quad q_6$	0°	56,25	0	$-266^\circ \quad -266^\circ$

Для реализации этого зададим в кватернионной форме вектор вида:

$$V_6 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -q_6^0 \end{vmatrix}$$

и выполним операцию кватернионного преобразования:

$$V_0^6 = M_\lambda \circ V_6 \circ M_\lambda^T,$$

в результате получим координаты заданного вектора V_0^6 в базовой СК. Сложив координаты этого вектора с координатами схвата:

$$V_{CX} + V_0^6 = V_6^{CK},$$

получим координаты начала системы CK_6 . Используя упомянутую особенность манипулятора, можно записать:

$$V_6^{CK} = V_5^{CK} = V_4^{CK} = \begin{bmatrix} 0 \\ X_4 \\ Y_4 \\ Z_4 \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Последовательно используя выражения (2) и (3), определим радиус-вектор трехзвенового механизма:

$${}^0r_4 = {}^0r_1 + m_1^0 m_1^B ({}^1r_4) (m_1^0 m_1^B)^T, \quad (16)$$

$${}^1r_4 = {}^1r_2 + m_2^0 m_2^B ({}^2r_4) (m_2^0 m_2^B)^T, \quad (17)$$

$${}^2r_4 = {}^2r_3 + m_3^0 m_3^B ({}^3r_4) (m_3^0 m_3^B)^T, \quad (18)$$

$${}^3r_4 = q_4^0 \cdot M_3 + m_4^0 (\beta_4^0 \cdot M_1) (m_4^0)^T. \quad (19)$$

Начиная с последнего выражения, будем последовательно определять значения радиусов-векторов 3r_4 , 2r_4 , 1r_4 и 0r_4 [5]. В процессе определения радиусов-векторов будут определены следующие углы:

$$q_1 = \arctg\left(\frac{\sin(q_1)}{\cos(q_1)}\right) = \arctg\left(\frac{q_2^0 Y_4 + X_4 \sqrt{X_4^2 + Y_4^2 - (q_2^0)^2}}{q_2^0 X_4 - Y_4 \sqrt{X_4^2 + Y_4^2 - (q_2^0)^2}}\right), \quad (20)$$

где

$$\sin(q_1) = \frac{q_2^0 Y_4 \pm X_4 \sqrt{X_4^2 + Y_4^2 - (q_2^0)^2}}{X_4^2 + Y_4^2},$$

$$\cos(q_1) = \frac{q_2^0 X_4 \pm Y_4 \sqrt{X_4^2 + Y_4^2 - (q_2^0)^2}}{X_4^2 + Y_4^2},$$

$$q_2 = \arctg\left(\frac{A_q A_y \pm A_x \sqrt{A_x^2 + A_y^2 - A_q^2}}{A_q A_x \pm A_y \sqrt{A_x^2 + A_y^2 - A_q^2}}\right), \quad (21)$$

где

$$A_x = 2K_{xy} \beta_2^0,$$

$$A_y = 2K_z \beta_2^0,$$

$$A_q = K_{xy}^2 + K_z^2 + (\beta_2^0)^2 - (q_4^0)^2 - (\beta_3^0)^2,$$

$$K_{xy} = Y_4 C q_1 - X_4 S q_1,$$

$$K_z = -Z_4,$$

$$q_3 = \arctg\left(\frac{\beta_3^0}{q_4^0}\right) - \arctg\left(\frac{K_z C q_2 - K_{xy} S q_2}{K_{xy} C q_2 + K_z S q_2 - \beta_2^0}\right). \quad (22)$$

Переходим к определению следующей тройки обобщенных координат q_4 , q_5 и q_6 . Кватернионная матрица ориентации в развернутом виде:

$${}^0m_6 = {}^0m_1 \cdot {}^1m_2 \cdot {}^2m_3 \cdot {}^3m_4 \cdot {}^4m_5 \cdot {}^5m_6. \quad (23)$$

При известных углах q_1, q_2 и q_3 предыдущее выражение можно записать:

$${}^0m_6 = {}^0m_3 \cdot {}^3m_6,$$

откуда

$$({}^0m_3)^T \cdot {}^0m_6 = {}^3m_6. \quad (24)$$

Так как левая часть выражения известна, то для удобства дальнейших преобразований введем обозначение:

$$M_\mu = ({}^0m_3)^T \cdot {}^0m_6.$$

Теперь это выражение представим в виде:

$$M_\mu = {}^3m_6 = {}^3m_4 \cdot {}^4m_5 \cdot {}^5m_6. \quad (25)$$

Представим предыдущее выражение в развернутом виде, для этого необходимо определить кватернионные матрицы ${}^3m_4, {}^4m_5$ и 5m_6 . Используя общую форму записи кватернионной матрицы ${}^i m_{i+1}$ и конструктивные параметры манипулятора (см. таблицу) запишем для 3m_4 :

$${}^3m_4 = m_4^0 m_4^B = m_4^q m_4^\beta = \begin{vmatrix} C_{q_{4/2}} & S_{\beta_{4/2}} \\ 0 & S_{\beta_{4/2}} \\ 0 & 0 \\ S_{q_{4/2}} & 0 \end{vmatrix} \circ \begin{vmatrix} S_{\beta_{4/2}} \\ S_{\beta_{4/2}} \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix},$$

в результате при условии, что $\beta_4 = -90^\circ$ и, следовательно, $C_{\beta_{4/2}} = \sqrt{2}/2$, а $S_{\beta_{4/2}} = -\sqrt{2}/2$, приходим к:

$${}^3m_4 = \begin{vmatrix} C_{q_{4/2}} \cdot C_{45} \\ -C_{q_{4/2}} \cdot S_{45} \\ -S_{q_{4/2}} \cdot S_{45} \\ S_{q_{4/2}} \cdot C_{45} \end{vmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{vmatrix} C_{q_{4/2}} \\ -C_{q_{4/2}} \\ -S_{q_{4/2}} \\ S_{q_{4/2}} \end{vmatrix}.$$

Аналогичным образом найдем:

$${}^4m_5 = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{vmatrix} C_{q_{5/2}} \\ C_{q_{5/2}} \\ S_{q_{5/2}} \\ S_{q_{5/2}} \end{vmatrix}; \quad {}^5m_6 = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{vmatrix} C_{q_{6/2}} \\ 0 \\ 0 \\ S_{q_{6/2}} \end{vmatrix}.$$

Определим теперь в развернутом виде правую часть выражения (25):

$${}^3m_4 \cdot {}^4m_5 \cdot {}^5m_6 = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{vmatrix} C_{q_{4/2}} \\ -C_{q_{4/2}} \\ -S_{q_{4/2}} \\ S_{q_{4/2}} \end{vmatrix} \circ \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{vmatrix} C_{q_{5/2}} \\ C_{q_{5/2}} \\ S_{q_{5/2}} \\ S_{q_{5/2}} \end{vmatrix} \circ \begin{vmatrix} C_{q_{6/2}} \\ 0 \\ 0 \\ S_{q_{6/2}} \end{vmatrix}.$$

После перемножения матриц и некоторых преобразований получим:

$$M_\mu = {}^3m_6 = \begin{vmatrix} C_{q_{4/2}} C_{q_{5/2}} C_{q_{6/2}} - S_{q_{4/2}} C_{q_{5/2}} S_{q_{6/2}} \\ -S_{q_{4/2}} S_{q_{5/2}} C_{q_{6/2}} + C_{q_{4/2}} S_{q_{5/2}} S_{q_{6/2}} \\ C_{q_{4/2}} S_{q_{5/2}} C_{q_{6/2}} + S_{q_{4/2}} S_{q_{5/2}} S_{q_{6/2}} \\ S_{q_{4/2}} C_{q_{5/2}} C_{q_{6/2}} + C_{q_{4/2}} C_{q_{5/2}} S_{q_{6/2}} \end{vmatrix}.$$

Данное выражение может быть представлено в виде системы уравнений, которые с использованием тригонометрических формул сложения и вычитания могут быть существенно упрощены:

$$\begin{aligned}\mu_0 &= C_{q_5/2} (C_{q_4/2} C_{q_6/2} - S_{q_4/2} S_{q_6/2}) = C_{q_5/2} C_{(q_4+q_6)/2}, \\ \mu_1 &= S_{q_5/2} (C_{q_4/2} S_{q_6/2} - S_{q_4/2} C_{q_6/2}) = -S_{q_5/2} S_{(q_4-q_6)/2}, \\ \mu_2 &= S_{q_5/2} (C_{q_4/2} C_{q_6/2} + S_{q_4/2} S_{q_6/2}) = S_{q_5/2} C_{(q_4-q_6)/2}, \\ \mu_3 &= C_{q_5/2} (S_{q_4/2} C_{q_6/2} + C_{q_4/2} S_{q_6/2}) = C_{q_5/2} S_{(q_4+q_6)/2}.\end{aligned}\tag{26}$$

Разделим четвертое уравнение системы (26) на первое и получим:

$$q_4 + q_6 = 2 \cdot \arctg\left(\frac{\mu_3}{\mu_0}\right),\tag{27}$$

а используя второе и третье уравнения системы (26), находим:

$$q_4 - q_6 = 2 \cdot \arctg\left(-\frac{\mu_1}{\mu_2}\right).\tag{28}$$

При сложении выражений (27) и (28) определим угол q_4 :

$$q_4 = \arctg\left(\frac{\mu_3}{\mu_0}\right) + \arctg\left(-\frac{\mu_1}{\mu_2}\right).\tag{29}$$

Если из выражения (27) вычесть выражение (29), то определим угол q_6 :

$$q_6 = \arctg\left(\frac{\mu_3}{\mu_0}\right) - \arctg\left(-\frac{\mu_1}{\mu_2}\right).\tag{30}$$

Из первого и третьего уравнений системы (26) определим значения:

$$C_{q_5/2} = \frac{\mu_0}{C_{(q_4+q_6)/2}}, \quad S_{q_5/2} = \frac{\mu_2}{C_{(q_4-q_6)/2}}.$$

Составим отношение $S_{q_5/2} / C_{q_5/2}$ и определим обобщенную координату q_5 :

$$q_5 = 2 \cdot \arctg\left(\frac{\mu_2 C_{(q_4+q_6)/2}}{\mu_0 C_{(q_4-q_6)/2}}\right).\tag{31}$$

Таким образом, найдены все обобщенные координаты манипулятора, т.е. обратная задача о положениях решена.

Сравнительный анализ методов решения обратной задачи

Решение обратной задачи манипулятора как в аппарате однородных матриц, так и в аппарате кватернионов состоит из этапа формирования исходных данных (ориентация и координаты схвата) и этапа решения обратной задачи (определение обобщенных координат) манипулятора.

Проведем сравнительный анализ трудоемкости (вычислительной сложности) выполнения этих этапов в упомянутых математических аппаратах.

Задание пространственных координат схвата практически не зависит от вида математического аппарата, в котором решается обратная задача, чего нельзя сказать в отношении ориентации.

Например, в аппарате однородных матриц ориентация схвата задается углами Эйлера φ, θ, ψ [1], определение которых представляет собой довольно трудоемкую задачу как в реальном рабочем пространстве манипулятора, так и на графическом представлении этого пространства. Далее, по найденным углам ориентации определяется матрица ориентации размером $[3 \times 3]$, для чего потребуется вычислить 6 тригонометрических функций, выполнить 16 операций умножения и 7 операций сложения. Теперь, зная координаты схвата и матрицу его ориентации, можно сформировать однородную матрицу манипулятора, которая и является основой для решения обратной задачи.

В аппарате кватернионов ориентация схвата задается в виде кватерниона, представляющего собой совокупность 3 направляющих косинусов, определяющих пространственное положение оси, и угла поворота вокруг этой оси.

Определение компонентов кватерниона выполнено ранее. Теперь перейдем к сравнительному анализу результатов решения обратной задачи в рассматриваемых математических аппаратах. Необходимо иметь в виду, что обратная задача в данном случае решается для манипулятора промышленного робота РМ-01 (PUMA-260), конструктивные параметры которого приведены ранее.

Процедуры решения обратной задачи манипулятора в аппарате однородных матриц и в аппарате кватернионов [3] во многом идентичны.

Например, первые три угла (обобщенные координаты) манипулятора q_1, q_2, q_3 в обоих случаях были определены из одной и той же системы уравнений. Естественно, что они определяются по одним и тем же формулам.

В аппарате однородных матриц для определения последних 3 углов выражение будет иметь вид:

$${}^3A_6 = \begin{vmatrix} C_4C_5C_6 - S_4S_6 & -C_4C_5S_6 - S_4C_6 & C_4S_5 & d_6C_4S_5 \\ S_4C_5C_6 + C_4S_6 & -S_4C_5S_6 + C_4C_6 & S_4S_5 & d_6S_4S_5 \\ -S_5C_6 & S_5S_6 & C_5 & d_6C_5 + d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} n_x & s_x & a_x & p_x \\ n_y & s_y & a_y & p_y \\ n_z & s_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad (32)$$

в котором $S_i \equiv \sin(q_i)$, $C_i \equiv \cos(q_i)$; $d_4 \equiv q_4^0$, $d_6 \equiv q_6^0$.

Так как компоненты правой матрицы 3A_6 нам известны, то из выражения (32) определим обобщенные координаты q_4, q_5, q_6 :

$$q_4 = \arctg\left(\frac{a_y}{a_x}\right), \quad q_6 = \arctg\left(\frac{s_z}{-n_z}\right), \quad q_5 = \arctg\left(\frac{a_x + a_y}{(C_4 + S_4) \cdot a_z}\right). \quad (33)$$

Сравнивая операционный состав выражений (29)-(31) и (33), можно сделать вывод: решение обратной задачи манипулятора в аппарате кватернионов и в аппарате однородных матриц имеет практически одинаковую вычислительную сложность.

Однако, анализируя выражения (26) и (32), можно заметить малую (26) и значительную (32) степени зависимости вычисления обобщенных координат q_4 и q_6 от значения q_5 . Например, из выражения (26) следует, что при значении $q_5=0$, значения μ_1 и μ_2 будут равны нулю, но это не мешает нам определить значения q_4 по выражению (29) и q_6 по выражению (30), которые в этом случае будут равны. Аналогичная ситуация ($q_5=0$) для выражения (32) приведет к тому, что 6 компонентов ($a_x, a_y, n_z, s_z, p_x, p_y$) из 12 обнуляются и определение значений q_4 и q_6 с использованием выражений (33) становится невозможным. Выход из этого положения возможен только в использовании остальных компонентов матрицы 3A_6 , которая в этом случае будет иметь вид:

$${}^3A_6 = \begin{vmatrix} C_4C_6 - S_4S_6 & -C_4S_6 - S_4C_6 & 0 & 0 \\ S_4C_6 + C_4S_6 & -S_4S_6 + C_4C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_4 + d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C_{(4+6)} & -S_{(4+6)} & 0 & 0 \\ S_{(4+6)} & C_{(4+6)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_4 + d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Из последней матрицы можно определить:

$$q_4 + q_6 = \arctg\left(\frac{n_y}{n_x}\right), \text{ или } q_4 = q_6 = \arctg\left(\frac{n_y}{n_x}\right)/2. \quad (34)$$

Таким образом, в аппарате однородных матриц перед вычислением последних трех обобщенных координат необходимо вначале проверить значения a_x и s_z на их равенство нулю. Если выполняется условие $a_x \neq s_z \neq 0$, то используется выражение (33); в противном случае ($a_x = s_z = 0$) значение $q_5 = 0$, а углы q_4 и q_6 определяются из выражения (34).

Суммируя изложенное, можно сделать вывод о предпочтительном использовании решения обратной задачи в аппарате кватернионов по следующим причинам:

- вычислительная сложность формирования исходных данных обратной задачи в аппарате кватернионов в 3 раза ниже, чем в аппарате однородных матриц;
- практически отсутствует взаимная зависимость углов q_4 , q_5 и q_6 в процессе их определения, что также снижает вычислительную сложность и повышает вычислительную надежность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перков Н.Ф. Применение бикватернионных матриц в кинематике пространственных механизмов / Н.Ф. Перков, Ю.Н. Челноков // Машиностроение. 1981. № 4. С. 60-66.
2. Глазков В.П. Метод ускоренного умножения кватернионов / В.П. Глазков, С.К. Дауров // Математические методы в технике и технологиях: сб. трудов Междунар. науч. конф. В 5 т. Т. 1 / Новгород. гос. ун-т. Великий Новгород, 1999. С. 91-94.
3. Планирование траекторий движения манипулятора с использованием кватернионов / В.П. Глазков, С.К. Дауров, В.А. Лобанов, В.А. Подлипалин // Математические методы в технике и технологиях: сб. трудов Междунар. науч. конф. В 5 т. Т. 3 / Новгород. гос. ун-т. Великий Новгород, 1999. С. 65-68.
4. Дауров С.К. Формирование исходных данных обратной задачи кинематики манипулятора / С.К. Дауров // Математические методы в технике и технологиях: сб. трудов Междунар. науч. конф. В 7 т. Т. 2 / С.-Петербург. гос. технолог. ин-т. СПб., 2000. С. 58-60.
5. Дауров С.К. Решение обратной задачи манипулятора / С.К. Дауров // Проблемы управления и связи: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Саратов: СГТУ, 2000. С. 76-82.
6. Дауров С.К. Анализ методов решений обратной задачи манипулятора / С.К. Дауров // Математические методы в технике и технологиях: сб. трудов Междунар. науч. конф. В 6 т. Т. 2. Секции 2, 5 / Смоленск. филиал Московск. энергет. ин-та. Смоленск, 2001. С. 142-144.

Глазков Виктор Петрович –

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Системы искусственного интеллекта»
Саратовского государственного технического университета

Дауров Станислав Константинович –

кандидат технических наук,
доцент кафедры «Системы искусственного интеллекта»
Саратовского государственного технического университета

В.П. Губатенко, О.С. Пескова

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Проведена количественная оценка погрешностей, вносимых измерительным проводом, при регистрации плоского электрического поля в зависимости от толщины провода, его электропроводности, электропроводности окружающей провод среды и частоты электромагнитного поля. Предложено два подхода к изучению этой проблемы: исследование аналитического решения и метод интегральных уравнений.

V.P. Gubatenko, O.S. Peskova

PLANE ELECTRICAL FIELD MEASUREMENT'S MATHEMATICAL MODEL

We gave a quantitative estimate of errors introduced by measuring wire at registration of plane electrical field depending on thickness of the wire, its conductivity, conductivity of surrounding environment and frequency of oscillation electromagnetic field. There are two approaches offered to study this problem: analytical decision research and integral equations method.

Всякое измерение физического поля предполагает взаимодействие между этим полем и измерительным устройством, поэтому для разработки прецизионной измерительной аппаратуры необходимо учесть степень такого взаимодействия. Измерение электрического поля часто проводят с помощью провода, параллельно к которому подключают вольтметр с очень большим внутренним сопротивлением. Внесенный в среду провод изменяет распределение электропроводности исходной среды в области измерения, что приводит к искажению показаний приборов за счет скин-эффекта. Очевидно, что если толщина скин-слоя велика, т.е. длина волны измеряемого поля значительно превышает диаметр поперечного сечения провода, то погрешности измерений будут небольшими. Однако с уменьшением толщины скин-слоя погрешности будут возрастать, и поэтому представляет интерес количественно оценить величину погрешностей в зависимости от размеров провода, его электропроводности, электропроводности окружающей провод среды и частоты электромагнитного поля.

В круговой цилиндрической системе координат ρ , φ , z , связанной с прямоугольными декартовыми координатами x , y , z соотношениями

$$x = \rho \cos \varphi, \quad y = \rho \sin \varphi, \quad z = z, \quad (1)$$

где $0 \leq \rho < \infty$, $0 < \varphi \leq 2\pi$, $-\infty < z < \infty$, рассмотрим однородную среду с электропроводностью σ_0 , магнитной проницаемостью μ_0 и диэлектрической проницаемостью ε_0 . Пусть электромагнитное поле в такой среде возбуждается удаленным от оси OZ на расстояние ρ' прямолинейным сторонним электрическим током, изменяющимся с течением времени t по гармоническому закону $e^{-i\omega t}$ ¹⁾ с круговой частотой ω . Выражение для объемной плотности j^e стороннего тока запишем в виде

¹⁾ Множитель $e^{-i\omega t}$ всюду опускаем, а комплексные амплитуды компонент поля будем называть компонентами поля.

$$j^e = e_z J \frac{\delta(\rho - \rho')\delta(\varphi - \varphi')}{\rho'} , \quad (2)$$

где $\delta(\xi)$ – одномерная δ -функция Дирака; e_z – орт круговой цилиндрической системы координат, определяющий направление оси OZ и входящий в тройку e_ρ, e_φ, e_z ортонормированных базисных векторов этой системы; J – сила стороннего электрического тока.

Хорошо известно (см., например, [1]), что этот ток создает в среде плоское E – поле специального вида по отношению к координате z , т.е. электромагнитное поле с независимыми от координаты z компонентами $E_z^s, H_\rho^s, H_\varphi^s$, причем компонента E_z^s напряженности электрического поля определяется выражением

$$E_z^s(\rho, \varphi) = \frac{i\omega\mu_0 J}{2\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n \cos n(\varphi - \varphi') \begin{cases} K_n(k_0\rho')I_n(k_0\rho), & \rho < \rho', \\ I_n(k_0\rho')K_n(k_0\rho), & \rho > \rho', \end{cases} \quad (3)$$

где $0 < \frac{\varphi}{\rho'} \leq 2\pi$; $\varepsilon_n = \begin{cases} 1, & n = 0, \\ 2, & n \neq 0, \end{cases}$; $I_\nu(\xi), K_\nu(\xi)$ – соответственно модифицированные функции

Бесселя первого и третьего рода порядка ν ; $k_0 = \sqrt{-i\omega\mu_0\tilde{\sigma}_0}$ – волновое число однородной среды, $\text{Re } k_0 > 0$; $\tilde{\sigma}_0 = \sigma_0 - i\omega\varepsilon_0$ – комплексное сопротивление среды. А компоненты H_ρ^s, H_φ^s напряженности магнитного поля определяются с помощью E_z^s соотношениями

$$H_\rho^s = \frac{1}{i\omega\mu_0\rho} \frac{\partial E_z^s}{\partial \varphi}, \quad H_\varphi^s = -\frac{1}{i\omega\mu_0} \frac{\partial E_z^s}{\partial \rho}. \quad (4)$$

Для измерения электрического поля E_z^s поместим в область $\rho \leq a$ ($a < \rho'$) провод в форме кругового цилиндра с электропроводностью σ и магнитной проницаемостью μ_0 . Внесение провода изменяет электропроводность среды в области $\rho \leq a$, и, как известно, в этой новой среде в области провода сторонний ток (2) возбуждает уже компоненту E_z напряженности электрического поля, равную

$$E_z(\rho, \varphi) = \frac{i\omega\mu_0 J}{2\pi a} \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n \cos n(\varphi - \varphi') \frac{K_n(k_0\rho')I_n(k\rho)}{k I_n'(ka)K_n(k_0a) - k_0 I_n(ka)K_n'(k_0a)}, \quad (5)$$

где штрих над $I_n(\xi)$ и $K_n(\xi)$ обозначает производную от этих функций по ξ ; $k = \sqrt{-i\omega\mu_0\sigma}$ – волновое число провода, $\text{Re } k > 0$.

Сила тока, протекающего в проводе, равна $\sigma \tilde{E}_z$, где \tilde{E}_z – среднее значение напряженности E_z электрического поля по поперечному сечению провода плоскостью $z = \text{const}$. Поэтому для оценки степени искажений, обусловленных перераспределением электропроводности среды, вычислим \tilde{E}_z . В отсутствии провода (в исходной, однородной среде) среднее значение напряженности E_z^s электрического поля в области $\rho \leq a$ определяется выражением

$$\tilde{E}_z^s = \frac{1}{\pi a^2} \int_0^a \rho d\rho \int_0^{2\pi} E_z^s(\rho, \varphi) d\varphi = \frac{i\omega\mu_0 J}{\pi a k_0} K_0(k_0\rho')I_1(k_0a). \quad (6)$$

Среднее же значение напряженности электрического поля в новой среде имеет вид

$$\tilde{E}_z = \frac{1}{\pi a^2} \int_0^a \rho d\rho \int_0^{2\pi} E_z(\rho, \varphi) d\varphi = \frac{i\omega\mu_0 J}{\pi a^2 k} \frac{K_0(k_0\rho')I_1(ka)}{k K_0(k_0a)I_1(ka) + k_0 I_0(ka)K_1(k_0a)}. \quad (7)$$

Величину \tilde{E}_z^s будем называть «истинной» напряженностью электрического поля, создаваемой сторонним током (2) в однородной среде, а \tilde{E}_z – «измеренной».

Заметим, что при $\omega \neq 0$ линейный проводящий контур нельзя рассматривать в качестве математической модели приемного и генераторного контуров. Действительно, полагая, что $\sigma \rightarrow \infty$, $a \rightarrow 0$, но при этом оставляя конечной величину $s = \sigma \pi a^2 < \infty$, где s – линейная электропроводность провода, и учитывая асимптотические формулы для модифицированных функций Бесселя при $\xi \rightarrow 0$ [2]:

$$K_0(\xi) \sim -\left[\ln\left(\frac{\xi}{2}\right) + C \right] = -\ln\left(\frac{e^C \xi}{2}\right), \quad I_0(\xi) \sim 1, \quad K_1(\xi) \sim \frac{1}{\xi}, \quad I_1(\xi) \sim \frac{\xi}{2}, \quad (8)$$

где C – постоянная Эйлера, нетрудно показать, что $\tilde{E}_z \rightarrow 0$, т.е. линейный контур ведет себя подобно идеальному проводнику.

Из (6) и (7) получаем

$$\gamma = \frac{\tilde{E}_z^s}{\tilde{E}_z} = a \frac{k I_1(k_0 a)}{k_0 I_1(k a)} [k K_0(k_0 a) I_1(k a) + k_0 I_0(k a) K_1(k_0 a)], \quad (9)$$

и, таким образом, отношение истинной напряженности электрического поля к измеренной не зависит от ρ' , т.е. от расположения возбуждающего поле тока (2). Нетрудно также показать, что эта зависимость верна для произвольного распределения сторонних токов в однородном пространстве, создающих плоское электрическое поле.

При малой толщине провода и на достаточно низких частотах $|ka| \ll 1$, $|k_0 a| \ll 1$ и тогда, как следует из (8), (9), можно записать

$$\frac{\tilde{E}_z^s}{\tilde{E}_z} \sim 1 - \frac{k^2 a^2}{2} \ln\left(\frac{e^C k_0 a}{2}\right) = \gamma_1^a. \quad (10)$$

Рассмотрим случай достаточно высоких частот, на которых $|ka| \gg 1$, но все же $|k_0 a| \ll 1$, что соответствует малой толщине провода и $\sigma/\sigma_0 \gg 1$. Поскольку [2] при $|\xi| \rightarrow \infty$

$$I_n(\xi) \sim \frac{e^\xi}{\sqrt{2\pi\xi}}, \quad K_n(\xi) \sim \sqrt{\frac{\pi}{2\xi}} e^{-\xi}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, \quad (11)$$

то

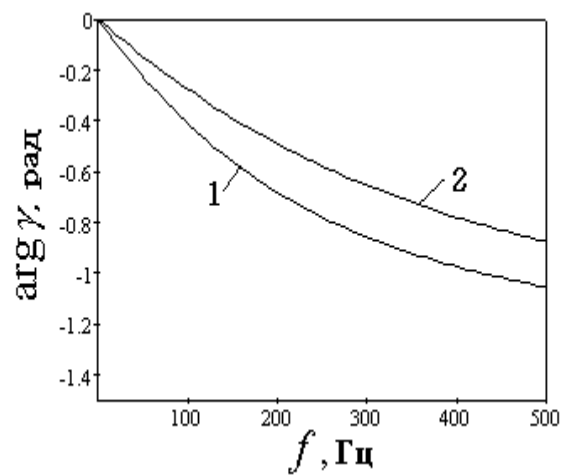
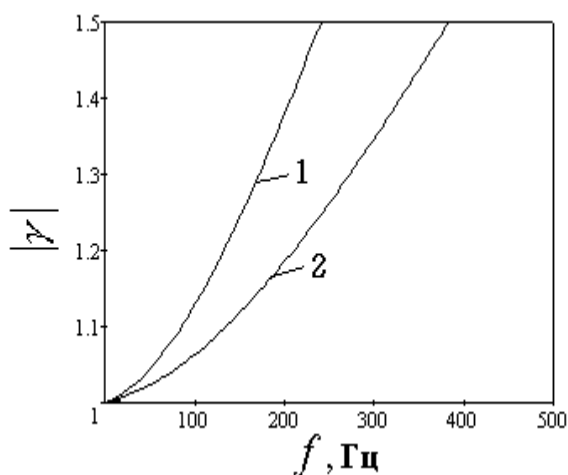
$$\frac{\tilde{E}_z^s}{\tilde{E}_z} \sim \frac{a k}{2} - \frac{a^2 k^2}{2} \ln\left(\frac{e^C k_0 a}{2}\right) = \gamma_2^a. \quad (12)$$

Полагая всюду $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} 10^{-9}$ Ф/м, $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ Гн/м, по формуле (9) для случая

$\sigma_0 = 10^{-10}$ См/м проведены расчеты $|\gamma|$ и $\arg \gamma$. Столь малое значение электропроводности однородной среды соответствует измерениям в воздухе, что характерно, например, для методов наземной электроразведки. На рис. 1, а изображена зависимость от частоты $f = \frac{\omega}{2\pi}$ отноше-

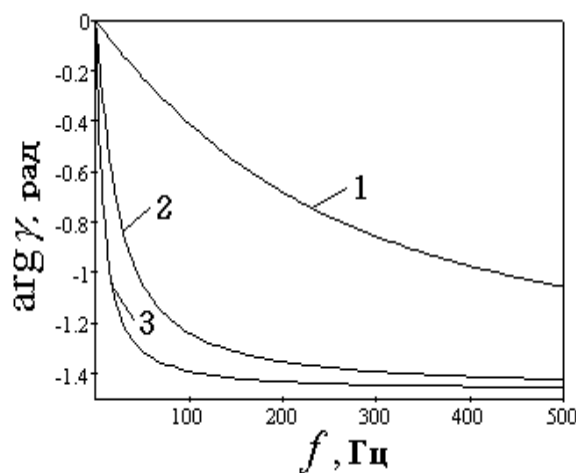
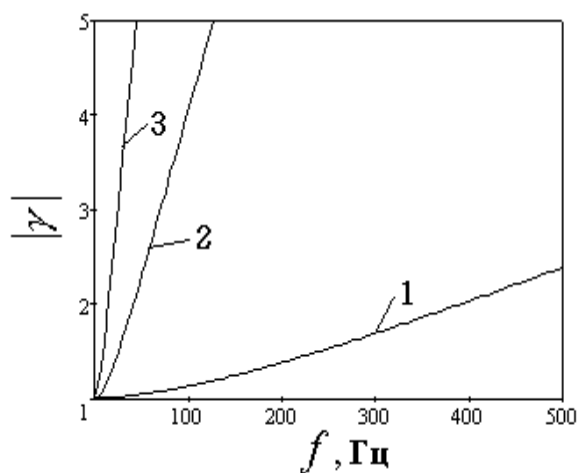
ния амплитуд и разности фаз истинной напряженности электрического поля и измеренной в случае медного ($\sigma = 5,61 \times 10^7$ См/м) и алюминиевого ($\sigma = 3,6 \times 10^7$ См/м) провода одинаковой толщины ($a = 0,001$ м), а на рис. 1, б – те же зависимости, но для медного провода различного поперечного сечения: $a = 0,001$ м, $0,003$ м, $0,005$ м.

Видим, что результаты измерений тем точнее, чем меньше электропроводность измерительного провода и радиус его поперечного сечения. Повышение электропроводности измерительного провода и его толщины для увеличения силы тока неизбежно приведет на относительно высоких частотах к занижению показаний амплитуды истинного сигнала и увеличению его фазы. Однако уменьшение контраста электропроводности провода и вмещающей его среды (отношения σ/σ_0) уменьшает (см. рис. 1, в) при тех же значениях ϵ_0 , μ_0 различие истинной и измеренной напряженности электрического поля.



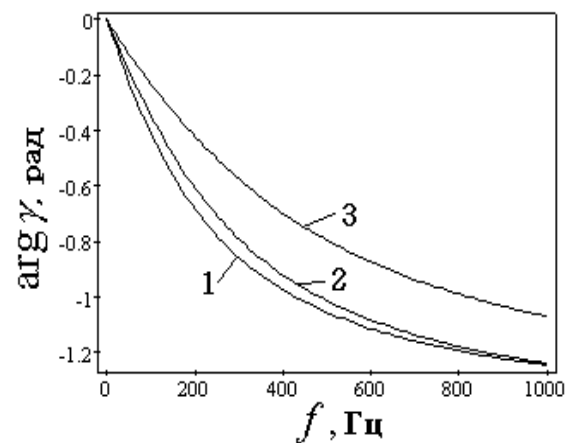
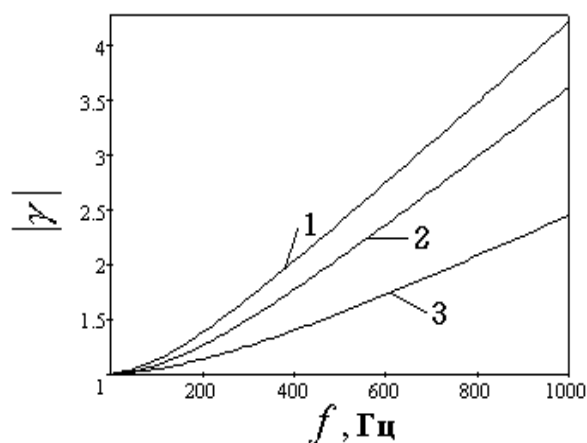
а)

провод радиуса $a=0,001$ м: 1 – медь ($\sigma=5,61 \times 10^7$ См/м), 2 – алюминий ($\sigma=3,6 \times 10^7$ См/м)



б)

медный провод: 1 – $a=0,001$ м, 2 – $a=0,003$ м, 3 – $a=0,005$ м



в)

медный провод радиуса $a=0,001$ м: 1 – $\sigma_0=10^{-10}$ См/м, 2 – $\sigma_0=10^{-5}$ См/м, 3 – $\sigma_0=1$ См/м

Рис. 1. Зависимость $|\gamma|$ и $\arg \gamma$ от частоты $f = \frac{\omega}{2\pi}$

Проведено сравнение точного решения γ и асимптотического γ_1^a для медного провода различного радиуса ($a=0,001$ м, $0,003$ м, $0,005$ м) при $\sigma_0=10^{-10}$ См/м. Показано, что в этом случае на интервале частот $0 < f < 1$ ГГц относительная погрешность вычисления по формуле

$$(10) \text{ отношения } \left| \frac{\tilde{E}_z^s}{\tilde{E}_z} \right| \text{ не превышает } 0,031, \text{ а абсолютная погрешность } \arg \frac{\tilde{E}_z^s}{\tilde{E}_z} \text{ – менее } 0,023$$

рад, и, таким образом, асимптотическая формула (10) обеспечивает достаточно высокую для практики точность в широком интервале частот.

Рассмотрим другой способ оценки искажений результатов измерений. Пусть в однородном пространстве с параметрами $\sigma_0, \epsilon_0, \mu_0$ электромагнитное поле возбуждается произвольным распределением сторонних токов $j^e = e_j^e(\rho, \varphi)$, изменяющихся по гармоническому закону с круговой частотой ω . Потребуем лишь равенство нулю этих токов в области $\rho \leq a$. Обозначим единственную отличную от нуля компоненту напряженности электрического поля, создаваемую этими токами, через E_z^0 . Если внести в область $\rho \leq a$ измерительный провод (круговой цилиндр) с параметрами σ, μ_0 , то в этой новой среде компонента E_z напряженности электрического поля удовлетворяет интегральному уравнению

$$E_z(\rho, \varphi) = E_z^0(\rho, \varphi) + (\sigma - \sigma_0 + i\omega\epsilon_0) \int_0^a \int_0^{2\pi} G_z(\rho, \varphi | \rho', \varphi') E_z(\rho', \varphi') \rho' d\rho' d\varphi', \quad (13)$$

где $G_z(\rho, \varphi | \rho', \varphi')$ – скалярная функция Грина, совпадающая с выражением (3) при $J=1$, т.е.

$$G_z(\rho, \varphi | \rho', \varphi') = \frac{i\omega\mu_0}{2\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \epsilon_n \cos n(\varphi - \varphi') \begin{cases} K_n(k_0\rho') I_n(k_0\rho), & \rho < \rho', \\ I_n(k_0\rho') K_n(k_0\rho), & \rho > \rho'. \end{cases} \quad (14)$$

Проинтегрируем обе части равенства (13) по поперечному сечению провода плоскостью $z = \text{const}$. Тогда

$$\begin{aligned} \tilde{E}_z = \tilde{E}_z^0 + \frac{(k_0^2 - k^2)}{\pi a^2} \int_0^{2\pi} d\varphi' \int_0^{\rho} \left[\int_0^{\rho} I_0(k_0\rho') K_0(k_0\rho) E_z(\rho', \varphi') \rho' d\rho' + \right. \\ \left. + \int_{\rho}^a K_0(k_0\rho') I_0(k_0\rho) E_z(\rho', \varphi') \rho' d\rho' \right] \rho d\rho, \end{aligned} \quad (15)$$

где \tilde{E}_z^0 и \tilde{E}_z – средние значения компонент E_z^0 и E_z в поперечном сечении. Будем считать, что $|k_0 a| \ll 1, |k_0/k| \ll 1$. При этих предположениях равенство (15) примет вид

$$\begin{aligned} \tilde{E}_z \sim \tilde{E}_z^0 + \frac{k^2}{\pi a^2} \int_0^{2\pi} d\varphi' \int_0^a \left[\int_0^{\rho} \ln\left(\frac{e^c k_0 \rho}{2}\right) E_z(\rho', \varphi') \rho' d\rho' + \int_{\rho}^a \ln\left(\frac{e^c k_0 \rho'}{2}\right) E_z(\rho', \varphi') \rho' d\rho' \right] \rho d\rho = \\ = \tilde{E}_z^0 + \frac{k^2}{\pi a^2} \int_0^{2\pi} d\varphi' \left[\int_0^a E_z(\rho', \varphi') \rho' d\rho' \int_{\rho}^a \rho \ln\left(\frac{e^c k_0 \rho}{2}\right) d\rho + \right. \\ \left. + \int_0^a \ln\left(\frac{e^c k_0 \rho'}{2}\right) E_z(\rho', \varphi') \rho' d\rho' \int_0^{\rho'} \rho d\rho \right] = \\ = \tilde{E}_z^0 + \frac{k^2}{\pi a^2} \int_0^{2\pi} d\varphi' \left\{ \int_0^a \left[\frac{a^2}{2} \ln\left(\frac{e^c k_0 a}{2}\right) - \frac{\rho'^2}{2} \ln\left(\frac{e^c k_0 \rho'}{2}\right) + \frac{\rho'^2 - a^2}{4} \right] E_z(\rho', \varphi') \rho' d\rho' + \right. \\ \left. + \int_0^a \frac{\rho'^2}{2} \ln\left(\frac{e^c k_0 \rho'}{2}\right) E_z(\rho', \varphi') \rho' d\rho' \right\} = \\ = \tilde{E}_z^0 + \frac{k^2}{\pi a^2} \int_0^{2\pi} d\varphi' \int_0^a \left[\frac{a^2}{2} \ln\left(\frac{e^c k_0 a}{2}\right) + \frac{\rho'^2 - a^2}{4} \right] E_z(\rho', \varphi') \rho' d\rho' \sim \tilde{E}_z^0 + \frac{k^2 a^2}{2} \ln\left(\frac{e^c k_0 a}{2}\right) \tilde{E}_z^0. \end{aligned} \quad (16)$$

Таким образом,

$$\tilde{E}_z \sim \tilde{E}_z^0 + \frac{k^2 a^2}{2} \ln\left(\frac{e^c k_0 a}{2}\right) \tilde{E}_z \quad (17)$$

или

$$\frac{\tilde{E}_z^0}{\tilde{E}_z} \sim 1 - \frac{k^2 a^2}{2} \ln\left(\frac{e^c k_0 a}{2}\right) = \gamma_1^a, \quad (18)$$

и отношение истинной напряженности электрического поля к измеренной неслучайно совпадает с асимптотической формулой (10), которую можно применять для корректировки результатов измерения плоского поля.

Полученные в настоящей работе результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Измерительный провод меняет распределение электропроводности исходной среды, искажая тем самым показания истинной напряженности электрического поля.

2. Отличия истинного электрического поля от измеренного возрастают с увеличением частоты колебаний электромагнитного поля, толщины измерительного провода и его электропроводности.

3. Применяя формулу (10), можно количественно оценить погрешность, вносимую прямолинейным проводом при измерении плоского электрического поля.

4. Для решения поставленной задачи использовались два подхода: исследование аналитического решения и метод интегральных уравнений. С помощью аналитического подхода, основанного на решении уравнений Максвелла методом разделения переменных, были проверены результаты, полученные с помощью интегральных уравнений, и показано совпадение асимптотических формул (10) и (18). Таким образом, метод интегральных уравнений можно использовать для решения задачи о математическом моделировании не только плоского, но и осесимметрического электрического поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Светов Б.С. Аналитические решения электродинамических задач / Б.С. Светов, В.П. Губатенко. М.: Наука, 1988. 344 с.

2. Бейтмен Г. Высшие трансцендентные функции. Функции Бесселя, функции параболического цилиндра, ортогональные многочлены / Г. Бейтмен, А. Эрдейи. М.: Физматгиз, 1974. 295 с.

3. Тамм И.Е. Основы теории электричества / И.Е. Тамм. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. 504 с.

4. Янке Е. Специальные функции (формулы, графики, таблицы) / Е. Янке, Ф. Эмде, Ф. Лёш. М.: Физматгиз, 1968. 344 с.

Губатенко Валерий Петрович –

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

Пескова Ольга Сергеевна –

ассистент кафедры «Прикладная математика и теория навигационных приборов»
Саратовского государственного технического университета

Ю.Н. Косников

ПРИМЕНЕНИЕ БИКУБИЧЕСКИХ СПЛАЙНОВ В ГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Предлагается организация вычислений для системы отображения пространственных объектов. В процессе отсечения сплайны рекурсивно разделяются на отсеки. Тесселяция примитивов и вычисление нормалей выполняются методом конечных разностей. Графическая обработка параллельно идет в нескольких координатных системах. Вычисления рационально распределяются между ступенями графического конвейера.

Yu.N. Kosnikov

BICUBIC SPLINES APPLICATION IN GRAPHIC REAL-TIME SYSTEMS

For spatial objects' reflecting systems a certain scheme of calculations is offered here. During clipping the splines are recursively dissected into parts. The primitives' tessellation and normal computation are executed by a method of finite differences. The graphic processing in bridge goes in several coordinate systems. The computations are rationally arranged between the graphics pipeline stages.

В качестве геометрических примитивов в современных графических системах реального времени (ГСРВ), как правило, используются плоские полигоны. Они универсальны с точки зрения формообразования и просты в обработке. Кроме того, они имеют стандартную техническую поддержку отображения в виде графического процессора, входящего в состав видеокарты персонального компьютера. Тем не менее, полигональным моделям присущи определенные недостатки. Аппроксимированные ими объекты имеют стилизованный вид, что особенно заметно с небольшого расстояния наблюдения. Для улучшения вида объектов нужно увеличивать число полигонов в модели или генерировать дополнительные полигоны в реальном времени (РВ). Первый прием повышает затраты памяти ГСРВ и нагрузку на шину передачи данных в графический процессор, второй повышает вычислительные затраты. Кроме того, чтобы получить надлежащий внешний вид полигонального объекта, необходимо смоделировать его освещение. При выборе любой модели освещения необходимо выполнять усреднение нормалей в вершинах полигонов или хранить описание усредненных нормалей вместе с описанием вершин. И в этом случае требуется дополнительный расход вычислительного времени или памяти.

Универсальным средством формообразования, имеющим к тому же компактное описание, являются бикубические сплайны. Их количество, необходимое для моделирования сложной пространственной сцены, на один-два порядка меньше необходимого числа плоских полигонов. Геометрические преобразования сплайнов сводятся к пересчету ограниченного числа их опорных точек. Однако поверхность сплайна является, в общем случае, криволинейной, что вызывает сложности при выполнении отсечения, удаления загороженных участков, освещения, текстурирования [1]. Действительно, линия пересечения поверхности сплайна с границей объема видимости, зачастую, может быть найдена только численными

методами. В отличие от плоского полигона криволинейная поверхность сплайна может «загораживать сама себя». При параметрическом описании сплайн-функции ее частные производные, необходимые для вычисления нормали, находятся с большими вычислительными затратами. По перечисленным причинам сплайны после геометрических преобразований подвергаются разбиению на полигоны и далее обрабатываются как наборы полигонов со всеми их недостатками. В результате применение сплайнов в ГСРВ ограничено.

Можно предложить организацию процесса отображения, в полной мере использующую достоинства сплайнов и минимизирующую их недостатки. Суть предложения в том, что ресурсоемкие графические операции над сплайнами выполняются в несколько этапов, причем на каждом этапе число обрабатываемых примитивов резко уменьшается. Эти этапы рационально распределяются между центральным процессором и специализированной техникой. Кроме того, графические операции выполняются в различных координатных системах, выбор которых осуществляется по критерию простоты алгоритмов обработки. Предлагаемый процесс отображения имеет конвейерную организацию с возможностью параллельного выполнения вычислений.

Поверхность объекта отображения представляется в своей системе координат (СКО) набором характерных (опорных) точек. Для сплайн-аппроксимации объектов выберем выпуклые сплайны Безье. Они вполне позволяют решать задачи формообразования и в то же время требуют гораздо меньше вычислительных ресурсов, чем, например, B -сплайны. Как известно, сплайн Безье описывается шестнадцатью опорными точками P_{ij} ($i, j=0, \dots, 3$), четыре из которых лежат в углах сплайн-примитива, а остальные задают его изгиб в разных направлениях. Поверхность объекта нужно разделить на криволинейные четырехугольники, угловые точки которых станут граничными опорными точками. Примитив с тремя углами, при необходимости, представляется с помощью слияния двух опорных точек. Далее в граничных точках следует определить углы наклона касательных к поверхности сплайна в направлениях аргументов сплайн-функции, а также в диагональных направлениях. На касательных выбираются промежуточные опорные точки. Другим вариантом разбиения объекта на примитивы является использование интерактивной компьютерной программы-моделера. Введенные программой сплайновые «примитивы-заготовки» с управляемыми геометрическими параметрами подгоняются по форме и размерам к участкам поверхности объекта. Критерием является минимизация погрешности аппроксимации.

Так или иначе, поверхность отображаемого объекта разбивается на примитивы, для каждого из которых находятся координаты шестнадцати опорных точек. Далее для каждого примитива вводится своя локальная декартова система координат (СКП), в которую переводятся опорные точки сплайна. При выборе расположения СКП в пространстве объекта нужно стремиться к тому, чтобы хотя бы одна граничная кривая сплайна лежала в координатной плоскости $x^p z^p$ или $y^p z^p$ (индекс p показывает принадлежность к СКП). Геометрические параметры размещения СКП в СКО становятся элементами описания примитива. К ним относятся три смещения и три эйлеровых угла поворота СКП в СКО.

В режиме РВ из моделирующей программы или системы поступают текущие значения геометрических параметров объекта в системе координат наблюдателя (СКН). На основе этой информации находится положение объекта в пространстве наблюдателя. Обработка сцены начинается с отсечения невидимых объектов, которое выполняется с помощью известного метода оболочек [1]. Далее каждый объект представляется в виде набора криволинейных примитивов – сплайнов. Сплайны рассматриваются как объекты и, в свою очередь, подвергаются отсечению в СКН методом оболочек. В качестве оболочки примитива используется многогранник, вершинами которого являются четыре угловые точки и четыре центральные точки характеристического многогранника сплайна. Выпуклый сплайн не выходит за пределы такой оболочки. Вершины оболочки примитива подвергаются перспективному преобразованию и проверяются на вхождение в объем видимости. После перспективного

преобразования объем видимости приобретает в СКН форму параллелепипеда, что упрощает выполнение отсечения. Сплайны, полностью входящие в объем видимости или выходящие из него не более, чем на заранее установленный допуск, поступают на дальнейшую обработку. Сплайны, не вошедшие в допуск, заносятся в список частично видимых примитивов.

Частично видимые примитивы разбиваются на четыре отсека, которые тоже являются сплайнами [2]. Они снабжаются оболочками для определения видимости и принимаются за новые примитивы, которые подвергаются отсечению. Для новых примитивов определяется расположение в СКО. Операция повторяется рекурсивно, пока список частично видимых примитивов не опустеет. Разбиение сплайнов на отсеки параллельно идет и в СКП. Это необходимо для получения в СКП описаний новых сплайн-примитивов с целью их дальнейшей тесселяции. Для разбиения необходимо выполнять только операции суммирования и деления на два (сдвига), поэтому разбиение в двух координатных системах не критично к потреблению вычислительных ресурсов. Напомним, что все операции выполняются только над опорными точками сплайнов. Таким образом, по окончании отсечения потенциально видимые примитивы параллельно представляются в трех системах координат: в СКП и СКН – координатами опорных точек, а в СКО – параметрами размещения примитивов на поверхности объекта.

Чтобы ускорить дальнейшую обработку сплайнов, их описания в СКП переводятся в явную форму

$$z^p = \sum_{j=0}^3 \sum_{i=0}^3 a_{ij} (x^p)^i (y^p)^j, \quad (1)$$

где a_{ij} – коэффициенты формы примитива.

Коэффициенты a_{ij} определяются через координаты z_{ij} ($i, j=0, \dots, 3$) опорных точек сплайна, например,

$$a_{00} = \frac{1}{36} ((z_{00} - 3z_{10} + 3z_{20} - z_{30}) - 3(z_{01} - 3z_{11} + 3z_{21} - z_{31}) + 3(z_{02} - 3z_{12} + 3z_{22} - z_{32}) - (z_{03} - 3z_{13} + 3z_{23} - z_{33})).$$

Форма описания (1) позволяет просто находить в СКП координаты нормалей к поверхности сплайна, причем получающиеся выражения сходны по структуре с (1):

$$n_x = \frac{\partial z^p}{\partial x^p} = \sum_{j=0}^3 \sum_{i=0}^3 i a_{ij} (x^p)^{i-1} (y^p)^j, \quad n_y = \frac{\partial z^p}{\partial y^p} = \sum_{j=0}^3 \sum_{i=0}^3 j a_{ij} (x^p)^i (y^p)^{j-1}, \quad n_z = -1.$$

Следовательно, в СКП имеет смысл выполнять отбраковку нелицевых примитивов и расчет освещенности. Для этого в СКП с помощью следующего выражения переводятся однородные координаты наблюдателя и источников освещения:

$$\mathbf{P} = (\mathbf{V} \cdot \mathbf{TV} - \mathbf{VO} \cdot \mathbf{TV}) \cdot \mathbf{TO} - \mathbf{OO} \cdot \mathbf{TO},$$

где $\mathbf{P} = |x^p \ y^p \ z^p \ 1|$ – матрица координат наблюдателя или осветителя в СКП; $\mathbf{V} = |x^v \ y^v \ z^v \ 1|$ – матрица исходных координат наблюдателя или осветителя в СКН; $\mathbf{VO} = |x_0^v \ y_0^v \ z_0^v \ 1|$ – матрица смещения СКО вдоль осей СКН, определяет динамику перемещения объекта в сцене; $\mathbf{OO} = |x_0^o \ y_0^o \ z_0^o \ 1|$ – матрица смещения СКП вдоль осей СКО, определяет размещение примитива на поверхности объекта и со временем не меняется;

$$\mathbf{TV} = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & 0 \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & 0 \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} - \text{матрица поворота СКО в СКН, содержит направляющие косинусы осей СКО относительно осей СКН, определяет динамику поворота объекта в сцене;}$$

$$TO = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & 0 \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & 0 \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} -$$
 матрица поворота СКП в СКО, содержит направляющие косинусы осей СКП относительно осей СКО, определяет размещение примитива на поверхности объекта и со временем не меняется.

Признаком нелицевого выпуклого сплайна являются тупые углы между четырьмя угловыми нормальными и четырьмя лучами, проведенными от точки наблюдения в угловые точки сплайна.

Лицевые примитивы подвергаются тесселяции. Этот процесс идет параллельно в СКП и СКН: в СКП для каждой вершины тесселяции находятся освещенность и текстурные координаты, а в СКН – координаты вершин, необходимые для визуализации. Чтобы в СКП и СКН обрабатывались одни и те же вершины, описания лицевых сплайнов предварительно переводятся в пространство наблюдателя. Там они приобретают следующую форму:

$$\left. \begin{aligned} x^v &= \sum_{j=0}^3 \sum_{i=0}^3 \tilde{a}_{xij} (x^p)^i (y^p)^j, \\ y^v &= \sum_{j=0}^3 \sum_{i=0}^3 \tilde{a}_{yij} (x^p)^i (y^p)^j, \\ z^v &= \sum_{j=0}^3 \sum_{i=0}^3 \tilde{a}_{zij} (x^p)^i (y^p)^j, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $\tilde{a}_{xij}, \tilde{a}_{yij}, \tilde{a}_{zij}$ – новые коэффициенты формы.

Коэффициенты $\tilde{a}_{xij}, \tilde{a}_{yij}, \tilde{a}_{zij}$ связаны с коэффициентами a_{ij} , а также с параметрами размещения примитива в объекте и объекта в пространстве наблюдателя, например,

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{x00} &= t_{11}(T_{13}a_{00} + x_0^o) + t_{12}(T_{23}a_{00} + y_0^o) + t_{13}(T_{33}a_{00} + z_0^o) + x_0^v, \\ \tilde{a}_{y01} &= t_{21}(T_{13}a_{01} + T_{12}) + t_{22}(T_{23}a_{01} + T_{22}) + t_{23}(T_{33}a_{01} + T_{32}), \\ \tilde{a}_{z33} &= t_{31}T_{13}a_{33} + t_{32}T_{23}a_{33} + t_{33}T_{33}a_{33}. \end{aligned}$$

Следует отметить, что приведенные выражения содержат суммы, в которые входят произведения направляющих косинусов t_{ij} , изменяющихся во времени, на константы. Форма описания (2) является своеобразной параметрической формой, где параметрами являются аргументы СКП.

Тесселяция сплайнов в СКП и СКН проводится методом конечных разностей [3]. Его суть в том, что вычисление текущей координаты сплайна k ($k=z^p, x^v, y^v, z^v$) идет по приращениям:

$$k_{i+1} = k_i + \Delta k_i, \quad k_0 = k|_{x^p \text{ или } y^p = 0}, \quad (3)$$

где Δk_i – первая конечная разность координаты k на i -м шаге приращения.

Для вычисления значений k организуется ортогональное сканирование плоскости аргументов сплайн-функции. Это означает, что в каждый момент времени k является функцией одного аргумента, а второй фиксирован. Тогда Δk_i является функцией того же аргумента, что и k , но более низкой степени. Эта функция также находится методом конечных разностей. Например, при выполнении шагов вдоль оси x^p ($y^p = \text{const}$)

$$\Delta k_{i+1} = \Delta k_i + \Delta^2 k_i, \quad \Delta k_0 = \Delta k|_{x^p = 0}, \quad (4)$$

где $\Delta^2 k_i$ – вторая конечная разность координаты k .

В свою очередь, $\Delta^2 k_i$ находится через третью конечную разность $\Delta^3 k$:

$$\Delta^2 k_{i+1} = \Delta^2 k_i + \Delta^3 k, \quad \Delta^2 k_0 = \Delta^2 k|_{x^p = 0}. \quad (5)$$

Для кубической функции одного аргумента $\Delta^3 k$ является константой.

Начальные значения конечных разностей $\Delta k_0, \Delta^2 k_0, \Delta^3 k$ зависят от второго аргумента сплайн-функции (в примере – от y^p), и для их вычисления снова применяется метод конечных разностей

$$\begin{aligned} \Delta k_{0(j+1)} &= \Delta k_{0j} + D(\Delta k_0)_j, & (\Delta k_0)_0 &= \Delta k_0|_{y^p=0}, \\ D(\Delta k_0)_{(j+1)} &= D(\Delta k_0)_j + D^2(\Delta k_0)_j, & D(\Delta k_0)_0 &= D(\Delta k_0)|_{y^p=0}, \\ D^2(\Delta k_0)_{(j+1)} &= D^2(\Delta k_0)_j + D^3(\Delta k_0)_j, & D^2(\Delta k_0)_0 &= D^2(\Delta k_0)|_{y^p=0}, \\ (\Delta^2 k_0)_{(j+1)} &= (\Delta^2 k_0)_j + D(\Delta^2 k_0)_j, & (\Delta^2 k_0)_0 &= \Delta^2 k_0|_{y^p=0}, \\ D(\Delta^2 k_0)_{(j+1)} &= D(\Delta^2 k_0)_j + D^2(\Delta^2 k_0)_j, & D(\Delta^2 k_0)_0 &= D(\Delta^2 k_0)|_{y^p=0}, \\ D^2(\Delta^2 k_0)_{(j+1)} &= D^2(\Delta^2 k_0)_j + D^3(\Delta^2 k_0)_j, & D^2(\Delta^2 k_0)_0 &= D^2(\Delta^2 k_0)|_{y^p=0}, \\ (\Delta^3 k)_{(j+1)} &= (\Delta^3 k)_j + D(\Delta^3 k)_j, & (\Delta^3 k)_0 &= \Delta^3 k|_{y^p=0}, \\ D(\Delta^3 k)_{(j+1)} &= D(\Delta^3 k)_j + D^2(\Delta^3 k)_j, & D(\Delta^3 k)_0 &= D(\Delta^3 k)|_{y^p=0}, \\ D^2(\Delta^3 k)_{(j+1)} &= D^2(\Delta^3 k)_j + D^3(\Delta^3 k)_j, & D^2(\Delta^3 k)_0 &= D^2(\Delta^3 k)|_{y^p=0}, \end{aligned}$$

где j – номер шага по второму аргументу (y^p) сплайн-функции; D, D^2, D^3 – обозначения конечных разностей по второму аргументу, причем $D^3(\Delta k_0), D^3(\Delta^2 k_0), D^3(\Delta^3 k)$ – константы.

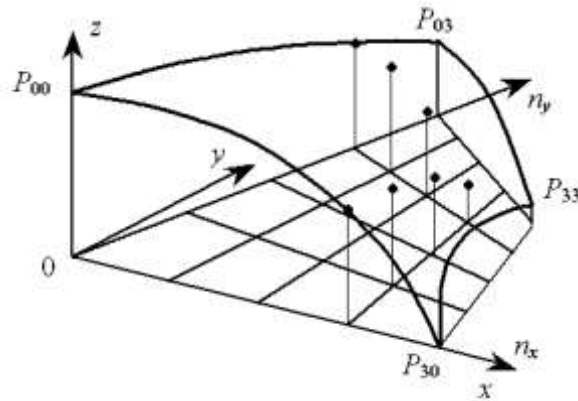
Вычисление значений $\Delta k_0, \Delta^2 k_0, \Delta^3 k$ легко образует конвейер: пока идет поиск вершин тесселяции для одной кривой на поверхности сплайна, вычисляются начальные значения конечных разностей для следующей кривой. Таким образом, начальные значения конечных разностей для нахождения вершин тесселяции вдоль одного аргумента находятся заранее, а начальные значения конечных разностей по второму аргументу – константы. Текущие координаты вершин тесселяции вычисляются по выражениям (3),..., (5) за три операции суммирования, которые могут выполняться параллельно во времени. При необходимости вычисления координат могут быть реализованы аппаратно [4].

Сплайновые примитивы, выделенные на поверхности объекта, в общем случае имеют разные размеры и формы. В то же время для эффективного применения конечных разностей сетка вершин тесселяции должна быть топологически ортогональной и иметь одну постоянную размерность для всех примитивов. Чтобы выполнить это требование, нужно учесть, что примитивы с малыми абсолютными размерами выделяются там, где поверхность объекта имеет «пересеченную» (неровную) форму. Там и размеры полигонов после тесселяции должны быть небольшими. Напротив, участки поверхности без неровностей могут покрываться сплайнами больших размеров. В связи с этим можно текущие значения аргументов сплайн-функции отсчитывать в относительных единицах – шагах тесселяции, а размеры всех примитивов в этих единицах сделать одинаковыми. На рисунке показан сплайн-примитив в локальной системе координат, имеющей отсчеты в абсолютных (x, y) и относительных (n_x, n_y) координатах. Размеры сплайна – 4×4 шага ($n_x, n_y = 0, \dots, 4$). Угловые точки сплайна $P_{00}, P_{30}, P_{03}, P_{33}$ имеют в плоскости аргументов координаты $(x_{00}, y_{00}), (x_{30}, y_{30}), (x_{03}, y_{03}), (x_{33}, y_{33})$. Тогда текущие значения аргументов для выражения (1) находятся с помощью билинейной интерполяции

$$\begin{aligned} x &= \left(x_{03} \frac{n_y}{N} + x_{00} \left(1 - \frac{n_y}{N} \right) \right) \left(1 - \frac{n_x}{N} \right) + \left(x_{33} \frac{n_y}{N} + x_{30} \left(1 - \frac{n_y}{N} \right) \right) \frac{n_x}{N}, \\ y &= \left(y_{03} \frac{n_y}{N} + y_{00} \left(1 - \frac{n_y}{N} \right) \right) \left(1 - \frac{n_x}{N} \right) + \left(y_{33} \frac{n_y}{N} + y_{30} \left(1 - \frac{n_y}{N} \right) \right) \frac{n_x}{N}, \end{aligned}$$

где N – максимальное число шагов тесселяции сплайна вдоль координатной оси.

Легко видеть, что приведенные выражения являются линейными функциями двух дискретно изменяющихся аргументов и могут быть вычислены методом конечных разностей.



Размещение сплайна в локальной системе координат

Для вычисления освещенности в вершинах тесселяции необходимо знать координаты нормалей к поверхности сплайна. Они вычисляются через частные производные сплайн-функции по аргументам СКП. Частные производные степенного полинома также являются степенными полиномами. Это означает, что координаты нормалей могут быть рассчитаны в СКП методом конечных разностей. Отметим, что в СКП просто выполняется привязка текстур к поверхности сплайнов. В процессе отсечения сплайны (при необходимости) каждый раз разбиваются на четыре отсека, причем область определения каждого аргумента делится пополам. Следовательно, текстурные координаты для новых угловых точек отсеков находят простым делением предыдущих координат на два. Список вершин тесселяции с координатами нормалей или значений освещенности передается на растеризацию. Дальнейшая обработка (сборка примитивов, наложение теней и текстур на их поверхность) выполняется над полигональной моделью сплайна средствами графического процессора.

В СКО сплайн представляется своими опорными точками, а в СКП – коэффициентами формы. Поверхность сплайна в обеих системах координат имеет одну и ту же форму, однако в СКП выбирается некоторый диапазон изменения аргументов x^p , y^p , границы которого, в общем случае, не совпадают с границами в СКО. Это означает, что границы сплайна в СКП, по сравнению с границами в СКО, оказываются смещенными. Чтобы выполнить гладкую стыковку соседних сплайнов объекта, тесселяцию каждого сплайна в СКП нужно выполнять не до последнего набора вершин, лежащего на границе сплайна, а до предпоследнего (см. рисунок). Затем, на этапе сборки примитивов, вершины этого ряда соединяются плоскими полигонами с вершинами первого ряда вершин следующего сплайна. Это делают стандартные команды графической библиотеки, выбранной для реализации отображения, обычно это OpenGL или DirectX. Визуальное впечатление гладкости сопряжения усиливается благодаря затенению объекта в соответствии с выбранной моделью освещения.

Таким образом, предлагаемая организация процесса отображения сплайнов характеризуется более объемной предварительной обработкой, чем отображение полигонов, однако эта обработка относится к ограниченному числу опорных точек. В то же время работа с точками для сплайнов выполняется с высокой скоростью. Благодаря перераспределению операций между этапами графического конвейера, резко сокращаются временные затраты на отсечение полигонов, становится ненужным усреднение нормалей, вершины приобретают корректную освещенность. Примененный подход к отображению сплайнов учитывает, что ГСРВ, в отличие от САПР, ориентированы не на геометрическую точность представления объектов, а на их реалистическое восприятие наблюдателем. Отсюда вытекают допустимые упрощения процесса моделирования и отображения сцены. Конвейерная организация и аппаратная поддержка отображения позволяют выполнять его в режиме РВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.П. Трехмерная компьютерная графика / В.П. Иванов, А.С. Батраков; под ред. Г.М. Полищука. М.: Радио и связь, 1995. 224 с.
2. Эйнджел Э. Интерактивная компьютерная графика. Вводный курс на базе OpenGL, 2 изд. / Э. Эйнджел; пер. с англ. М.: Издат. дом «Вильямс», 2001. 592 с.
3. Косников Ю.Н. Технология отображения криволинейных поверхностей в графических системах реального времени / Ю.Н. Косников // Автоматизация и современные технологии. 2003. № 5. С. 37.
4. Патент РФ № 2218608. Устройство для отображения графической информации на экране растрового индикатора / Ю.Н. Косников, А.В. Нагаев // Изобретения. Заявки и патенты. 2003. № 34.

Косников Юрий Николаевич –

кандидат технических наук,
доцент кафедры «Программирование и вычислительные системы»
Пензенского государственного университета

УДК 539.193/.194;535/.33.34

П.М. Элькин, В.Ф. Пулин, Е.А.Джалмухамбетова

СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И АНГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ЗАМЕЩЕННЫХ УРАЦИЛА

В рамках метода DFT/B3LYP/6-31G(d) выполнен анализ колебательных спектров урацила и его метилзамещенных в ангармоническом приближении.

P.M. Elkin, V.F. Pulin, E.A. Djalmuhambetova

STRUCTURAL DYNAMIC MODELS AND ANHARMONIC ANALYSIS OF VIBRATIONAL SPECTRA OF METHYL SUBSTITUTED URACIL

The article shows an analysis of vibrational spectra of uracil, methyluracil, thymine is carried out by the method DFT/B3LYP/6-31G(d) in the anharmonic approximation.

Введение. Цель данного исследования – ангармонический анализ колебательных спектров метил- и галоидозамещенных урацила на основе ab initio квантовых расчетов параметров адиабатического потенциала молекул. Колебательным спектрам базовой молекулы – урацила, как простейшему основанию нуклеиновых частот, посвящено большое число экспериментальных и теоретических работ [1-10].

В обзоре [8], посвященном исследованию межмолекулярных связей урацила, предложена интерпретация фундаментальных колебаний плоских колебаний урацила в газовой фазе, в растворах, в поликристаллическом состоянии молекулы. Авторы ограничились гармоническим приближением теории молекулярных колебаний. Моделирование силовых полей и

электрооптических параметров осуществлялось методами решения обратных спектральных задач в рамках валентно-оптической схемы теории [11]. Имеющиеся квантовые расчеты колебательных состояний урацила редко выходят за рамки гармонического приближения, применяя процедуру масштабирования для получения удовлетворительного согласия с экспериментом [4]. При таком теоретическом подходе разноречивой в отнесении фундаментальных колебаний молекулы урацила неизбежен, что в действительности и имеет место.

Возможный выход из ситуации – исследование ангармонических колебательных состояний базовой молекулы – урацила прямыми квантовыми методами, свободными от дополнительных и обременительных предположений, присущих рутинным классическим методам [12]. Такую возможность предоставляют современные пакеты программ, например, «Gaussian-2003» [13]. Возникающая здесь проблема выбора метода расчета и базиса волновых функций была исследована в монографии [10] на основании проведенных численных экспериментов. Для молекул рассматриваемого класса наилучшими предсказательными возможностями обладает квантовый метод DFT/B3LYP/6-31G(d). На нем мы и остановились.

Ангармонический анализ моделей

Модельный гамильтониан, выбранный для решения ангармонической колебательной задачи во втором порядке теории возмущения, имеет следующий вид [10]

$$H^{(v)} = \frac{1}{2} \left\{ \left[P_s^2 + (\omega_s \tilde{Q}^s)^2 \right] + \left[P_s G_r^{ss'} \tilde{Q}^r P_s + F_{srt} \tilde{Q}^s \tilde{Q}^r \tilde{Q}^t \right] + \left[P_s G_{rt}^{ss'} \tilde{Q}^r \tilde{Q}^t P_s + F_{srvt} \tilde{Q}^s \tilde{Q}^r \tilde{Q}^t \tilde{Q}^v \right] \right\}, \quad (1)$$

где \tilde{Q}^s – криволинейные колебательные координаты; линейно связанные с естественными колебательными координатами; P_s – соответствующие им операторы импульсов; F_{srt} – кубические; F_{srvt} – квартирные силовые постоянные; $G_r^{ss'}$ и $G_{rt}^{ss'}$ – постоянные кинематической ангармоничности, явный вид которых приведен в монографии [10]. Если ими пренебречь, то модельный гамильтониан (2) принимает известный вид из монографии [14]. Однако в этом случае изменятся и численные значения силовых постоянных. Алгоритм перехода к ангармоническим силовым постоянным в произвольной системе колебательных координат, в основу которого положен математический аппарат тензорной алгебры, приведен в работах [15,16].

Решение уравнения (1) дает следующее выражение для колебательных уровней энергии:

$$E^{(v)} = \omega_s (v_s + g_s / 2) + \chi_{sr} (v_s + 1/2) (v_r + 1/2) (1 + 1/2 \delta_{sr}), \quad (2)$$

где ω_s (см⁻¹) – частоты гармонических колебаний; χ_{sr} (см⁻¹) – поправки ангармонического приближения; v_s – квантовые числа колебательного состояния. Везде предполагается суммирование по индексам s, r, t, v .

Явный вид выражений для коэффициентов χ_{sr} , являющихся функциями гармонических частот колебаний, ангармонических силовых и кинематических постоянных, приведен в работах [17,18]. При использовании соотношения (2) возникает проблема учета в константах ангармоничности χ_{sr} выражений вида $1/(\omega_s \pm \omega_r \pm \omega_t)$, определяющих так называемые резонансы Ферми [19]. Этот вопрос подробно рассмотрен в работах [17,18].

Программный комплекс [13] позволяет вычислять ангармонические постоянные χ_{sr} в системе нормальных координат [11], линейно связанных с декартовыми координатами. Для получения указанных молекулярных параметров в системе естественных колебательных координат можно воспользоваться соотношениями, предложенными в работе [20].

При построении структурно-динамических моделей исследуемых молекул предполагалась плоская структура шестичленного кольца (симметрии C_6). Результаты проведенного численного эксперимента представлены в табл. 1-5. Его сравнение с экспериментальными данными по структуре и спектрам урацила позволяет сделать следующие выводы:

1. Изменения геометрических параметров шестичленного кольца при замещении следует считать несущественными для задач колебательной спектроскопии.

2. Отнесение, предложенное в работе [8] для урацила, за исключением одного неплоского деформационного колебания связи С-Н, можно считать устоявшимся.

3. Характеристичность валентных колебаний связей С-О по частоте, форме и интенсивности имеет место для всех молекул. Отнесение неплоских деформационных колебаний этих связей трудностей не вызывает. Разброс их достигает $\sim 50 \text{ см}^{-1}$, но остальные неплоские колебания лежат вне этого диапазона. Частоты плоских деформационных колебаний подвержены большему влиянию в зависимости от положения и числа заместителей. Они попадают в диапазон, вмещающий деформационные колебания кольца, и по форме с ними перепутываются.

4. Частоты валентных колебаний связей С-СН₃ определяются числом заместителей и местоположением в кольце. Интервал их разброса достигает $\sim 70 \text{ см}^{-1}$ для кинематически подобных замещенных урацила. По форме они смешаны с деформационными колебаниями базового остова.

5. Как и следовало ожидать, хорошее совпадение опытных и вычисленных частот валентных колебаний связей С – Н ($3076\text{-}3084 \text{ см}^{-1}$), С – D ($2277\text{-}2306 \text{ см}^{-1}$) и N – H ($3435\text{-}3485 \text{ см}^{-1}$), N – D ($2567\text{-}2582 \text{ см}^{-1}$) достигается лишь при решении колебательной задачи в ангармоническом приближении. Можно говорить о характеристичности интенсивностей валентных колебаний связей N – H. Она существенно выше таковой для связей С – Н.

6. Учет ангармонизма колебаний (для этого достаточно ограничиться рамками теории возмущения во втором её порядке) приводит к лучшему согласию с экспериментальными данными, особенно для плоских колебаний. Исключение составляют частоты валентных колебаний связей С-О. Улучшение согласия вычисленных и экспериментальных значений несущественно. Влияние ангармоничности на отнесение фундаментальных неплоских частот колебаний урацила и его замещенных не столь существенно. Их поведение определяется взаимным расположением заместителей относительно атомов кислорода, поскольку сам урацил, с кинематической точки зрения, можно рассматривать как метазамещенные шестичленные азациклы. Для неплоских колебаний смена атома заместителя в заданном положении приводит к изменению частоты колебания, относящейся к выходу связи С-Х (Х = СН₃, Cl). Колебание является характеристичным по форме, а его интенсивность определяется электроотрицательностью атома заместителя.

7. Крутильное колебание метильной группы воспроизводится в случае, если плоскость кольца является плоскостью симметрии метилурацилов. Структура метильного фрагмента такова: длины связей С-Н имеют значения $1,09 \text{ \AA}$, отступление углов от тетраэдричности находится в границах $106,5^\circ\text{-}111,3^\circ$.

8. Отнесение колебаний по форме и потенциальной энергии для нехарактеристических колебаний является весьма условным, особенно для низкочастотной части спектра и неплоских колебаний. Отсюда и значительные различия в предвычисленных значениях интенсивностей ИК полос, определяемых как дипольным моментом, так и формой колебания того фрагмента, которому приписывается колебание.

9. Влияние резонанса Ферми сказывается на весьма ограниченном наборе колебательных уровней, и, согласно проведенному численному эксперименту, вписывается в рамки применяемого порядка теории возмущения. Имеющееся расхождение между вычисленными и опытными значениями валентных колебаний связей С-О этим эффектом не объясняется, как это предполагается в работах, связанных с теоретическим анализом колебательных спектров в гармоническом приближении [8]. Возможная причина – неадекватно выбранный локальный базис для атомов связи С-О. Однако это не сказывается на интерпретации колебательных спектров замещенных урацила.

10. В предсказательных расчетах для оценки влияния ангармоничности на фундаментальные частоты колебаний можно использовать масштабирующее соотношение [14] $v_m = v_h (0,9813 - 8,35E-06v_h)$.

11. Частоты валентных колебаний метильной группы метилзамещенных урацилов практически не отличаются от таковых в алкилзамещенных бензола и легко интерпретируются. Для деформационных колебаний это отличие существенно, определяется типом замещения, а по форме сильно перепутывается с близкими по частоте колебаниями азациклического кольца. Для надежной их интерпретации следует сопоставить соответствующие спектры галоидозамещенных урацила, что и было сделано в табл. 1-5.

Таблица 1

Геометрические параметры молекулы замещенных урацила
(длины связей в Å, углы в град)*

Соединения	Урацил[8]		Метилурацилы		Хлорурацилы
	Экс[8]	Расчет	Экс[1]	Расчет	Расчет
N ₁ C ₂	1,37	1,39	1,38	1,39-1,40	1,39-1,43
N ₁ C ₆	1,36	1,38	1,38	1,37-1,38	1,37-1,40
N ₁ X ₇	0,84	1,01	–	1,01(1,46)	1,01(1,73)
C ₂ N ₃	1,38	1,39	1,37	1,37-1,39	1,38-1,41
C ₂ O ₈	1,22	1,22	1,22	1,22	1,21-1,22
N ₃ C ₄	1,38	1,41	1,39	1,41-1,42	1,41-1,44
N ₃ X ₉	0,88	1,01	–	1,01(1,47)	1,01(1,72)
C ₄ C ₅	1,44	1,46	1,45	1,45-1,47	1,46-1,48
C ₄ O ₁₀	1,23	1,22	1,23	1,22	1,21-1,22
C ₅ C ₆	1,34	1,35	1,34	1,35	1,35-1,36
C ₅ X ₁₁	0,93	1,08	1,5	1,08(1,50)	1,08(1,73)
C ₆ X ₁₂	0,96	1,08	–	1,08(1,50)	1,08(1,74)
A(2,1,6)	122,7	123,7	121,3	121,8-123,9	123,3-125,1
A(2,1,7)	115,1	114,9	–	114,9-116,3	113,9-117,0
A(1,2,3)	114	112,8	114,6	112,5-115,3	111,4-112,7
A(1,2,8)	123,7	122,8	123,1	120,6-123,2	122,2-123,7
A(2,3,4)	126,7	128,3	127,2	125,4-128,2	127,4-129,4
A(2,3,9)	117,8	115,5	–	115,7-118,1	114,5-115,8
A(3,4,5)	115,5	113,4	115,2	114,5-115,2	111,9-113,5
A(3,4,10)	119,2	120,4	119,9	119,8-120,4	120,4-121,9
A(4,5,6)	118,9	119,9	118,0	118,2-121-1	119,5-122,0
A(4,5,11)	118,1	118,1	119,0	117,8-118,4	115,7-118,4
A(1,6,5)	122,3	121,9	123,7	122,7-123,3	121,1-122,5
A(1,6,12)	114,5	115,3	–	115,1-115,7	114,5-117,7

* В обозначении полагается, что X= H, C, Cl.

Таблица 2

Оценка резонанса Ферми в монометилзамещенных урацила

1-Метилурацил					5-Метилурацил(Thymine)				
i;j;k	Щель	K_{ijk}^{**}	E1	E2	i;j;k	Щель	K_{ijk}^{**}	E1	E2
7;6;1	6,81	-14,95	3628	3616	32;32;10	1,59	-36,44	1520	1476
7;7;1	4,42	21,67	3630	3603	33;32;12	8,53	13,18	1436	1424
11;7;2	8,90	15,77	3274	3260	33;33;14	7,12	-10,57	1382	1368
22;16;6	8,49	-12,36	1829	1817	36;30;16	8,01	13,08	1212	1199
39;28;9	0,00	35,34	1543	1518	35;31;17	5,15	17,21	1168	1154
24;21;15	9,02	-9,22	1235	1223	35;34;19	6,32	29,67	974	952
39;29;16	1,62	15,42	1207	1196	36;36;22	6,36	-8,93	609	596
35;35;20	9,96	-26,73	822	788	37;36;24	6,09	14,96	463	451
36;36;24	1,36	-24,70	483	452					
37;36;25	8,14	16,92	398	384					
29;28;26	0,60	-25,45	1495	1477					

** Кубические силовые постоянные (см^{-1})

Таблица 3

Интерпретация колебательных спектров урацила и дейтероурацилов*

Форма колеб.	Урацил- H_4		Урацил-D11		Урацил-D ₁₂		Урацил-D _{7,9}	
	$V_{\text{экс}}[8]$	$V_{\text{анх}}$	$V_{\text{экс}}[8]$	$V_{\text{экс}}[3]$	$V_{\text{анх}}$	$V_{\text{экс}}[3]$	$V_{\text{анх}}$	$V_{\text{анх}}$
$q_{\text{CO}}, \gamma_{\text{C}}$	1764	1810	1764	1790	1764	1790	1768	1778
$q_{\text{CO}}, \gamma_{\text{C}}$	1741	1784	1704	1749	1714	1752	1715	1742
Q_{CC}, β	1643	1653	1631	1627	1608	1613	1631	1630
$Q_{\text{CX}}, \gamma_{\text{C}}$	1472	1463	1461	1462	1462	1460	1438	1437
β, Q_{CX}	1399	1384	1397	1379	1381	1369	1379	1351
Q_{CN}, β	1389	1373	1343	1363	1343	1366	1316	1307
β	1360	1348	1312	1325	1304	1294	1210	1230
β, Q_{CX}	1217	1206	1147	1160	1169	1169	1140	1127
β, Q_{CX}	1184	1167	1125	1126	1078	1066	–	1081
Q_{CX}, γ	1073	1070	–	832	850	847	821	804
$\beta, \gamma_{\text{NCN}}$	982	978	973	967	1018	1010	878	902
$\gamma_{\text{C}}, Q_{\text{CX}}$	958	942	926	945	970	959	968	957
Q_{CN}	759	752	776	755	760	744	724	752
γ_{NCN}	559	549	552	543	537	541	542	533
$\gamma_{\text{N}}, \beta_{\text{NCO}}$	536	533	520	513	515	526	524	522
$\gamma_{\text{C}}, \gamma_{\text{NCN}}$	516	513	512	504	–	506	501	493
β_{NCO}	391	385	390	375	390	376	388	373
ρ_{CY}	842	948	–	916	850	840	918	942
ρ_{XY}	804	803	591	596	702	685	803	786
$\rho_{\text{CO}}, \chi_{\text{CN}}$	722	748	757	750	758	741	756	733
$\rho_{\text{CO}}, \chi_{\text{CN}}$	718	719	–	732	–	730	718	700
ρ_{NY}	662	667	662	670	662	663	505	510
ρ_{NY}	551	560	539	531	551	547	420	421
χ_{CX}	395	392	393	388	358	353	370	365
χ_{CX}	166	168	–	163	–	168	–	166
χ_{CX}	–	150	–	147	–	147	–	145

Форма колеб.	Урацил-Н ₄		Урацил-D11		Урацил-D ₁₂		Урацил-D _{7,9}	
	V _{экс} [8]	V _{анх}	V _{экс} [8]	V _{экс} [3]	V _{анх}	V _{экс} [3]	V _{анх}	V _{анх}
	Урацил-D _{11,12}		Урацил-D _{7,9,11}		Урацил-D _{7,9,12}		Урацил-D ₄	
	V _{экс} [3]	V _{анх}	V _{экс} [3]	V _{анх}	V _{экс} [3]	V _{анх}	V _{экс} [3]	V _{анх}
q _{CO} , γ _C	1764	1790	1744	1778	1750	1778	1749	1778
q _{CO} , γ _C	1731	1749	1713	1740	1710	1742	1710	1740
Q _{CC} , β	1607	1601	1631	1618	1601	1606	1602	1595
Q _{CX} , γ _C	1461	1453	1431	1423	1431	1421	1431	1410
β, Q _{CX}	1381	1366	1321	1327	1321	1328	1321	1308
Q _{CN} , β	1343	1363	1316	1306	1240	1258	1233	1228
β	1254	1245	1231	1220		1189	880	870
β, Q _{CX}	1115	1126	1111	1077	1111	1113	1010	1010
β, Q _{CX}	1047	1031	926	943	926	920	-	1176
Q _{CX} , γ	830	815	776	786	784	783	783	777
β, γ _{NCN}	-	853	849	829	881	871	805	809
γ _C , Q _{CX}	968	964	959	964	959	974	959	945
Q _{CN}	-	743	755	746	756	739		736
γ _{NCN}	537	539	538	531	539	530	532	528
γ _N , β _{NCO}	512	510	506	508	507	519	507	506
γ _C , γ _{NCN}	-	502	500	490	498	491	-	487
β _{NCO}	390	375	386	372	386	373	386	372
ρ _{CY}	760	762	926	916	-	840	754	761
ρ _{XY}	-	596	575	572		688	575	571
ρ _{CO} , χ _{CN}	-	741	-	749	756	738	754	737
ρ _{CO} , χ _{CN}	758	730	735	730	-	729	-	729
ρ _{NY}	662	665	506	510	498	502	498	502
ρ _{NY}	520	528	-	420	412	412	413	411
χ _{CX}	358	353	370	365	343	340	343	340
χ _{CX}	-	163	-	160	-	166	-	160
χ _{CX}	-	147	-	144	-	144	-	144

*X= C, N; Y= H,D

Таблица 4

Интерпретация колебательных спектров метилзамещенных урацила*

Форма колебаний	1-Метилурацил			5-Метилурацил			1,3-Диметилурацил		
	V _{exp} [1,2]	V _{анх}	IK	V _{exp} [4,5]	V _{анх}	IK	V _{exp} [1]	V _{анх}	IK
q _{CO} , γ _{NCN}	1765	1757	363,39	1772	1810	649,8	1724	1741	164,7
q _{CO} , γ _{NCC}	1738	1747	738,70	1735	1765	485,6	1690	1707	809,7
Q _{CC} , γ _{NCN}	1650	1633	100,1	1674	1677	45,28	1652	1639	51,9
Q _{CX} , β _{CXH}	1432	1425	99,29	1492	1472	18,82	1436	1412	14,91
Q _{CX} , β _{CNH}	1388	1382	29,83	1409	1389	92,52	1375	1361	148,3
Q _{NC} , β _{NCY}	1358	1353	112,8	1387	1365	15,88	1339	1336	67,98
β _{CXH} , Q _{CX}	1320	1318	63,35	1366	1349	11,07	1271	1262	10,11
Q _{C-Y}	1224	1202	16,62	1203	1203	18,47	1242	1221	18,60
Q _{CX} , γ _{CNX}	1188	1171	12,21	1177	1174	112,3	-	1054	1,34
Q _{CX} , γ _{CXC}	1150	1144	35,50	-	1128	6,19	1003	999	17,12

Форма колебаний	1-Метилурацил			5-Метилурацил			1,3-Диметилурацил		
	$V_{exp}[1,2]$	V_{anh}	IK	$V_{exp}[4,5]$	V_{anh}	IK	$V_{exp}[1]$	V_{anh}	IK
Q_{XC}, Y_{CXC}	963	949	8,06	945	939	10,07	–	928	2,11
Q_{CC}, Y_{CXC}	749	781	2,31	804	797	4,24	803	789	1,14
Y_{NCX}, Q_{N-CH_3}	712	739	4,96	–	724	3,79	680	671	4,72
Y_{XCX}, β_{NCO}	608	610	1,82	–	601	1,30	613	615	1,05
Y_{XCX}, β_{NCO}	538	530	8,10	541	538	7,16	512	503	9,94
Y_{XCX}	461	457	18,82	462	458	17,82	477	472	11,86
Y_{XXC}, β_{NCO}	388	379	22,13	391	386	20,10	404	401	32,73
β_{CNCH_3}	–	325	3,23	–	267	2,79	–	357	4,90
β_{CNCH_3}	–	–	–	–	–	–	–	313	3,11
ρ_{CH}	–	940	0,91	885	893	14,48	921	936	0,96
ρ_{CH}	802	790	49,13	658	672	84,29	803	788	36,78
ρ_{NH}, ρ_{CO}	760	737	59,55	767	761	21,37	763	733	26,41
ρ_{NH}, ρ_{CO}	–	703	0,11	755	743	56,00	712	700	3,74
ρ_{NH}	659	667	58,85	562	561	64,30	–	423	0,63
X_{CC}, ρ_{NCH_3}	–	396	6,92	391	395	20,23	–	249	0,18
ρ_{NCH_3}, X_{CN}	–	229	4,01	286	299	0,05	–	205	2,45
X_{CN}	–	157	1,66	148	150	0,37	–	126	8,82
X_{CN}	–	110	0,07	–	99	0,31	–	111	0,86

*X = C, N

Таблица 5

Ангармонические постоянные (X_{ij}) урацила и метилурацилов (cm^{-1})*

i,j^{**}	X_{ij}	i,j	X_{ij}	i,j	X_{ij}	i,j	X_{ij}	i,j	X_{ij}
Урацил									
1;1	-71,15	5;9	-3,41	3;12	-9,13	3;14	-7,02	3;23	-7,76
2;2	-70,70	6;9	-5,55	4;12	-3,84	7;14	-3,90	5;24	-4,53
3;3	-56,65	7;9	-13,06	7;12	-4,09	8;14	-5,11	9;24	-3,15
3;4	-13,82	8;9	-5,13	8;12	-4,14	2;16	-5,68	10;24	-5,47
4;4	-58,31	1;10	-3,93	9;12	-3,17	8;16	-4,80	3;25	-3,64
5;5	-7,43	2;10	-6,61	10;12	-2,86	9;16	-2,49	11;25	-3,77
6;6	-8,34	5;10	-3,71	1;13	-3,63	10;16	-5,19	2;26	-9,82
4;7	18,63	2;11	-10,94	2;13	-3,81	13;16	-3,50	11;26	-3,99
6;7	-3,22	5;11	-4,15	4;13	-4,02	8;17	-3,57	24;26	7,44
4;8	15,41	6;11	-3,87	6;13	2,03	16;17	-3,79	25;26	4,54
5;8	-5,91	7;11	-5,38	7;13	-3,99	8;18	-4,48	26;26	-6,00
7;8	-20,57	8;11	-3,15	8;13	-4,23	16;18	3,01	1;27	-14,04
8;8	-4,63	9;11	-4,95	9;13	-3,63	3;22	-5,35	15;28	4,10
1;9	-4,21	10;11	-3,37	10;13	-4,98	4;22	-14,88	17;28	-15,29
2;9	-3,77	1;12	-3,49	11;13	-3,83	7;22	-4,94	28;28	4,09
1-Метилурацил									
1;1	-72,02	10;10	-4,28	13;1	-6,46	14;12	-3,38	17;3	-4,18
2;2	-57,07	11;3	3,79	13;6	-5,05	15;2	-7,90	17;8	-4,66
3;2	-11,33	11;8	-8,33	13;7	-4,05	15;8	-3,81	17;10	-4,60
3;3	-59,61	11;9	-7,73	13;8	-3,10	16;1	-5,39	18;10	-3,76
7;7	-6,44	11;10	-9,66	13;12	-4,78	16;11	-3,10	18;11	-3,13

i,j^{**}	X_{ij}	i,j	X_{ij}	i,j	X_{ij}	i,j	X_{ij}	i,j	X_{ij}
8;3	10,58	11;11	-3,09	14;1	-4,96	16;13	-6,88	19;1	-4,85
9;9	-35,88	12;1	-10,08	14;3	-5,88	16;15	-4,06	19;13	-3,06
10;3	4,94	12;7	-4,72	14;8	-6,60	16;16	-3,15	19;16	-3,53
10;8	-12,24	12;8	-6,25	14;11	-3,21	17;2	-4,06		
5-Метилурацил (Thimin)***									
1;1	-71,74	13;2	-15,17	16;12	-3,63	28;9	-3,98	33;2	-13,31
2;2	-71,57	13;7	-3,83	16;15	-3,08	28;11	-4,91	33;23	-3,11
3;3	-61,52	13;8	-4,41	17;2	-3,01	28;18	-3,52	33;31	5,51
7;7	-8,46	14;2	-3,64	17;10	-3,44	28;27	-8,76	33;32	6,82
8;3	-10,96	14;3	-3,10	17;12	-3,93	28;28	-8,75	34;1	-11,11
8;8	-4,92	14;8	-11,70	17;15	-3,37	29;9	-3,46	35;34	5,20
9;3	-16,27	14;13	-5,09	17;16	-3,96	29;11	-5,55	36;34	4,91
9;8	14,47	15;8	-4,33	18;9	-3,23	29;27	-4,87	38;11	-4,81
9;9	-7,83	15;10	-4,07	21;12	-4,07	29;28	-4,93	38;18	-4,37
10;9	-13,97	15;12	-4,28	23;15	-5,34	30;3	-12,07	38;26	-9,33
10;10	-3,58	16;1	-6,38	27;9	-11,90	30;8	-3,43	38;28	-4,79
11;9	-4,69	16;2	-3,21	27;10	-4,24	30;30	-3,07	38;37	-5,84
11;11	-10,66	16;3	-4,56	27;11	-6,59	31;7	-4,17	38;38	-13,44
12;1	-6,89	16;8	-3,60	27;18	-3,47	31;12	-4,89		
12;10	-3,59	16;10	-3,81	27;27	-34,40	32;13	-5,00		

* Приведенные значения ограничены порогом 3 см^{-1} по абсолютной величине.

** i,j – номера фундаментальных колебаний.

*** Порядковые номера колебаний 4-6; 20,21 и 19,20 относятся к метильной группе в 1-метилпиридине и 5-метилпиридине соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Szczesniak M. Matrix isolation studies of nucleic acid constituents: 1-methyluracil, 3-methyluracil and 1,3 dimethyluracil monomers / M. Szczesniak, M.J. Nowak, K. Szczepaniak // *Spectrochimica. Acta.* 1984. Vol. 41A. P. 223-233.
2. Szczesniak M. Effect of intermolecular interaction on infrared spectrum of 1-methyluracil / M. Szczesniak, M.J. Nowak, K. Szczepaniak // *Spectrochimica. Acta.* 1984. Vol. 41A. P. 237-250.
3. Ivanov A.Y. FTIR spectroscopy of uracil derivatives isolated in Kr, Ar and Ne matrices: matrix effect and Fermi resonance / A.Y. Ivanov, A.M. Plokhotnichenko, E.D. Radchenko // *Journal of Molecular Structure.* 1995. Vol. 372. P. 91-100.
4. Aamouche A. Molecular force field of uracil and thymine, through neutron inelastic scattering experiment and scaled quantum mechanical calculation / A. Aamouche, G. Berthier, C. Coulombe // *Chemical Physics.* 1996. Vol. 204. P. 353-363.
5. The infrared spectra of uracil, thymine, and adenine in the gas phase / P. Colarusso, K. Zhang, B. Guo, P.F. Bernath // *Chemical Physics Letter.* 1997. Vol. 269. P. 39-48.
6. Dobrosz-Teperek K. Vibrational spectra of 5-halogenouracil / K. Dobrosz-Teperek, Z. Zwierzchowska, W. Lewandowski // *Journal of Molecular Structure.* 1998. Vol. 471. P. 115-125.
7. Zhang C.F. Density functional theory studies of methylated uracil: geometries and energies / C.F. Zhang, X.J. Chen, Z.S. Yuan // *Chemical Physics.* 2000. Vol. 256. P. 275-287.
8. Тен Г.Н. Анализ ИК спектров и водородных связей урацила и N_1, N_3 – дейтероурацилов / Г.Н. Тен, Т.Г. Бурова, В.И. Баранов // *Журнал структурной химии.* 2001. Т. 42. № 4. С. 666-676.

9. Ведяева С.Ю. Квантово-механическое исследование колебательных спектров галлоидозамещенных антрацена / С.Ю. Ведяева, М.Д. Элькин // Проблемы оптической физики. Саратов: Колледж, 2002. С. 74-80.

10. Пулин В.Ф. Исследование динамики молекулярных соединений различных классов / В.Ф. Пулин, М.Д. Элькин, В.И. Березин. Саратов: СГТУ, 2002. 548 с.

11. Колебание молекул / М.В. Волькенштейн, Л.А. Грибов, М.А. Ельяшевич, Б.И. Степанов. М.: Наука, 1976. 559 с.

12. Березин К.В. Квантовые методы расчета электронной структуры и решение на их основе спектральных задач для многоатомных молекул: автореф. дис. ... доктора физ.-мат. наук / К.В. Березин. Саратов, 2004. 36 с.

13. Gaussian 2003 / M.J. Frisch, G.W. Trucks, H.V. Schlegel et al. Inc. Pittsburgh P.A.

14. Браун П.А. Введение в теорию молекулярных спектров / П.А. Браун, А.А. Киселев. Л.: Наука, 1983. 342 с.

15. Пулин В.Ф. Расчетные формулы полуэмпирической теории интенсивностей оберточной спектроскопии / В.Ф. Пулин, М.Д. Элькин // Известия вузов. Физика. 1998. Вып. 2. С. 59-64.

16. Элькин П.М. Математические соотношения для естественных колебательных координат в задачах оберточной спектроскопии / П.М. Элькин, В.Ф. Пулин, В.И. Березин // Журнал прикладной спектроскопии. 2005. Т. 72, № 5. С. 694-696.

17. Элькин М.Д. Ангармонический анализ колебательных спектров многоатомных молекул / М.Д. Элькин // Оптика и спектроскопия. 1983. Т. 54, № 5. С. 895-898.

18. Элькин М.Д. Ангармонический анализ интенсивностей в ИК колебательных спектрах многоатомных молекул / М.Д. Элькин // Оптика и спектроскопия. 1984. Т. 57. № 3. С. 561-564.

19. Лицица М.П. Резонанс Ферми / М.П. Лицица, А.М. Яремко. Киев: Наукова думка, 1984. 264 с.

20. Элькин П.М. Метрические соотношения для естественных колебательных координат / П.М. Элькин, В.И. Березин // Проблемы оптической физики. Саратов: Колледж, 2004. С. 122-128.

Элькин Павел Михайлович –

кандидат физико-математических наук,
ассистент кафедры «Техническая физика и информационные технологии»
Энгельсского технологического института
Саратовского государственного технического университета

Пулин Виктор Федотович –

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Физика»
Саратовского государственного технического университета

Джалмухамбетова Елена Азатуллаевна –

аспирант кафедры «Техническая физика и информационные технологии»
Энгельсского технологического института
Саратовского государственного технического университета

НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

УДК 629.113

Е.В. Балакина, А.А. Ревин**МЕТОДИКА ОПИСАНИЯ УПРУГИХ И НЕУПРУГИХ УГЛОВЫХ КОЛЕБАНИЙ
УПРАВЛЯЕМЫХ КОЛЕС ПО ЭТАПАМ ИХ ПОВОРОТА**

Проблема устойчивости движения автомобиля определяется боковым уводом эластичных шин и колебаниями управляемых колес (УК). Колебательная система «управляемые колеса – рулевой механизм» является математически сложной в связи с влиянием многочисленных зазоров в цепи кинематических пар на параметры угловых колебаний управляемых колес. Приведено математическое описание колебаний УК автомобиля по этапам, определяемым зазорами в цепи пар износа рулевого управления и упругой податливостью рулевого привода. Методика может быть использована при оценке устойчивости движения колесного автомобиля.

E.V. Balikina, A.A. Revin**METHOD OF DESCRIPTION OF RESILIENT AND RIGID ANGULAR OSCILLATIONS
OF CONTROLLED WHEELS BY STAGES OF THEIR TURNS**

The problem of vehicle movement stability is determined by a side strain of elastic tiers and controlled wheels oscillations. The oscillatory system «controlled wheels – steering devise» is mathematically complicated in connection with influence of numerous clearances in kinematics pairs on parameters of angular oscillations of controlled wheels. A mathematical description of an automobile CW is given in this article according to different stages of the mentioned problem. This method may be used at the evaluation of the wheeled vehicle movement firmness.

Связь управляемого колеса с осью шкворня двухсторонняя (удерживающая), дифференциальная. Она может быть голономной и неголономной в зависимости от частных условий движения управляемого колеса (УК) по этой координате [1]. Осью шкворня будем считать ось, вокруг которой поворачивается управляемое колесо при изменении направления движения автомобиля. Управляемые колеса, имеющие дополнительную степень свободы по сравнению с неуправляемыми, при некоторых условиях могут начать колебаться вокруг осей шкворней. Увеличение амплитуды указанных колебаний может быть весьма опасным вследствие их влияния на траекторию движения автомобиля. Кроме того, они увеличивают износ шин, шарниров подвески, колеса и рулевого привода.

Система «управляемые колеса – боковые тяги – средняя тяга – рулевой механизм» является математически сложной по причине множества зазоров в парах трения, которые оказывают значительное влияние на параметры угловых колебаний УК. Максимальные величины допустимых зазоров в некоторых сопряжениях подвески и колеса существующих легковых автомобилей, складывающиеся из допусков на изготовление и предельных износов при эксплуатации, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Максимальные значения величин зазоров в некоторых соединениях подвески и колеса существующих легковых автомобилей

Максимальный диаметральный зазор, мм	Узел			Подшипник
	Сочленение шара и подпятника	ШРУС		
		Наружный шарнир	Внутренний шарнир	
0,8		0,1	0,1	0,16
		суммарный		
		0,2		

Согласно ГОСТ 25478-91 РФ «Автотранспортные средства. Требования к техническому состоянию по условиям безопасности движения. Методы проверки», суммарный люфт в рулевом управлении не должен превышать допустимых значений, приведенных в табл. 2.

Таблица 2

Допустимые значения суммарного люфта в рулевом управлении

Транспортное средство	Допустимый люфт в рулевом управлении, в градусах угла поворота рулевого колеса	Соответствующий угол самоповорота УК при неподвижном рулевом колесе, в градусах угла поворота УК
Легковые автомобили и созданные на базе их агрегатов грузовые автомобили и автобусы	10°	0,7°
Автобусы	20°	1,3°
Грузовые автомобили	25°	1,7°

Проанализируем табл. 2. Зазоры в сочленениях шарнира равных угловых скоростей и подшипника колеса, хотя и имеют допустимую диаметральную величину до 0,2 мм, значительного влияния на угол самоповорота УК не оказывают. А вот зазор в сочленении шара и подпятника дает при длине поворотного рычага поворотного кулака 0,1 м угол самоповорота УК 0,45°, а при длине 0,2 м, как у некоторых зарубежных легковых автомобилей высокой проходимости, – 0,9°.

Величины общих допустимых углов самоповорота УК в пределах общих зазоров в рулевом управлении, подсчитанные авторами из требований ГОСТ 25478-91 РФ и из средних передаточных чисел рулевых механизмов, приведены в табл. 2 для разных типов транспортных средств. Таким образом, собственный зазор управляемого колеса (в сочленениях от колеса до рулевого механизма) может составлять от общего допустимого зазора в рулевом управлении 50...100%, а зазор в рулевом механизме – 0...50% от общего допустимого зазора. В связи с этим, при расчетах параметров угловых колебаний управляемых колес следует не только разделять колебания в пределах общего зазора и в пределах упругой податливости

рулевого привода, но также делить колебания в пределах зазора на колебания в пределах собственного зазора и на колебания в пределах зазора в рулевом механизме.

Управляемые колеса могут перемещаться вокруг осей шкворней в пределах перечисленных зазоров, и эти колебания будут *неупругими*, а также могут перемещаться в пределах упругой податливости рулевого привода, и эти колебания будут *упругими*. Неупругие колебания УК неупруги лишь условно, так как при отсутствии скольжения в пятне контакта колеса с дорогой при его повороте имеет место угловое упругое сопротивление шины, определяемое ее угловой жесткостью. Но поскольку она мала по сравнению с жесткостью рулевого привода, то ей допустимо пренебрегать.

Сначала будем находить параметры колебаний УК в плоскости, перпендикулярной оси шкворня, поскольку именно в этой плоскости они и поворачиваются. Для оценки устойчивости движения автомобиля нужны углы отклонений векторов поступательных скоростей УК от заданного направления движения автомобиля в горизонтальной плоскости. Соответствующие углы в горизонтальной плоскости и в плоскости, перпендикулярной оси шкворня, связаны простой зависимостью, которая будет рассмотрена ниже.

Рассмотрим алгоритм возможных вариантов последовательности выбора зазоров управляемыми колесами для определения основы к построению методики математического описания поэтапного колебательного процесса управляемых колес автомобиля.

Угловые колебания УК в плоскости осей шкворней при закрепленном рулевом колесе можно разделить на три этапа: 1 – неупругий самоповорот УК в пределах собственных зазоров (в цепи сопряженных пар «колесо – рулевой механизм»); 2 – неупругий самоповорот УК в пределах зазора в рулевом механизме; 3 – упругий самоповорот УК в пределах упругой податливости рулевого привода.

На *первом* этапе происходит неупругий самоповорот каждого УК в пределах своих собственных зазоров в шарнирах в цепи сопряженных пар «колесо-рулевой механизм» без учета рулевого механизма под воздействием суммарных моментов $M_{\Theta l}$ и $M_{\Theta r}$, поворачивающих левое и правое УК в плоскости, перпендикулярной оси шкворня [1,2,3].

Для левого УК указанные зазоры – это зазоры, связанные с: увеличением ширины беговой дорожки подшипника левого колеса; изменением размеров сочлененных деталей соединения внешнего шарнира левой боковой тяги; изменением размеров сочлененных деталей соединения «внутренний шарнир левой боковой тяги – левый шарнир средней тяги». Для правого УК указанные зазоры – это зазоры, связанные с: увеличением ширины беговой дорожки подшипника правого колеса; изменением размеров сочлененных деталей соединения внешнего шарнира правой боковой тяги; изменением размеров сочлененных деталей соединения «внутренний шарнир правой боковой тяги – правый шарнир средней тяги». Этап заканчивается при полном выборе собственного зазора хотя бы одним УК.

На *втором* этапе начинается совместный или обособленный самоповорот двух или одного УК в пределах зазора в рулевом механизме под воздействием тех же суммарных моментов $M_{\Theta l}$ и $M_{\Theta r}$, поворачивающих левое и правое УК в плоскости, перпендикулярной оси шкворня. Этап заканчивается при полном выборе зазора в рулевом механизме хотя бы одним УК.

На *третьем* этапе, при коротких боковых тягах, закрепленных приблизительно по концам средней тяги, происходит самоповорот правого УК в пределах упругой податливости правой боковой тяги и средней тяги, расположенных последовательно. Здесь угол самоповорота левого УК в пределах упругой податливости левой боковой тяги значительно меньше по величине по отношению к углу самоповорота правого колеса, поскольку длина только левой боковой тяги приблизительно в три раза меньше суммы длин средней тяги и правой боковой тяги. При длинных боковых тягах, закрепленных приблизительно посередине средней тяги, происходит самоповорот правого УК в пределах упругой податливости правой боковой тяги, а также самоповорот левого УК в пределах упругой податливости левой боковой тяги, причем максимально возможные углы самоповорота левого и правого УК приблизительно рав-

ны. На рис. 1 представлена условная схема расположения зазоров и податливых элементов в цепи «управляемое колесо-рулевой привод».

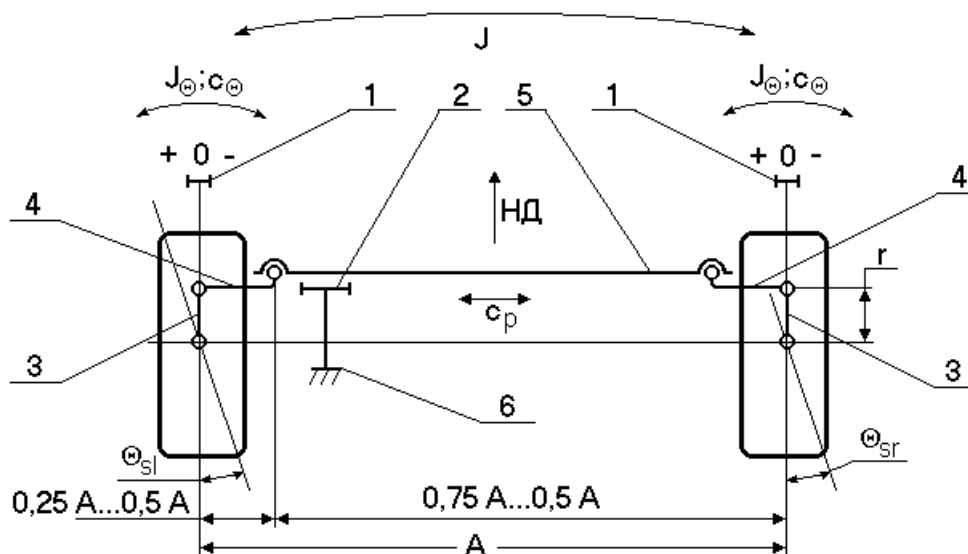


Рис. 1. Схема расположения зазоров и податливых элементов в цепи «управляемое колесо – рулевой привод»: 1 – собственные зазоры каждого УК, соответствующие первому этапу самоповорота; 2 – зазор в рулевом механизме; 3 – рычаги рулевой трапеции; 4 – боковые тяги; 5 – средняя тяга; 6 – закрепленное рулевое колесо

На каждом из этапов самоповорота суммарный угол самоповорота левого или правого УК можно вычислить по следующим формулам:

$$\Theta_{sl} = \Theta_l + \Theta_{cl} + \Theta_{pxl} + \Theta_{pzl} ; \quad \Theta_{sr} = \Theta_r + \Theta_{cr} + \Theta_{pxr} + \Theta_{p zr} , \quad (1)$$

где Θ_s – суммарный угол самоповорота соответствующего колеса; Θ – угол неупругого самоповорота соответствующего колеса; Θ_c – угол упругого самоповорота соответствующего колеса; Θ_{px} – дополнительный угол поворота соответствующего УК вокруг оси шкворня от продольной податливости подвески; Θ_{pz} – дополнительный угол поворота соответствующего УК вокруг оси шкворня от вертикальной податливости подвески. Индексы l, r относятся к левому и правому колесам.

Углы поворота УК от податливости подвески можно вычислить [3]:

$$\Theta_{px} = \frac{|X|^2}{2w_1} ; \quad w_1 = r \cdot R_T ,$$

где X – продольные линейные перемещения колеса относительно кузова; r – длина поворотного рычага (расстояние в горизонтальной плоскости между внешним шарниром боковой тяги и осью шкворня при нейтральном положении колеса); R_T – длина боковой тяги.

$$\Theta_{pz} = \sqrt{\frac{|Z|^2}{r^2} + w_2^2} - w_2 ; \quad w_2 = \frac{R_T}{r} ,$$

где Z – вертикальные линейные перемещения колеса относительно кузова.

Углы Θ_{px} и Θ_{pz} являются функциями продольной X и вертикальной Z линейных координат УК относительно кузова, а также геометрических параметров рулевого привода. Поскольку они имеют однозначное соответствие с параметрами X и Z , а не накапливаются по шагам, то их следует прибавлять к Θ_s в начале каждого шага вычислений и отнимать в конце.

Первый этап. Неупругий самоповорот УК в пределах собственных зазоров.

На первом этапе $\Theta_c=0$, а углы Θ неупругого самоповорота соответствующего колеса в пределах собственных зазоров можно находить из зависимостей:

$$I_{\Theta} \cdot \ddot{\Theta}_l = M_{\Theta l} ; \quad I_{\Theta} \cdot \ddot{\Theta}_r = M_{\Theta r} , \quad (2)$$

где I_{Θ} – момент инерции колеса в сборе в горизонтальной плоскости относительно оси шкворня; M_{Θ} – суммарный момент, поворачивающий соответствующее УК в плоскости, перпендикулярной оси шкворня.

На данном этапе расчет по формулам (2) следует продолжать, пока один из углов Θ_l , Θ_r не станет равным предельно допустимому по величине соответствующих зазоров, то есть пока

$$|\Theta_{sl}| \leq L_l \text{ или } |\Theta_{sr}| \leq L_r ,$$

где L_l , L_r – собственные угловые зазоры соответствующего УК.

Второй этап. Неупругий самоповорот УК в пределах зазора в рулевом механизме.

Если одно из приведенных условий не выполняется, то наступает второй этап, в котором ведущим звеном поворотной цепи рулевого управления может быть как левое, так и правое управляемое колесо. На втором этапе также углы $\Theta_c=0$, а углы Θ неупругого самоповорота соответствующего колеса в пределах зазора в рулевом механизме L_{pm} можно находить из зависимостей (2). Здесь возможны для каждого из УК по четыре сочетания направлений угла поворота колеса и поворачивающего момента. Рассмотрим эти сочетания на примере правого колеса.

I. $|\Theta_{sr}| \geq L_r$. Это условие начала второго этапа для правого УК.

1. При $\Theta_{sr}>0$; $M_{\Theta}>0$ происходит дальнейший самоповорот ведущего (правого) УК против часовой стрелки в пределах зазора в рулевом механизме. При неизменных внешних условиях так продолжается, пока $|\Theta_{sr}| \leq L_r + L_{pm}$, а ведомое УК (в данном случае левое) может в это время выбирать свой собственный зазор L_l , а если он уже выбран со знаком « \leftarrow », то оно продолжает перемещаться уже совместно с правым колесом.

2. При $\Theta_{sr}>0$; $M_{\Theta}<0$ возможен дальнейший одиночный самоповорот правого УК в противоположном направлении, по часовой стрелке, и одиночный самоповорот левого УК в любом направлении. Кроме того, при неполном выборе левым колесом своего собственного зазора в сторону « \leftarrow » будет происходить совместный самоповорот обоих колес по часовой стрелке в пределах зазора в рулевом механизме.

3. При $\Theta_{sr}<0$; $M_{\Theta}<0$ происходит дальнейший самоповорот ведущего (правого) УК по часовой стрелке в пределах зазора в рулевом механизме. При неизменных внешних условиях так продолжается, пока $|\Theta_{sr}| \leq L_r + L_{pm}$, а ведомое УК (в данном случае левое) может в это время выбирать свой собственный зазор L_l , а если он уже выбран со знаком « \rightarrow », то оно продолжает перемещаться уже совместно с правым колесом.

4. При $\Theta_{sr}<0$; $M_{\Theta}>0$ возможен дальнейший одиночный самоповорот правого УК в противоположном направлении, против часовой стрелки, и одиночный самоповорот левого УК в любом направлении. Кроме того, при неполном выборе левым колесом своего собственного зазора в сторону « \rightarrow », будет происходить совместный самоповорот обоих колес против часовой стрелки в пределах зазора в рулевом механизме.

II. $|\Theta_{sl}| \geq L_l$. Это условие начала второго этапа для левого УК. В этом случае возможные сочетания направлений движения аналогичны рассмотренным выше.

Третий этап. Упругий самоповорот УК в пределах упругой податливости рулевого привода.

Как было сказано, при выборе зазора в рулевом механизме происходит упругая деформация звеньев рулевого привода. Для учета всех возможных вариантов конструкции ру-

левого привода будем рассматривать различные соотношения длин звеньев правое УК – рулевой механизм и левое УК – рулевой механизм. Обозначим линейную жесткость рулевого привода при растяжении – сжатии через C_p ; жесткость звена левое УК – рулевой механизм – через C_{pl} ; жесткость звена правое УК – рулевой механизм – через C_{pr} . Так как жесткость элемента, близкого (подобного) к стержню, при осевом растяжении – сжатии обратно пропорциональна его длине, то для двух граничных случаев расположения боковых тяг при левом рулевом колесе получим:

– при установке боковых тяг по концам средней тяги, как показано на рис. 1,

$$C_{pl} \approx \frac{3}{4} C_p ; C_{pr} \approx \frac{1}{4} C_p ;$$

– при установке боковых тяг посередине средней тяги

$$C_{pl} \approx C_{pr} \approx \frac{1}{2} C_p .$$

При малых суммарных углах Θ_s угловые жесткости соответствующих звеньев при повороте УК вокруг осей шкворней будут иметь следующие значения:

$$C_{\Theta_l} \approx C_{pl} \cdot r^2 ; C_{\Theta_r} \approx C_{pr} \cdot r^2 .$$

На данном этапе угол свободного, неупругого перемещения Θ перестает нарастать. Он остается неизменным с наступлением третьего этапа для данного колеса, но суммарный угол Θ_s изменяется вследствие колебаний УК в пределах упругой податливости рулевого привода. То есть при $|\Theta_s| > L + L_{pm}$ для соответствующего колеса находим приращение к суммарному углу самоповорота в виде Θ_c , которое определяется из уравнения упругих колебаний:

$$I_{\Theta} \ddot{\Theta}_{cl} + r_{\Theta} \dot{\Theta}_{cl} + C_{\Theta_l} \Theta_{cl} = M_{\Theta_l} ; I_{\Theta} \ddot{\Theta}_{cr} + r_{\Theta} \dot{\Theta}_{cr} + C_{\Theta_r} \Theta_{cr} = M_{\Theta_r} , \quad (3)$$

где Θ_c – угол упругого самоповорота соответствующего колеса; M_{Θ} – суммарный момент, поворачивающий соответствующее УК в плоскости, перпендикулярной оси шкворня; C_{Θ} – угловая жесткость соответствующего звена при повороте УК вокруг оси шкворня; r_{Θ} – коэффициент сопротивления соответствующего звена при повороте УК вокруг оси шкворня; I_{Θ} – момент инерции колеса в сборе в горизонтальной плоскости относительно оси шкворня.

Итак, имеем все данные для определения суммарного угла Θ_s самоповорота каждого УК в плоскости, перпендикулярной оси шкворня, по формулам (1). Но для оценки устойчивости движения автомобиля нужны не эти углы, а углы самоповорота УК относительно своего нейтрального положения в горизонтальной плоскости. Выведем зависимость, связывающую соответствующие углы в горизонтальной плоскости и в плоскости, перпендикулярной оси шкворня. Обратимся к рис. 2.

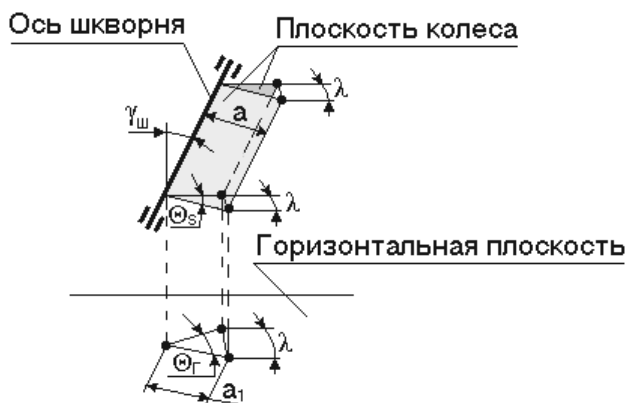


Рис. 2. Пояснительная схема для пересчета угла поворота УК в плоскости, перпендикулярной оси шкворня, на угол в горизонтальной плоскости

На рисунке приняты следующие обозначения: Θ_s – суммарный угол самоповорота УК в плоскости, перпендикулярной оси шкворня; Θ_z – тот же угол в горизонтальной плоскости; $\gamma_{ш}$ – угол продольного наклона оси шкворня; a, a_1, λ – вспомогательные геометрические параметры.

$$\Theta_s \approx \frac{\lambda}{a}; \quad \Theta_z \approx \frac{\lambda}{a_1}; \quad a_1 = \frac{a}{\cos \gamma_{ш}};$$

$$\Theta_z = \Theta_s \cdot \cos \gamma_{ш}.$$

По аналогии, с учетом угла поперечного наклона оси шкворня $\beta_{ш}$,

$$\Theta_z = \Theta_s \cdot \cos \beta_{ш} \cdot \cos \gamma_{ш}.$$

Найденный в каждый момент времени угол Θ_z есть угол самоповорота в горизонтальной плоскости управляемого колеса относительно своего нейтрального положения. Этот угол в сумме с соответствующим углом увода δ дает в каждый момент времени величину отклонения вектора поступательной скорости колеса от заданного направления движения автомобиля. По этому отклонению можно судить об устойчивости движения автомобиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балакина Е.В. Система колесо-подвеска и устойчивость движения автомобиля в режиме торможения / Е.В. Балакина, А.А. Ревин. Волгоград: РПК «Политехник», 2004. 306 с.
2. Балакина Е.В. «Весовой» стабилизирующий момент управляемых колес автомобиля / Е.В. Балакина // Автомобильная промышленность. 2004. № 8. С. 14-16.
3. Ревин А.А. Кинематические связи управляемых колес с рулевым приводом / А.А. Ревин, Е.В. Балакина // Автомобильная промышленность. 2005. № 5. С. 19-21.

Балакина Екатерина Викторовна –

кандидат технических наук,
докторант кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей»
Волгоградского государственного технического университета

Ревин Александр Александрович –

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей»
Волгоградского государственного технического университета

УДК 621.753.3

А.Н. Васин

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ВЕЛИЧИНЫ ПРИПУСКА

Приведен анализ механизма влияния технологических факторов на погрешности формы и размеры деталей, влияния погрешности формы заготовки на форму готовой детали и рациональное число технологических переходов. Показано влияние случайных факторов и технологических пара-

метров на величину припуска. Представлены технологические факторы, оказывающие наибольшее влияние на величину припуска и погрешности формы и размеров деталей.

A.N. Vasin

TECHNOLOGICAL FACTORS INTERRELATIONS ANALYSIS AND ALLOWANCE'S SIZES

The analysis of the mechanism of influence of technological factors on the form errors and detail sizes and an influence of an error of the form of preparation on the form of a ready-made detail and a rational number of technological transitions is given here. Random factors and technological parameters influence on size of an allowance is shown in this article. The technological factors rendering the greatest influence on size of an allowance and an error of the form and the sizes of details are presented here in the article.

Погрешности размеров и формы являются основными характеристиками геометрической точности деталей. Они оказывают существенное влияние на сборку и заданное функционирование, как отдельных узлов, так и машин в целом. Отклонения от правильной геометрической формы вызывают неравномерность зазоров и натягов в соединении деталей машин. А это приводит к повышенному и неравномерному износу поверхностей деталей, снижению точности выполнения служебных функций соединений, к искажению характера посадки, неравномерному распределению напряжений в посадках с натягом и, соответственно, ухудшению эксплуатационных характеристик и ресурса работы изделия или машины.

В связи с этим большое значение приобретают вопросы точности геометрической формы готовых деталей и заготовок и разработка методик суммирования погрешностей размеров и формы при определении точности обработки.

При обработке заготовок в результате действия многочисленных технологических факторов возникают отклонения от заданной точности геометрической формы и размеров деталей. При этом, в результате неравномерной величины припуска, из-за непостоянства размеров заготовок в партии, нестабильности механических свойств материала, затупления режущего инструмента и т.п., сила резания в процессе обработки изменяется, что, в свою очередь, вызывает неравномерные упругие отжатия элементов технологической системы. Их величина зависит как от силы резания, так и от способности противостоять этой силе, то есть жесткости технологической системы. В результате этого появляются различные по величине погрешности формы обработанной поверхности заготовок и разброс размеров деталей в партии.

В работах [1, 2] показано, что величина припуска z является случайной функцией случайных величин: текущего радиуса заготовки R_3 и случайного настроечного размера r , так как в выражении для определения z

$$z = \frac{J_{T.C.}}{J_{T.C.} + J_P} (R_3 - r) , \quad (1)$$

где $J_{T.C.}$ – жесткость технологической системы; J_P – коэффициент пропорциональности или жесткость резания, исходные размеры заготовок и величина настроечного размера – независимые величины. Поэтому среднее квадратическое отклонение (СКО) величины припуска определяется выражением

$$\sigma_z = \frac{J_{T.C.}}{J_{T.C.} + J_P} \sigma_3 \sqrt{1 + \frac{\sigma_r^2}{\sigma_3^2}} , \quad (2)$$

где σ_r – среднее квадратическое отклонение радиуса детали; σ_3 – среднее квадратическое отклонение радиуса заготовки.

Как показывает анализ зависимости (2) и графика, представленного на рис. 1, видно, что с увеличением жесткости технологической системы и погрешностей настройки на заданный размер увеличивается СКО рассеивания величин припусков. Существенное влияние на поле рассеивания значений припусков имеют соотношения жесткости резания и жесткости технологической системы. Такой характер и параметры кривых графика объясняются тем, что при слишком высоком значении жесткости технологической системы, намного превышающем жесткость резания, её упругая деформация имеет незначительную величину, и все погрешности заготовки и погрешности позиционирования прямо отражаются на рассеивании величин припуска. При уменьшении жесткости резания влияние этих факторов на рассеивание значений припусков снижается из-за упругой деформации технологической системы и её более гибкой приспособляемости к условиям обработки. Следовательно, не всегда следует стремиться к высокой жесткости технологической системы – она должна быть соразмерна точности оборудования и погрешностям заготовки.

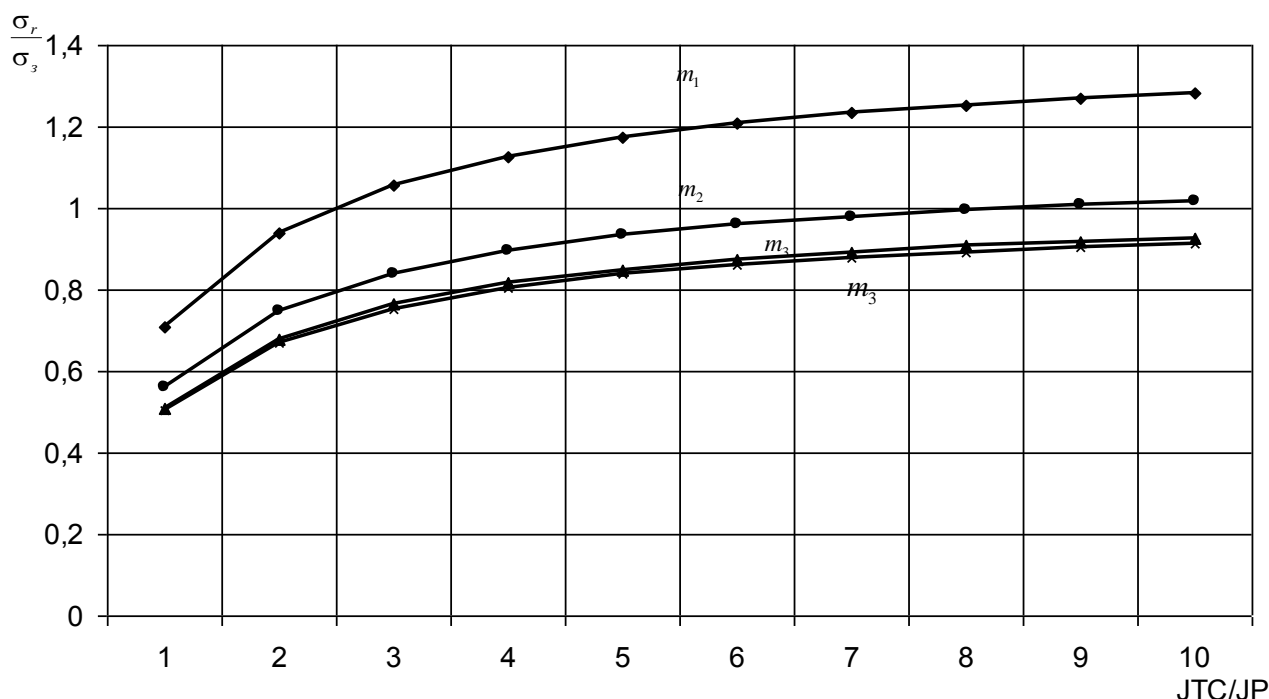


Рис. 1. Зависимость соотношения СКО величины припуска и размеров заготовки от изменения СКО настроечного размера и размера заготовки и соотношения жесткости технологической системы и жесткости резания:

$$m_1 - \sqrt{\frac{\sigma_r^2}{\sigma_3^2}} = 1; m_2 - \sqrt{\frac{\sigma_r^2}{\sigma_3^2}} = 0,5; m_3 - \sqrt{\frac{\sigma_r^2}{\sigma_3^2}} = 0,2; m_4 - \sqrt{\frac{\sigma_r^2}{\sigma_3^2}} = 0,1$$

Кроме того, зависимость (2) и график, представленный на рис. 1, показывают влияние на СКО величины припуска соотношения погрешности позиционирования и погрешности заготовки. С увеличением этого соотношения рассеивание величины припуска, а, следовательно, и средняя величина припуска возрастают. Однако существенное влияние этого фактора проявляется лишь при $\frac{\sigma_r}{\sigma_3} \geq 0,5$. Следовательно, с точки зрения обеспечения минималь-

ной величины припуска погрешность позиционирования не должна превышать половины от погрешности размера заготовки.

В результате анализа воздействия случайных факторов на размер заготовки и на настроечный размер было получено выражение для определения плотности вероятности распределения величины припуска и параметров этого распределения: математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение величины припуска.

С учетом значений этих параметров, задаваясь допустимой долей дефектных деталей после механической обработки, можно назначить минимальное значение припуска, обеспечивающее заданное качество механической обработки на данной операции.

Из рис. 2 видно, что чем больше величина минимально допустимого припуска, тем больше вероятность брака. И наоборот, чем больше среднее значение припуска, тем вероятность брака меньше.

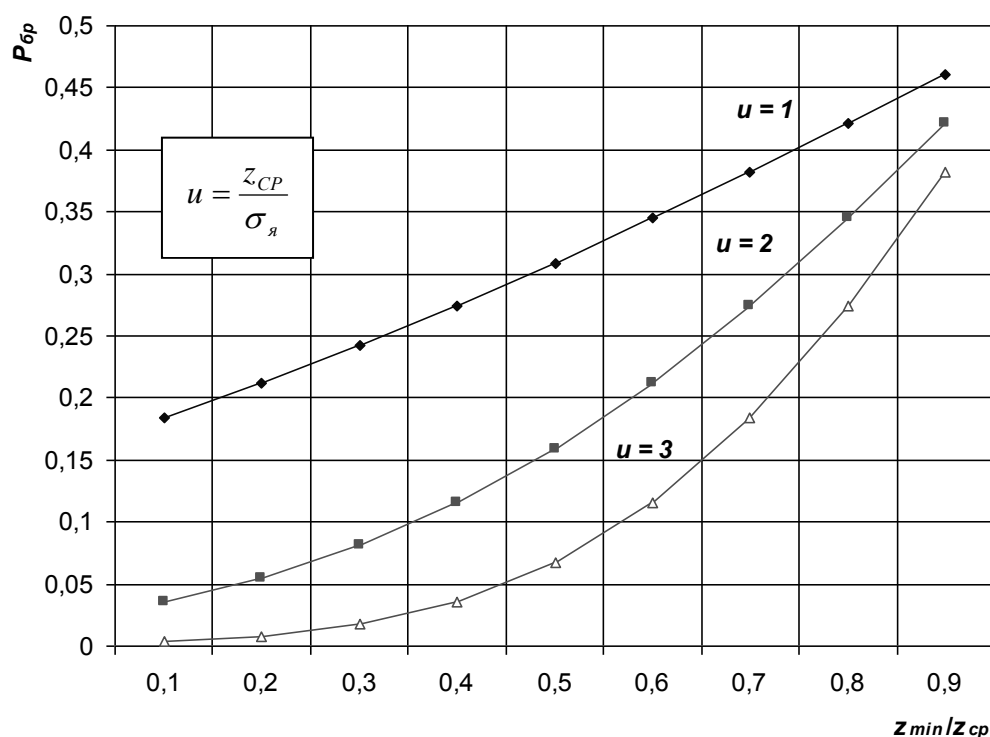


Рис. 2. Зависимость вероятности получения брака от относительной величины операционного припуска

Известно, что чем больше допустимая вероятность брака, тем больше затрат на доработку изделий и затрат, связанных с отходом заготовок. Но чем меньше величина припуска на изготовление изделий, тем меньше величина затрат на его удаление и стоимость материала заготовок. Поэтому среднее значение величины припуска следует выбирать исходя из расчета экономически допустимой доли брака (рис. 3).

Кроме того, выполненные исследования позволили проанализировать влияние погрешностей формы заготовки на форму готовой детали и на рациональное число технологических переходов, которое необходимо осуществить, чтобы из заданной заготовки с минимальными затратами получить готовую деталь. Причем при анализе влияния погрешностей формы заготовки на форму готовой детали учитывались факторы, снижающие величину погрешностей заготовки, и факторы, способствующие появлению новых погрешностей.

$$R_A = \frac{J_P}{J_{T.C.} + J_P} \left(R_0 + \sum_{k=2}^p A_k \cos(k\phi + \psi_k) + A_1 \cos(\phi + \psi_1) \right) + \frac{J_{T.C.}}{J_{T.C.} + J_P} r + \frac{J_{T.C.}}{J_{T.C.} + J_P} \sum_{k=2}^p A_{kA} \cos(k\phi + \psi_k), \quad (3)$$

где R_A – радиус-вектор к точке профиля обработанной поверхности; R_0 – среднее значение радиуса профиля заготовки; A_k – случайная амплитуда k -й гармоники, составляющей профиль заготовки; ψ_k – случайная величина сдвига фазы k -й гармоники относительно начала отсчета полярного угла ϕ ; A_1 – случайная величина эксцентриситета профиля заготовки; p – предельный номер гармоники, составляющей профиль заготовки.

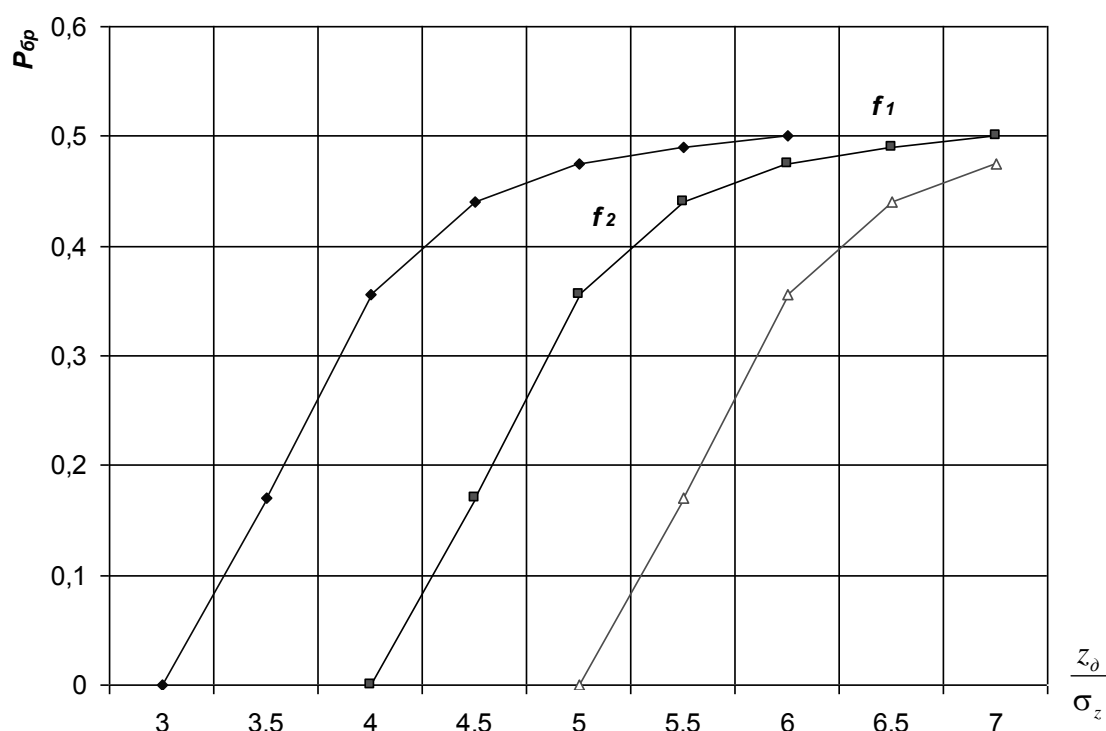


Рис. 3. Зависимость вероятности получения брака от относительной величины дефектного слоя заготовки

$$f_1 = \frac{z_g}{3\sigma_z}; \quad f_2 = \frac{z_g}{4\sigma_z}; \quad f_3 = \frac{z_g}{5\sigma_z}$$

Таким образом, анализ механизма влияния технологических факторов на погрешности формы и размеры деталей позволяет назначить минимально допустимые припуски на механическую обработку заготовок, определить рациональное число технологических переходов, проанализировать влияние различных случайных факторов (в том числе и технологических), факторов погрешностей формы и расположения поверхностей детали и их размеров.

Зависимости, представленные на рис. 4 и 5, показывают, что чем выше жесткость резания и меньше жесткость технологической системы, тем в большей степени наследуется погрешность формы заготовки, тем большее влияние на нее оказывают погрешность взаимного расположения поверхностей заготовки и погрешность установки. И наоборот, чем выше режущая способность инструмента – меньше жесткость резания; выше жесткость технологической системы – в меньшей степени проявляется технологическая наследственность.

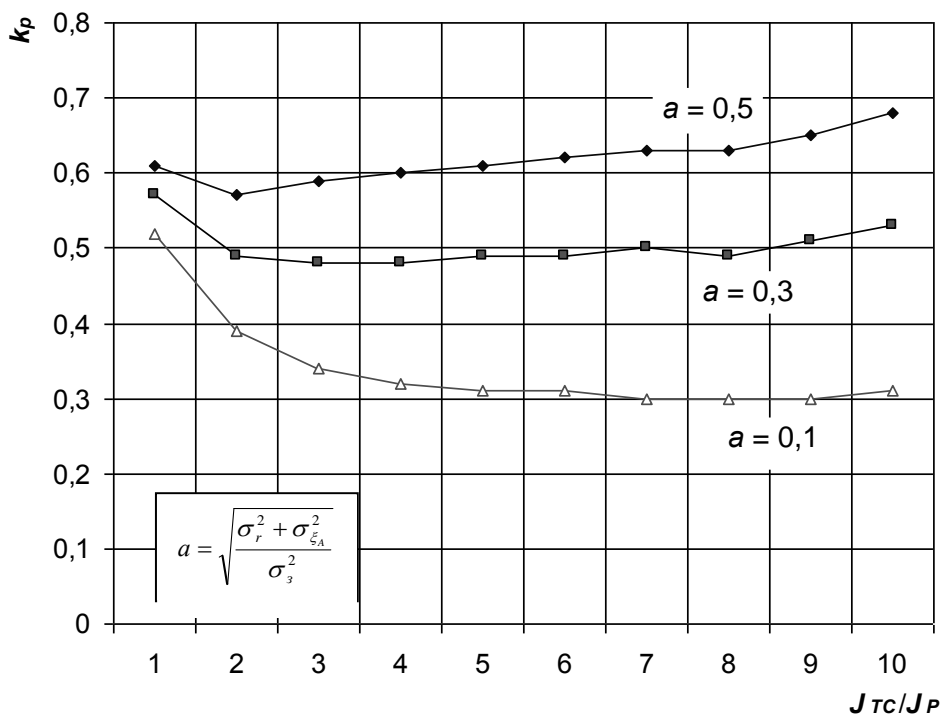


Рис. 4. Влияние соотношения жесткости технологической системы и жесткости резания на коэффициент уточнения размера

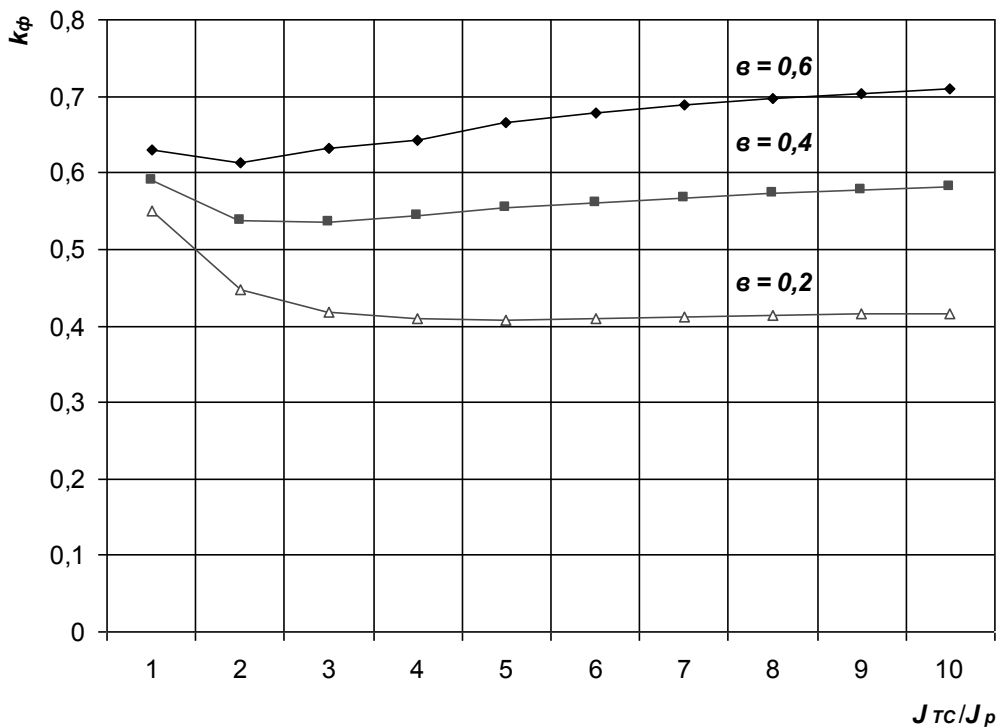


Рис. 5. Влияние соотношения жесткости технологической системы и жесткости резания на коэффициент повышения точности формы

Кроме прочего, представленные на рис. 4 и 5 зависимости показывают, что, несмотря на то, что коэффициент точности формы K_f несколько выше коэффициента уточнения размеров K_p , по величине они отличаются друг от друга незначительно. Поэтому расчет рационального числа технологических переходов следует осуществлять исходя из требуемой точности размеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васин А.Н. Влияние технологических факторов на величину припуска при однопроходной механической обработке / А.Н. Васин, А.В. Королев, А.А. Королев // Прогрессивные направления развития машиностроения: сб. науч. трудов. Саратов: СГТУ, 2004. С. 53-65.

2. Васин А.Н. Зависимость величины припусков от технологических факторов при многопроходной механической обработке / А.Н. Васин, А.В. Королев, А.А. Королев // Прогрессивные направления развития машиностроения: сб. науч. трудов. Саратов: СГТУ, 2004. С. 65-72.

Васин Алексей Николаевич –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»
Саратовского государственного технического университета

УДК 629.621.018.66

А.С. Денисов, И.К. Данилов

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СМАЗКИ НА ТОЛЩИНУ МАСЛЯНОГО СЛОЯ В ШАТУННЫХ ПОДШИПНИКАХ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Рассматриваются вопросы влияния давления в системе смазки модернизированных ДВС КамАЗ-740 Евро на толщину масляного слоя в шатунных подшипниках с использованием гидродинамической теории смазки сопряжения вал-вкладыш и оценивается режим его работы.

A.S. Denisov, I.K. Danilov

THE INFLUENCE OF OILING CONDITIONS ON THE DIESEL CRANKSHAFT OIL COATING THICKNESS

This article describes the hydrodynamic theory of main bearing-backing conjugation oiling and estimated conditions of the new Euro Diesel engine KamAZ-740.

ОАО «КамАЗ-Дизель» освоил выпуск широкой гаммы двигателей автомобилей, тракторов, передвижных и стационарных установок. На двигателях КамАЗ-740.11-240 применена комбинированная система смазки, включающая в себя односекционный масляный насос с увеличенной производительностью, совмещенный фильтр с полно и частично поточными элементами, имеющими тонкость очистки менее 40 мкм и более 5 мкм соответственно и во-

домасляный теплообменник. Система смазки имеет магистраль и форсунки охлаждения поршней. Это повлекло за собой конструктивные изменения блока цилиндров в части увеличения диаметров масляных каналов, установки форсунок охлаждения и крепления внешних агрегатов. Внесены изменения в конструкцию подвода смазки к подшипникам коленчатого вала, устранены полости грязеуловителей в шатунных шейках. Выходные отверстия масляных каналов теперь полируются, а шатунные и коренные шейки обрабатываются методом скоростного фрезерования и шлифования.

Давление масла в системе смазки увеличено с 0,4 до 0,5 МПа, снижена частота вращения коленчатого вала с 2600 до 2200 оборотов в минуту, увеличена мощность с 210 до 260 л.с. Для оценки влияния давления в системе смазки и частоты вращения коленчатого вала на минимальную толщину масляного слоя (ТМС) при изменении вышеперечисленных факторов воспользуемся гидродинамической теорией смазки.

Поскольку размеры зазоров (капиллярных щелей) в шатунных подшипниках не больше 50 мкм, поток масла носит ламинарный характер.

Давление масла в системе смазки двигателя при одном и том же количестве масла, подаваемого к шатунным подшипникам масляным насосом [1]:

$$P = \frac{Q^2 \rho}{2g\mu^2 F}, \quad (1)$$

где F – площадь поперечного сечения зазора между шейкой вала и вкладышами подшипника; ρ – плотность масла; μ – коэффициент расхода масла; g – ускорение силы тяжести; Q – расход масла.

Площадь сечения щели зависит от средней величины зазора δ , радиуса r шейки:

$$F = 2\pi \frac{\delta \cdot r}{2} = \pi \cdot r \cdot \delta, \quad (2)$$

то есть, $F = k \cdot \delta$, где $k = \pi \cdot r$.

С другой стороны, ТМС связана с вязкостной характеристикой масла соотношением [2]:

$$h = \frac{d^2 \cdot \eta \cdot n}{18,36 \cdot P^1 \cdot \delta \cdot c}, \quad (3)$$

где d – диаметр шейки вала; δ – диаметральный зазор; c – поправка Гюмбеля; η – вязкость масла; n – частота вращения коленчатого вала; P^1 – нагрузка на площадь проекции подшипника.

Выразив из формул (1) и (3) диаметральный зазор и приравняв правые части, получим:

$$\frac{d^2 \cdot \eta \cdot n}{18,36 \cdot h \cdot P^1 \cdot c} = \frac{Q}{\mu \cdot \pi \cdot r} \sqrt{\frac{\rho}{2P \cdot g}}, \quad (4)$$

откуда после математических преобразований ТМС:

$$h = \frac{d^2 \cdot \eta \cdot n \cdot \mu \cdot \pi \cdot r}{18,36 \cdot P^1 \cdot c \cdot Q} \cdot \sqrt{\frac{2P \cdot g}{\rho}}. \quad (5)$$

Так как в любом радиальном подшипнике существует естественный смазочный клин вследствие особенностей зазора, то при достаточно высоких скоростях в смазке развивается давление, поддерживающее вал и полностью отделяющее его от вкладыша подшипника.

При расчете ТМС по предлагаемой эмпирической зависимости (5) можно говорить о благотворном влиянии увеличения производительности масляного насоса на условия смазки сопряжений коленчатого вала. С другой стороны, с применением турбокомпрессоров на ДВС семейства КамАЗ увеличились значения мощностей и, следовательно, нагрузки на детали цилиндропоршневой группы и кривошипно-шатунного механизма.

Это можно подтвердить, проанализировав выражение (5) относительно влияния на ТМС частоты вращения коленчатого вала, давления в системе смазки, нагрузки в сопряжениях подшипников, заменив коэффициентом K выражение:

$$K = \frac{d^2 \cdot \eta \cdot n \cdot \mu \cdot \pi \cdot r}{18,36 \cdot c \cdot Q} \cdot \sqrt{\frac{2g}{\rho}} \quad (6)$$

Тогда ТМС:

$$h = K \cdot \frac{n \cdot \sqrt{P}}{P^1} \quad (7)$$

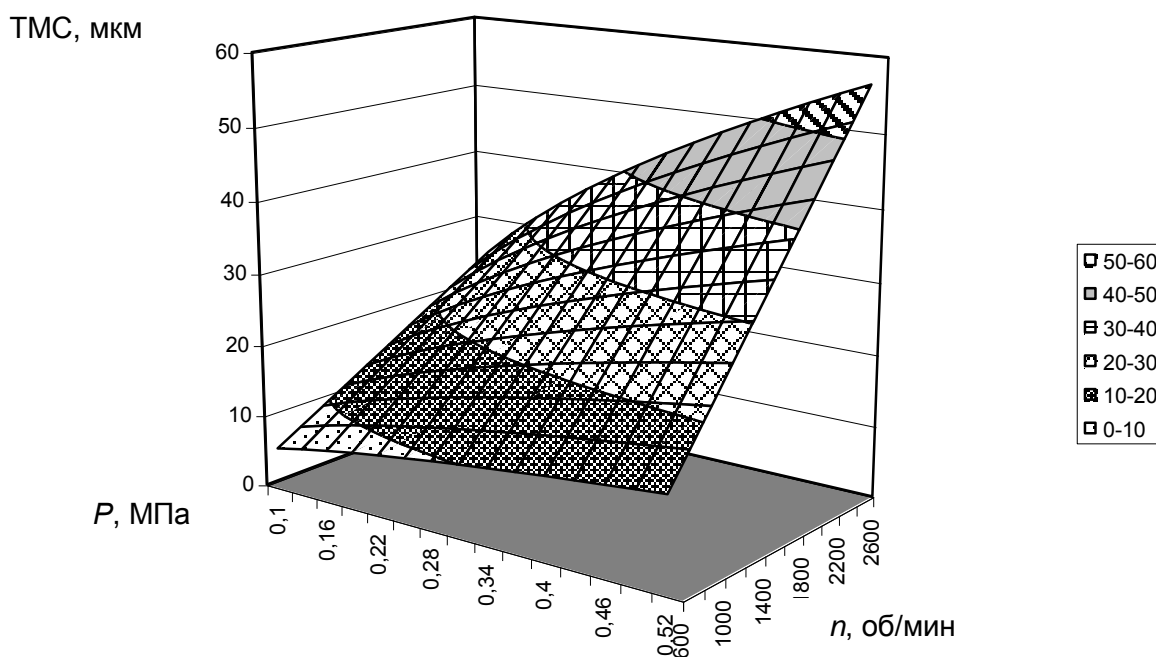
Общий вид зависимости ТМС от давления в системе смазки и частоты вращения коленчатого вала при определенном нагрузочном режиме характеризуется зависимостью, представленной на рисунке.

Исходя из аналитических зависимостей и рисунка, можно констатировать следующее:

1. Повышение давления в системе смазки ДВС КамАЗ-740 Евро с 0,4 до 0,5 МПа повысит ТМС на 4 мкм.

2. Снижение частоты вращения коленчатого вала с 2600 до 2200 оборотов в минуту снизит ТМС на 10 мкм.

3. Увеличение нагрузки на сопряжения подшипников из-за увеличения мощности нового семейства ДВС с 210 до 260 л.с. снизит ТМС на 3 мкм.



Зависимость ТМС от давления в системе смазки и частоты вращения коленчатого вала

Налицо тенденция снижения ТМС форсированных ДВС КамАЗ-740 Евро на 9 мкм, а следовательно, снижение ресурса сопряжения. Причем, при резких изменениях амплитуды частоты вращения коленчатого вала возможен переход в граничный режим смазки.

Таким образом, влияние конструкторских и технологических изменений в ДВС нового семейства улучшили технические характеристики, чего нельзя сказать об их эксплуатационной надежности. Впрочем, это будет очевидным при анализе статистических данных о надежности рассматриваемого сопряжения, которых в настоящее время недостаточно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика / Т.М. Башта. М.: Машиностроение, 1971. 672 с.
2. Чихос Х. Системный анализ в трибонике / Х. Чихос. М.: Мир, 1982. 351 с.

Денисов Александр Сергеевич –

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

Данилов Игорь Кеворкович –

кандидат технических наук,
доцент кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте»
Саратовского государственного технического университета

УДК 621.75

С.С. Крайнов, А.В. Королев

МЕХАНИЗМ ПРОЦЕССА ЭКСЦЕНТРИКОВОГО СУПЕРФИНИШИРОВАНИЯ

Рассмотрен способ суперфиниширования деталей колец роликовых подшипников, который обеспечивает самоустановку абразивных брусков и гарантирует создание симметричного выпуклого профиля дорожки качения. Кроме того, обеспечивается самозатачивание абразивного инструмента, что повышает производительность обработки.

S.S. Krainov, A.V. Koroliov

SUPERFINISHING ECCENTRIC PROCESS MECHANISM

Rings details of roller bearings super finishing grinding which provides self-installation abrasive sticks is considered in this article. Thus guarantees the creation of a symmetric convex structure of a race. Besides that, abrasive tools self-sharpening raises productivity of processing.

Известно множество способов процесса суперфиниширования, среди которых особое место занимают разработки саратовской научной школы [1-3 и др.]. Дальнейшее совершенствование технологии суперфиниширования привело к созданию способа, который ввиду особенности кинематики процесса можно назвать способом эксцентрикового суперфиниширования.

Сущность способа поясняется чертежами, где на рис. 1 изображена схема осуществления способа обработки внутреннего кольца роликоподшипника, на рис. 2 – вид сбоку, на рис. 3 – схема осуществления способа обработки наружного кольца роликоподшипника.

К детали 1, установленной на шпинделе изделия (не показан) и вращающейся вокруг своей оси (рис. 1), поджимают абразивные бруски 2, закрепленные в инструментальной го-

ловке 3. Инструментальную головку 3 закрепляют на оси эксцентрика 4 эксцентрикового механизма 5, установленного с эксцентриситетом e . Закрепление инструментальной головки осуществляют таким образом, чтобы она имела всего одну степень свободы, а именно поворот вокруг центра O_2 оси эксцентрика 4 эксцентрикового механизма 5.

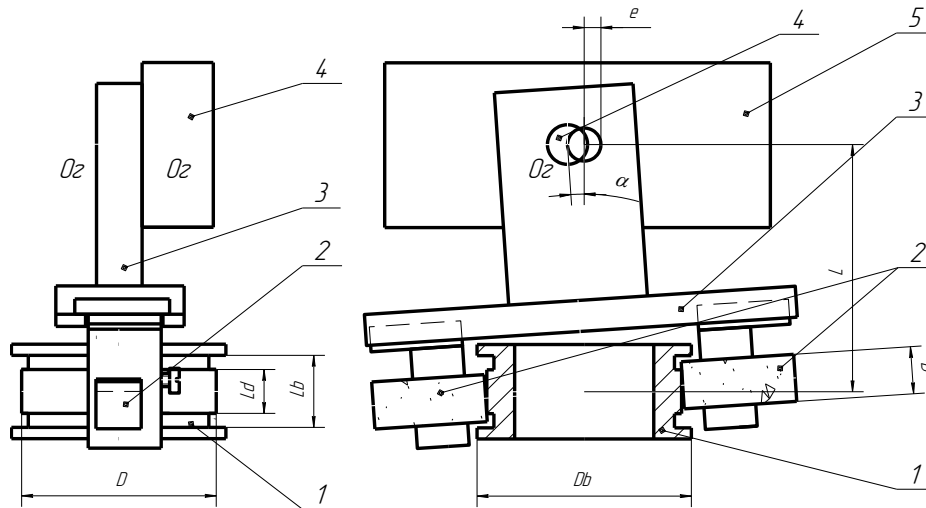


Рис. 1. Схема эксцентрикового суперфиниширования внутреннего кольца роликоподшипника

При вращении эксцентрика 4 центр O_2 оси суперфинишной головки вращается по радиусу e . Тем самым верхней части инструментальной головки 3 сообщают круговое колебательное движение в осевой плоскости детали 1, а брускам придают сложное движение - возвратно-поступательное перемещение с амплитудой e вдоль оси детали и периодический разворот на угол $\pm\alpha$ относительно оси детали.

Так как в предлагаемом способе чистовой обработки в инструментальной головке размещены два абразивных бруска, то это повышает производительность обработки и ее исправляющую способность. А ввиду того, что плоскость кругового движения инструментальной головки располагают в осевой плоскости детали, бруски при обработке самоустанавливаются относительно центра профиля детали. Это обеспечивает симметричность профиля детали и тем самым повышает качество обработки.

За счет возвратно-поступательного движения вдоль оси детали происходит самозатачивание брусков, очищение их рабочей поверхности от стружки и шлама. Это также способствует повышению производительности процесса. За счет периодического разворота относительно оси детали происходит повышенный сьем материала по краям дорожки и формируется выпуклость профиля. Но в отличие от других известных способов суперфиниширования в данном способе абразивные бруски сами устанавливаются относительно точки симметрии профиля. Это гарантирует симметричность профиля, что является важным показателем качества.

Предлагаемый способ может использоваться не только для обработки наружных, но и внутренних поверхностей различной формы. Так, на рис. 2 показана схема осуществления процесса эксцентрикового суперфиниширования наружного кольца роликоподшипника.

Пример. Пусть обработке подвергается дорожка качения внутреннего кольца роликоподшипника 42305: диаметр дорожки качения $D=35$ мм, высота дорожки $L_d=7$ мм, расстояние между бортами $L_b=9$ мм, диаметр бортов $D_b=39$ мм, расстояние оси вращения кривошипа до центра симметрии дорожки качения $L=45$ мм.

Высота бруска должна составлять $B \geq L_d$. Принимаем $B=7$ мм.

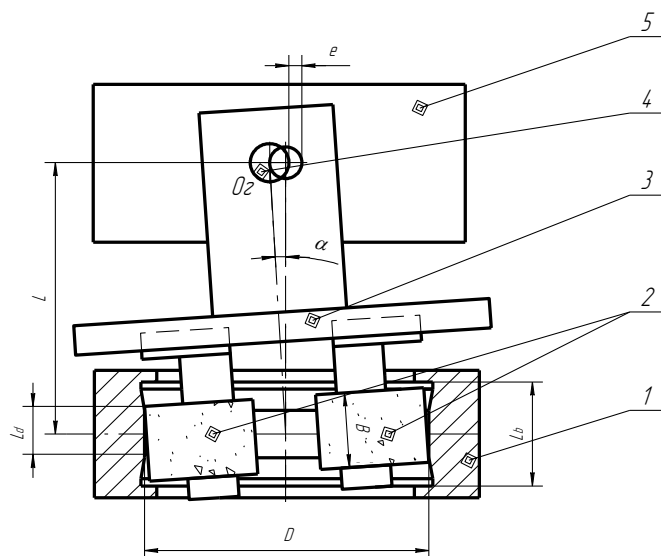


Рис. 2. Схема осуществления процесса эксцентрикового суперфиниширования наружного кольца роликоподшипника

Если обрабатываемая деталь имеет хотя бы один борт, ограничивающий перемещение бруска, то для того, чтобы брусок при обработке не задевал борта, его амплитуда возвратно-поступательных перемещений должна составлять:

$$A \leq 0,5(L_b - B). \quad (1)$$

С другой стороны, для предотвращения касания брусками бортов подшипника угол их наклона при круговом движении головки не должен превышать величину, определяемую из равенства:

$$Db \cdot \operatorname{tg} \alpha + \frac{B}{\cos \alpha} \pm 2 \cdot L \cdot \frac{1 - \cos \alpha}{\cos^2 \alpha} \leq Lb, \quad (2)$$

где

$$\alpha = \arcsin \frac{e}{L}.$$

Обычно $e < 0,1L$. В этом случае равенство (2) с погрешностью менее 10% можно упростить:

$$Db \cdot \frac{e}{L} + B \leq Lb. \quad (3)$$

Так как амплитуда A возвратно-поступательных движений брусков и угол их наклона α зависит от радиуса кругового движения головки, то величина этого радиуса ограничивается неравенствами, определяемыми из (1) и (3):

$$\begin{aligned} e &\leq 0,5(L_b - B); \\ e &\leq \frac{(Lb - B) \cdot L}{Db}. \end{aligned} \quad (4)$$

Из первого неравенства (4) находим $e \leq 1$ мм, из второго неравенства $e \leq 2,3$ мм. Принимаем $e = 1$ мм.

Для определения радиуса кругового движения головки при обработке наружных колец используются формулы, аналогичные формуле (4), только в знаменатель второй формулы следует подставлять вместо диаметра бортов диаметр дорожки качения:

$$e \leq 0,5(L_b - B);$$

$$e \leq \frac{(L_b - B) \cdot L}{D}. \quad (5)$$

И еще следует учесть одну особенность обработки наружных колец: высоту бруска B следует принимать на 5-15% больше ширины дорожки:

$$B = (1,05 - 1,15) L_b. \quad (6)$$

Пусть, например, обработке подвергается наружное кольцо подшипника 42305. Геометрические параметры этой детали такие же, как и у внутреннего кольца, кроме диаметра дорожки качения, которая равна $D=53$ мм.

Из формулы (6) получаем:

$$B = 7,35 - 8,05 \text{ мм.}$$

Принимаем $B=8$ мм.

По формулам (5) определяем:

$$e \leq 0,5(9 - 8) = 0,5 \text{ мм};$$

$$e \leq \frac{(9 - 8) \cdot 45}{53} = 0,8 \text{ мм.}$$

Принимаем $e=0,5$ мм.

Если обрабатываемая деталь не имеет бортов, то все равно надо использовать предложенную методику расчета рациональных параметров обработки, принимая в расчетах:

$$L_b = L_d + (0,01 - 0,02) D, \quad (7)$$

где D – диаметр дорожки качения наружных и внутренних колец.

Равенство (7) позволяет ограничить высоту бруска. Если бруски будут слишком высокими, то концы бруска могут не принимать участие в работе. А это приводит к тому, что при определенном износе рабочей части концы брусков опираются на необрабатываемую поверхность деталей и делают дальнейшую обработку невозможной.

Технико-экономическая эффективность предложенного способа обработки заключается в возможности эффективного формирования плавного выпуклого симметричного профиля обрабатываемой поверхности детали на операции брусковой обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ № 1706134. Способ чистовой обработки / А.В. Королев, О.Ю. Давиденко, А.М. Чистяков // БИ. 1993. № 3.
2. Патент РФ № 2137582. Способ чистовой обработки / А.В. Королев, П.Я. Коротков, А.В. Асташкин // БИ. 2000. № 3.
3. Королев А.В. 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. Саратов: СГТУ, 1997. 215 с.

Крайнов Сергей Сергеевич –

заместитель генерального директора по производству
ОАО «Саратовский подшипниковый завод»

Королев Альберт Викторович –

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

В.Г. Куранов, А.Н. Виноградов, В.А. Каракозова, А.В. Бузов

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ, НАЗЫВАЕМЫХ МЕТАЛЛОКЕРАМИКОЙ

Рассмотрены особенности механизма формирования фрикционного покрытия, полученного по технологии «ХАДО». Установлено, что оно формируется в основном за счет основного металла и приобретает свойства металлической поверхности с низким контактным сопротивлением, а не за счет компонентов «ХАДО», как принято было считать.

V.G. Kuranov, A.N. Vinogradov, V.A. Karakozova, A.V. Buzov

FRICTIONAL COVERINGS FORMATION FEATURES, NAMED METALLCERAMIK

The features of the mechanism of formation of a frictional covering received on technology «XADO» are considered in this article. It is formed basically at the expense of the basic metal and gets properties of a metal surface with low contact resistance, but not at the expense of components «XADO», as it was accepted to consider.

Для обеспечения оптимального процесса эксплуатации узлов трения в машинах и механизмах получило широкое распространение введение в смазочную систему специальных компонентов, снижающих износ и потери энергии, а также восстанавливающих изношенные части машин без их разборки.

По принципу действия присадки, снижающие трение и износ, делятся на три группы [1]:

– первая – модификаторы трения, к ним относятся ER, «Аспект-модификатор», «Универсальный модификатор»;

– вторая – плакирующие присадки, содержащие в своем составе мелкодисперсные частицы специального вещества или соединения: меди, дисульфида молибдена (MoS_2), тефлона (политетрафторэтилена – ПТФЭ) и т.д., в эту группу попадают STP с XEP_2 , Motorol от фирмы *Liqui Moly GmbH* и PTFE от фирмы *Hi Gear Products* и др.;

– третья – так называемые реметаллизанты, призванные «восстанавливать» поверхности при некоторых видах износа, к ним можно отнести швейцарский *Metalyz 6*, украинский PBC, российские «Трибо» и «РиМет».

Препараты третьей группы можно подразделить еще на две – препараты с «мягкими» и «твердыми» активными агентами.

В разряд «мягких» войдут *Metalyz 6* и «РиМет», содержащие в своем составе соответственно композиции медь-свинец-серебро и медь-олово-серебро. Согласно рекламе, эти композиции должны заполнять микровпадины на трущихся поверхностях и увеличивать, таким образом, площадь пятна контакта [2, 3]. При этом компрессия может несколько увеличиться.

«Твердые» – PBC и «Трибо», по рекламе изготовителей, способны произвести избирательное «наваривание» слоя металлокерамики в наиболее изношенных узлах трения двигателя. Причем украинский производитель официально заявляет, что правильно обработанный его препаратом двигатель может проехать без масла до 5 тыс. км.

Принцип действия плакирующих присадок (препараты второй группы) похож на работу «мягких» реметаллизантов, с той лишь разницей, что частицы плакирующего материала не остаются во впадинах микрорельефа навсегда, а перемещаются на контртело и обратно.

У препаратов первой группы (модификаторов трения) принцип действия основан на химически активном взаимодействии присадки с выступами микрорельефа. В режиме граничного трения толщины масляной пленки оказывается недостаточно, чтобы исключить контакт поверхностей «металл по металлу». Такой контакт возникает, прежде всего, на выступах микрорельефа. Выступы, пытаясь срезать друг друга, нагреваются и тут вступает в работу модификатор – размягчает нагретый выступ, который затем легко сглаживается. Когда все «лишние» выступы сглажены, толщины масляной пленки хватает, чтобы избежать контакта «металл по металлу».

Каждый продукт, представленный на рынке, в стадии разработки проходит испытания в соответствии с методикой, которую выберут его разработчики. Когда результат авторов устроит – товар предлагается на рынок. Если проводить сравнительные испытания разных препаратов по какой-то одной (универсальной) методике, результаты испытаний могут значительно отличаться от заявленных.

В целях повышения износостойкости и восстановления изношенных машин в настоящее время получает распространение технология «ХАДО», основанная на введении в смазочную систему специальных, высокоактивных композиций, формирующих на поверхности металлокерамические защитные покрытия. Их высокая эффективность подтверждается специальными исследованиями и опытом эксплуатации машин различного назначения.

Вместе с тем, в рекламных проспектах о «ХАДО» имеется ряд утверждений, которые противоречат современным представлениям о процессах трения и изнашивания и не соответствуют действительности. Все это наносит ущерб технологии «ХАДО», которая имеет существенные преимущества перед другими триботехнологиями и присадками.

Технологию «ХАДО» представляют как некое «украинское чудо», якобы единственное в мире, позволяющее восстанавливать изношенные машины без их разборки. Утверждается, что высокоэффективные композиции самостоятельно (независимо от матричного металла) инициируют формирование суперпрочных покрытий с крайне низким коэффициентом трения (0,003-0,007) и делают это разумно – только там, где нужно, в местах интенсивных выработок. Но никакого нового чуда здесь нет, а есть ещё один вид самоорганизации трибосопряжений, где активация поверхности при трении реализуется образованием защитного покрытия, которое авторы «ХАДО» называют металлокерамикой. «Чудом» называли первую промышленную металлоплакирующую присадку МКФ-18, которую применяли для реализации эффекта избирательного переноса (ИП) и безразборного восстановления изношенных машин [4]. Затем были разработаны другие, более эффективные триботехнологии и присадки, основанные на этом эффекте, и в комбинации с ИП, которых в настоящее время появилось так много, что инженеру-практику трудно разобраться в этом многообразии и выбрать наиболее эффективный вариант для конкретных условий.

Действительным чудом является, как в этом случае, так и в других самоорганизациях, само трение, которое сопровождается диссипацией механической энергии и возникновением различных форм активаций: металла, среды и диффузии, вызывающих формирование на поверхности новых структур и фаз со свойствами, отличными от исходных материалов, и в том числе таких, которые невозможно получить традиционными методами.

Разработчики называют «ХАДО» металлокерамикой. Но керамику и металлокерамику получают горячими способами (обжигом, спеканием). При трении это происходит при низкой температуре, которая влияет косвенно – через активацию термодиффузии из-за возникновения температурных градиентов в поверхностном слое. Поэтому, на наш взгляд, адекватнее назвать это покрытие триботеталлокерамикой или фрикционной металлокерамикой, ес-

ли более строгими методами будет установлено, что свойства и состав этих покрытий действительно соответствуют этим материалам.

Неадекватны утверждения, что состав «ХАДО» самостоятельно (независимо от матричного металла) инициирует формирование покрытия только там, где нужно, в местах выработки. В действительности, сами эти места, наиболее активированные трением, возбуждают направленную диффузию наиболее активных и активированных трением компонентов из металла, среды и смазки в свою сторону и образуют с ними защитные структуры и фрикционные покрытия, в том числе и там, где это и не нужно, ибо максимальная активация не всегда совпадает с максимальным износом.

Для проверки этих положений, в том числе влияния свойств металлической основы, проведены специальные исследования.

Эксперимент 1

Влияние присадки «ХАДО» на момент трения и нагрузочную способность смазки

Исследования проводились на четырехшариковой машине трения МТ-4 с трансмиссионным маслом ТАД-17 (рис. 1, 2).

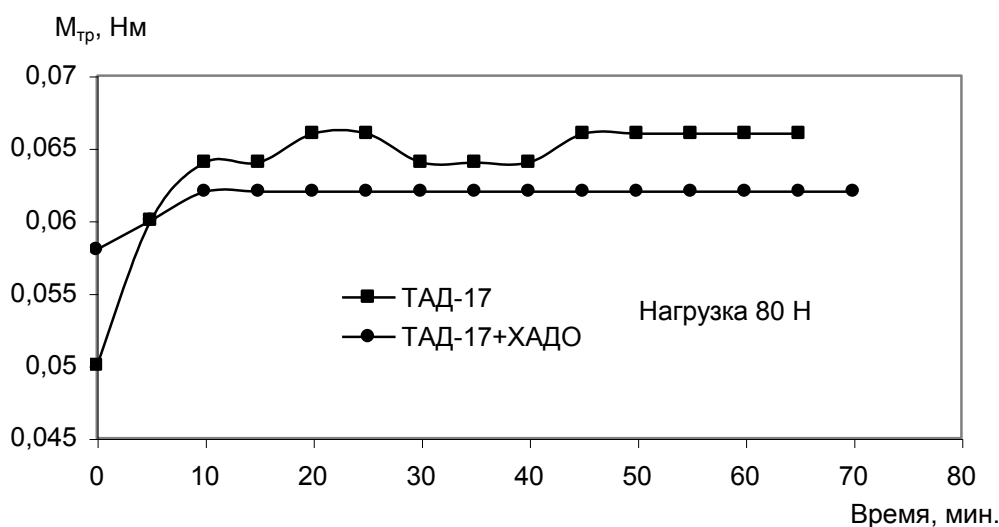


Рис. 1. Изменение момента трения в процессе испытаний масла ТАД-17 с присадкой «ХАДО» и без нее

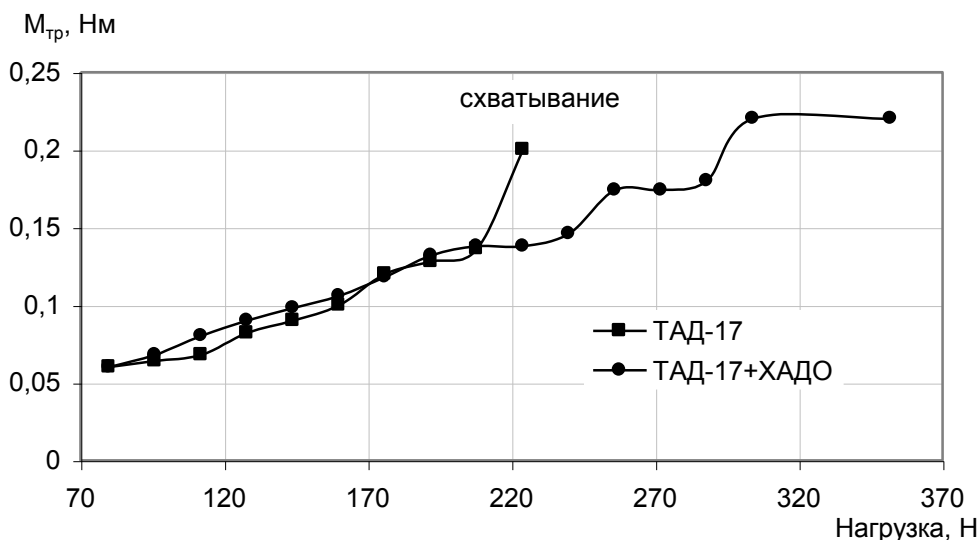


Рис. 2. Изменение момента трения в зависимости от нагрузки

Как видно из рис. 1 и 2, $M_{тр}$ с введением «ХАДО» снижается (1-4%) и остается постоянным за все время испытаний. С увеличением нагрузки до 220 Н $M_{тр}$ повышается линейно, как с «ХАДО», так и без нее. При нагрузке более 220 Н и отсутствии в масле присадки «ХАДО», $M_{тр}$ скачкообразно повышается и возникает схватывание, чего не наблюдается при введении присадки «ХАДО», когда $M_{тр}$ также линейно повышается и стабилизируется на уровне $\approx 0,23$ Нм.

Эксперимент 2

Влияние присадки «ХАДО» на изменение динамического контактного сопротивления $R_{кд}$

Исследования проводились на специальной машине трения, исключая влияния токосъема на изменение $R_{кд}$. Интенсивность скачков $R_{кд}$ оценивалась с помощью специальной аппаратуры для автоматической регистрации скачков $R_{кд}$, что позволяет отфильтровать второстепенные (случайные) скачки и наблюдать изменения свойств в чистом виде. В качестве объекта испытаний взяты радиально-упорные подшипники В6 – 50305АЕШ1 с маслом ТАД-17. Из рис. 3 видно, что при использовании присадки «ХАДО-защитная», в начале приработки (15-20 мин), имеют место рост скачков $R_{кд}$ и их дисперсия из-за наличия пленок оксидов, как и при отсутствии присадки. Последующее резкое снижение интенсивности скачков $R_{кд}$ указывает на окончание формирования фрикционного покрытия с низким $R_{кд}$.

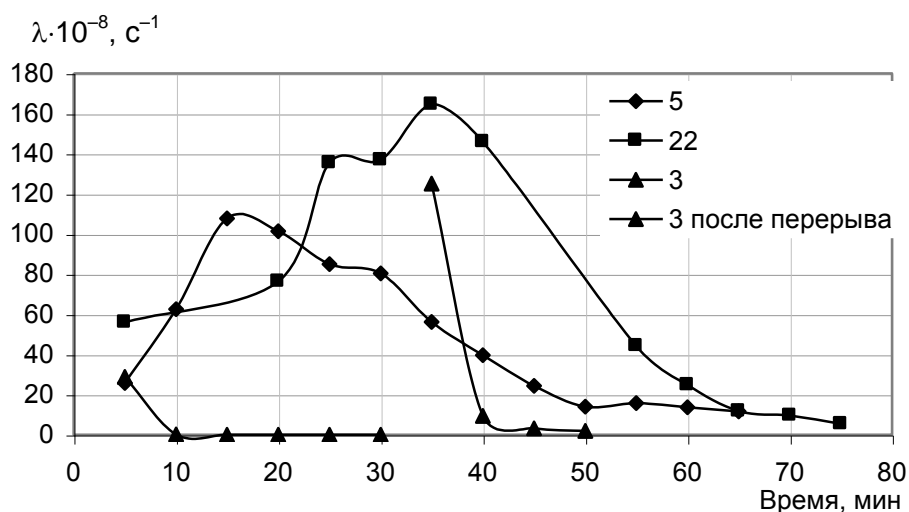


Рис. 3. Изменение интенсивности скачков контактного сопротивления при обкатке подшипников № 5, 22, 3 с консистентной смазкой «ХАДО – защитная»

При использовании присадки «ХАДО-ремонтная» формирование фрикционного покрытия происходит быстрее, практически отсутствует подготовительный период возбуждения и приработки, и имеет место резкое снижение скачков $R_{кд}$, рис. 4.

Эксперимент 3

Изменение общего уровня вибрации (ОУВ)

Измерения общего уровня вибрации подшипников показали, что после отработки со смазками, содержащими присадку «ХАДО», ОУВ увеличивается на 1-8 дБ за счет увеличения виброактивности колец, тогда как вклад шаров в ОУВ, наоборот, уменьшается на ту же величину, что можно объяснить неравномерностью формирования покрытия на кольцах и более высокой активацией и точностью размеров поверхности шаров при низкой шероховатости (рис. 5).

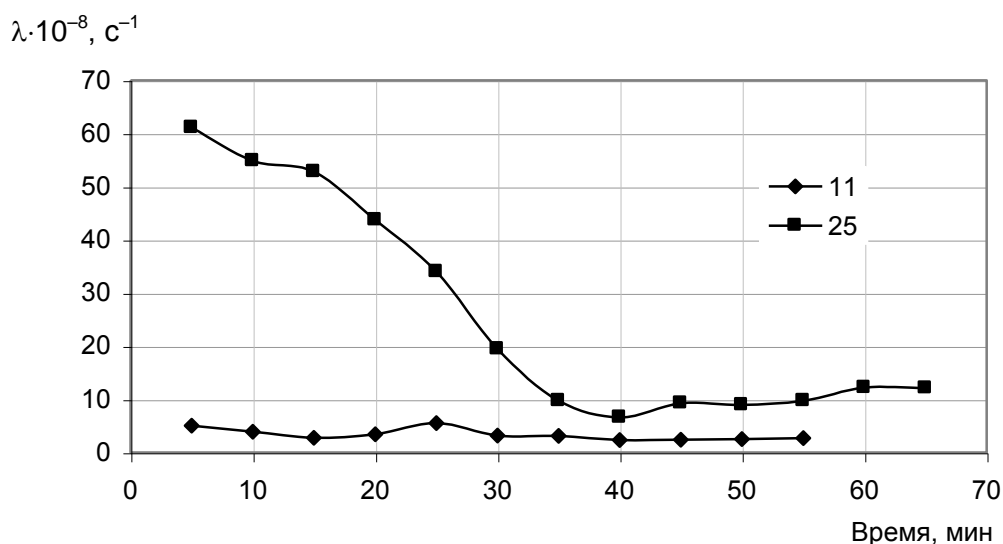


Рис. 4. Изменение интенсивности скачков контактного сопротивления при обкатке подшипников № 11, 25 с консистентной смазкой «ХАДО – ремонтная»

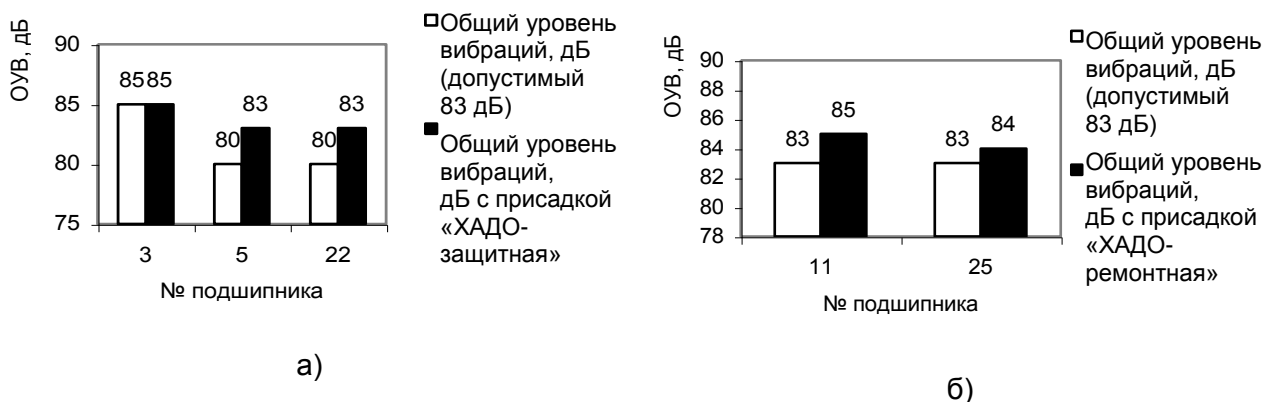


Рис. 5. Изменение общего уровня вибраций подшипников до и после обкатки с консистентными смазками: а – «ХАДО – защитная», б) «ХАДО – ремонтная»

Эксперимент 4

Исследование механизма формирования свойств покрытия «ХАДО»

Испытания образцов с характеристиками, приведенными в таблице, проводились в условиях скольжения по схеме «вал+щетка-индентор», который прижимался к валу с упругим усилием.

Образец	Индентор	Характеристика шейки вала после испытаний	Характеристика индентора после испытаний
Шейка распределительного вала (ВЧ-50-2, ТВЧ до HRC ₂ 50÷55)	Вырезан из гильзы цилиндра, с упругим прижатием	Увеличение диаметра на 0,01 мм	Износ
	Вырезан из сталеалюминиевого вкладыша, с упругим прижатием	Без изменений	Нарост покрытия
	Вырезан из поршневого кольца, с упругим прижатием	Увеличение диаметра на 0,03 мм	Без изменений

Как видно из таблицы, размер шейки вала после испытаний увеличился на 0,01-0,03 мм, замечено заполнение винтовой канавки вала слоем «ХАДО», рис. 6. На алюминиевой поверхности вкладыша имеется нарост покрытия, размер шейки вала остался без изменений.

Измерения микротвердости на обработанных «ХАДО» и свободных от покрытия участках показали:

1. На поверхности сталеалюминиевого вкладыша образуется слой покрытия с твердостью матричного металла $H_{\mu} = 18-22$ МПа.

2. На шейке вала микротвердость покрытия оказывается ниже, чем исходного материала: H_{μ} покрытия – 6200 МПа, H_{μ} вала – 8000 МПа на всех образцах.

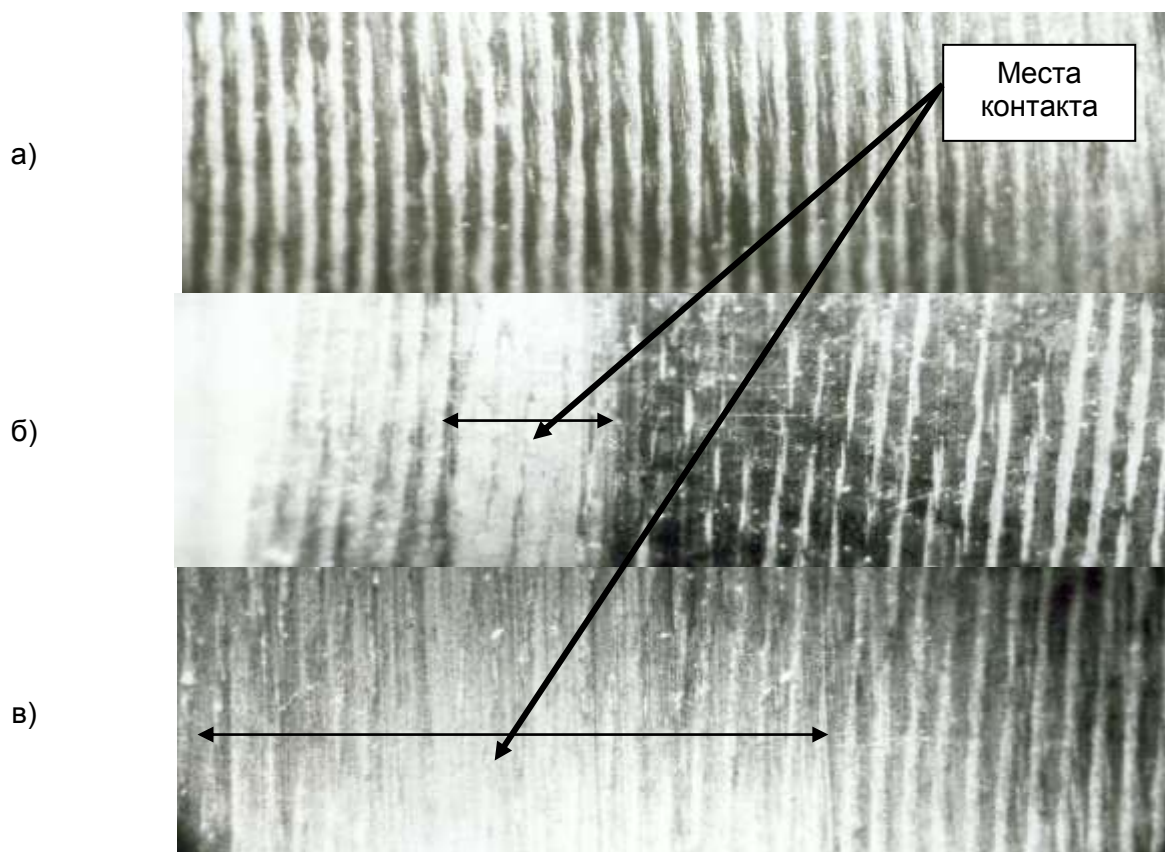


Рис. 6. Фотография поверхности шейки распределительного вала (увеличение $\times 40$): а – до испытаний – вид поверхности после шлифования; б – после испытаний с узким индентором; в – после испытаний с широким индентором

Выводы

1. Твердость фрикционного покрытия «ХАДО» в основном зависит от твердости исходного (матричного) металла: на мягком металле формируются мягкие покрытия, а на твердом – твердые, с микротвердостью H_{μ} даже ниже исходной на 25%. Не подтверждается формирование суперпрочного покрытия, но это и не нужно для повышения износостойкости, больший эффект достигается выполнением правила «положительного градиента» - мягкий слой (1-2 мкм) на твердой подложке.

2. Лучшие результаты по формированию фрикционного покрытия получаются при упругом прижатии образца к контртелу, что хорошо наблюдается на регулярной шероховатости, где покрытие заполняет впадины между вершинами и формируется гладкая, мягкая поверхность, на которой отсутствуют следы приработки. Но при упругом прижатии покрытие может формироваться и там, где это и не нужно, например – кулачках и рычагах распределительного механизма

и направляющих клапанов, что может привести к уменьшению зазоров и заклиниванию, следовательно, больший эффект может быть получен при наличии управления формированием покрытия «ХАДО» с учетом условий, режима работы и особенностей трибосопряжения.

3. Снижение контактного сопротивления покрытия «ХАДО» до значений, характерных для металлической поверхности, показывает, что оно содержит в основном металлические компоненты, а не керамические и стекловидные, и что формирование покрытия происходит за счет диффузии активированных трением компонентов металла и присадки «ХАДО», которая, вероятнее всего, играет роль «связки», цементирующей микрочастицы основных (матричных) металлов.

4. Энергетической основой формирования фрикционного покрытия «ХАДО», как и других самоорганизаций, является активация поверхности пластической деформацией, которая реализуется формированием защитной структуры неизвестного ранее типа, называемого металлокерамикой, свойства которой, однако, существенно отличаются от того, что принято называть керамикой или металлокерамикой, получаемой горячей обработкой.

5. Механизм формирования покрытия оказывается более сложным, чем предполагали разработчики «ХАДО», требующим дальнейшего изучения, особенно – формирования свойств покрытия, которые резко отличаются от тех, которые могли быть сформированы только за счет собственно компонентов «ХАДО».

ЛИТЕРАТУРА

1. Маслов Ф.И. Классификация модификаторов по износу / Ф.И. Маслов // За рулем. 1999. № 10. С. 74-75.
2. Гаркунов Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов. М.: Машиностроение, 1985. 424 с.
3. Кузьмин В.Н. Некоторые результаты сравнительных испытаний смазочных композиций при трении скольжения / В.Н. Кузьмин, П.П. Дудко // СЛАВЯНТРИБО-5. Наземная и аэрокосмическая трибология – 2000: проблемы и достижения: материалы Междунар. науч.-практ. симпозиума / под общ. ред. Л.И. Погодаева, Ю.П. Замятина; ВМПАВТО, МФ СЕЗАМУ, РГАТА. СПб. – Рыбинск, 2000. С. 236.
4. Влияние УДП-присадки меди в смазке на процессы трения и изнашивания / С.А. Беляев, С.Ю. Тарасов, А.В. Колубаев, С.А. Ларионов // СЛАВЯНТРИБО-5. Наземная и аэрокосмическая трибология – 2000: проблемы и достижения: материалы Междунар. науч.-практ. симпозиума / под общ. ред. Л.И. Погодаева, Ю.П. Замятина; ВМПАВТО, МФ СЕЗАМУ, РГАТА. СПб. – Рыбинск, 2000. С. 249.
5. Куранов В.Г. Износ и безызносность / В.Г. Куранов, А.Н. Виноградов, А.С. Денисов. Саратов: СГТУ, 2000. 136 с.

Куранов Владимир Георгиевич –

доктор технических наук,
профессор кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»
Саратовского государственного технического университета

Виноградов Александр Николаевич –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство»
Саратовского государственного технического университета

Каракозова Вера Алексеевна –

зав. лабораторией кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»
Саратовского государственного технического университета

Бузов Анатолий Викторович –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство»
Саратовского государственного технического университета

И.И. Любимов, А.М. Сычѳв

**ОБ АНАЛИТИЧЕСКОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ДИНАМИКИ КОЛЕСНОЙ НАГРУЗКИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН
ПРИ СЛУЧАЙНЫХ КОЛЕБАНИЯХ**

Рассматривается основанный на методах статистической механики способ расчета оценочных показателей стабильности контакта колес с дорогой при стационарных случайных колебаниях автомобиля. Приводятся графики спектральной плотности вертикальной динамической нагрузки колес и графики изменения среднего квадратического значения колесной нагрузки в зависимости от скорости автомобиля и сопротивления амортизаторов. Показано влияние скорости установившегося движения автомобиля на вероятность нарушения контакта колес с дорогой и на вероятное среднее число нарушений контакта за пробег при нормальном законе распределения текущих значений динамической нагрузки колеса.

I.I. Ljubimov, A.M. Sichev

**TRANSPORT MACHINES WHEEL LOADING PARAMETERS DYNAMICS
ANALYTICAL DEFINITION AT CASUAL FLUCTUATIONS**

Based on statistical mechanics methods a way of estimated stability parameters calculation of wheels contact with road at stationary casual fluctuations of the automobile is shown in the article. Schedules of spectral density of vertical dynamic loading of a wheel and schedules of change of average quadratic value of wheel loading are resulted depending on speed of the automobile and resistance of shock-absorbers. Influence of speed of the established movement of the automobile on probability of infringement of contact of a wheel with road and on a probable average of infringements of contact for run is shown at the normal law of distribution of the current values of dynamic loading of a wheel.

В связи с ростом скоростей автотранспорта в последнее время при исследовании колебаний автомобиля всё больше внимания уделяется вопросам стабильности колѳсной нагрузки, так как она во многом определяет управляемость, устойчивость, тормозную динамику – эксплуатационные качества автомобиля, непосредственно связанные с безопасностью движения.

Вопросы, связанные с выбором параметров подвески автомобиля, обеспечивающих не только плавность хода, но и надёжный контакт колѳс с опорной поверхностью дороги реального микропрофиля, относятся к наименее изученным. Во многом это связано с трудностями как расчѳтного, так и экспериментального исследований динамики колѳсной нагрузки при случайных колебаниях автомобиля [1].

Предлагается графоаналитический метод оценки динамики вертикальной нагрузки, действующей на колеса автомобиля при стационарных случайных колебаниях, вызываемых кинематическим возбуждением. Таким колебаниям подвергается линейно подрессоренный автомобиль, двигающийся равномерно по неровной дороге, распределение ординат микро-

профиля которой представляет собой эргодическую стационарную случайную функцию. В качестве статистической характеристики неровности дороги используется функция спектральной плотности микропрофиля (энергетический спектр) $S_q(\lambda)$, где $\lambda=2\pi/l$ – частота воздействий, передаваемых от неровностей дороги на автомобиль при скорости $V_a=1$ м/с (путевая частота); l – длина неровности. Энергетический спектр $S_q(\lambda)$ определяется преобразованием Фурье корреляционной функции микропрофиля, которая характеризует взаимосвязь случайных значений высот неровностей по длине дорожного участка и устанавливается по результатам обмера микропрофиля. Возмущающее воздействие дороги на автомобиль, определяющее интенсивность его колебаний, зависит как от собственного микропрофиля $S_q(\lambda)$, так и от скорости движения по нему автомобиля, и характеризуется спектральной плотностью воздействия $S_q(\omega)$.

При движении по неровной дороге действующая на колеса автомобиля вертикальная нагрузка непрерывно изменяется, совершая колебания относительно нагрузки в статическом состоянии. Изменение колесной нагрузки \tilde{N} обусловлено упругими и вязкими силами, возникающими в подвеске при изменении её деформации. При стационарных случайных колебаниях автомобиля с линейной подвеской изменение колесной нагрузки \tilde{N} также будет стационарным случайным процессом $\tilde{N}(t)$, основной статистической характеристикой которого является спектральная плотность $S_{\tilde{N}}(\omega)$, характеризующая распределение дисперсий динамической нагрузки \tilde{N} по частотам колебаний. Для автомобиля, подвеска которого рассматривается как линейная стационарная колебательная система, связь между спектральной плотностью воздействия дороги $S_q(\omega)$ и спектральной плотностью $S_{\tilde{N}}(\omega)$ динамической составляющей колесной нагрузки \tilde{N} устанавливается основным соотношением теории спектрального представления случайных процессов [2,3]:

$$S_{\tilde{N}}(\omega) = |H_{\tilde{N}}(i\omega)|^2 \cdot S_q(\omega) . \quad (1)$$

Входящая в (1) комплексная функция $H_{\tilde{N}}(i\omega)$ является амплитудно-фазовой частотной характеристикой подвески, модуль которой $|H_{\tilde{N}}(i\omega)|$ определяет отношение амплитудных значений динамической нагрузки \tilde{N} (на выходе колебательной системы) и высоты q_0 дорожной неровности (на входе) при периодических вынужденных колебаниях с частотой ω . А так как изменение модуля $H_{\tilde{N}}(i\omega)$ в зависимости от частоты колебаний представляет собой амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) подвески по динамической нагрузке колеса – $A_{\tilde{N}}(\omega)$, то спектральные плотности $S_q(\omega)$ и $S_{\tilde{N}}(\omega)$ линейно подрессоренного автомобиля оказываются связанными через квадраты ординат частотной характеристики $A_{\tilde{N}}(\omega)$ и, следовательно, соотношение (1) может быть представлено также в виде:

$$S_{\tilde{N}}(\omega) = A_{\tilde{N}}^2(\omega) \cdot S_q(\omega) . \quad (2)$$

Следуя (1) и (2), для вычисления $S_{\tilde{N}}(\omega)$ линейной динамической системы надо знать ее частотную характеристику $H_{\tilde{N}}(i\omega)$ или $A_{\tilde{N}}(\omega)$ и спектральную плотность входного воздействия $S_q(\omega)$. Как показано в работе [4], расчет частотной характеристики $H_{\tilde{N}}(i\omega)$ автомобиля с линейной подвеской сводится к решению уравнений движения, записанных в операторной форме, в результате которого аналитическое выражение квадратов модуля искомой частотной функции может быть представлено в виде

$$|H_{\tilde{N}}(i\omega)|^2 = A_{\tilde{N}}^2(\omega) = a_{\tilde{N}}^2(\omega) + b_{\tilde{N}}^2(\omega) , \quad (3)$$

где $a_{\tilde{N}}(\omega)$ и $b_{\tilde{N}}(\omega)$ – выражаемые через параметры подвески коэффициенты при действительном и мнимом членах комплексной функции $H_{\tilde{N}}(i\omega)$.

Рассчитав и построив график $|H_{\tilde{N}}(i\omega)|^2$, после перемножения $|H_{\tilde{N}}(i\omega)|^2$ и $S_q(\omega)$ при одних и тех же частотах, получаем график спектра динамических нагрузок, действующих на колесо в заданных условиях движения – скорости автомобиля V_a и характеристики микропрофиля $S_q(\lambda)$. Следует заметить, что расчеты, выполненные по формуле (3) с использованием экспериментальной амплитудной частотной характеристики $A_{\tilde{N}}(\omega)$, заметно повышают достоверность получаемого спектра $S_{\tilde{N}}(\omega)$, так как в этом случае существенно уменьшаются погрешности, неизбежные при определении параметров эквивалентной колебательной системы, используемые при аналитическом расчёте частотной функции $H_{\tilde{N}}(i\omega)$.

По данной методике были рассчитаны спектры динамических нагрузок на передние колёса автомобиля ВАЗ-2123 при движении по грунтовой дороге. В качестве расчетной схемы передней подвески использовалась общепринятая при параметрических исследованиях колебаний автомобиля двухмассовая линейная динамическая система [4] с численными значениями параметров: подрессоренная масса, приходящаяся на подвеску, $M_p=750$ кг (конструктивная масса); масса неподрессоренных частей подвески $M_n=70$ кг; жёсткость упругих элементов $2C_p=62$ кН/м; жёсткость шин $2C_n = 380$ кН/м; коэффициенты сопротивления амортизаторов $2K_p=2$ кН·с/м; коэффициенты демпфирования колебаний шинами $2K_n=0,06$ кН·с/м. Для упрощения расчета и анализа получаемых результатов принимаем, что микропрофиль дороги зависит только от продольной координаты, а контакт колес с опорной поверхностью дороги – точечный. Амплитудно-частотные характеристики $A_{\tilde{N}}(\omega)$ динамической нагрузки передних колёс автомобиля ВАЗ-2123 с разной величиной сопротивления амортизаторов подвески, рассчитанные с использованием зависимости (3), приведены на рис. 1.

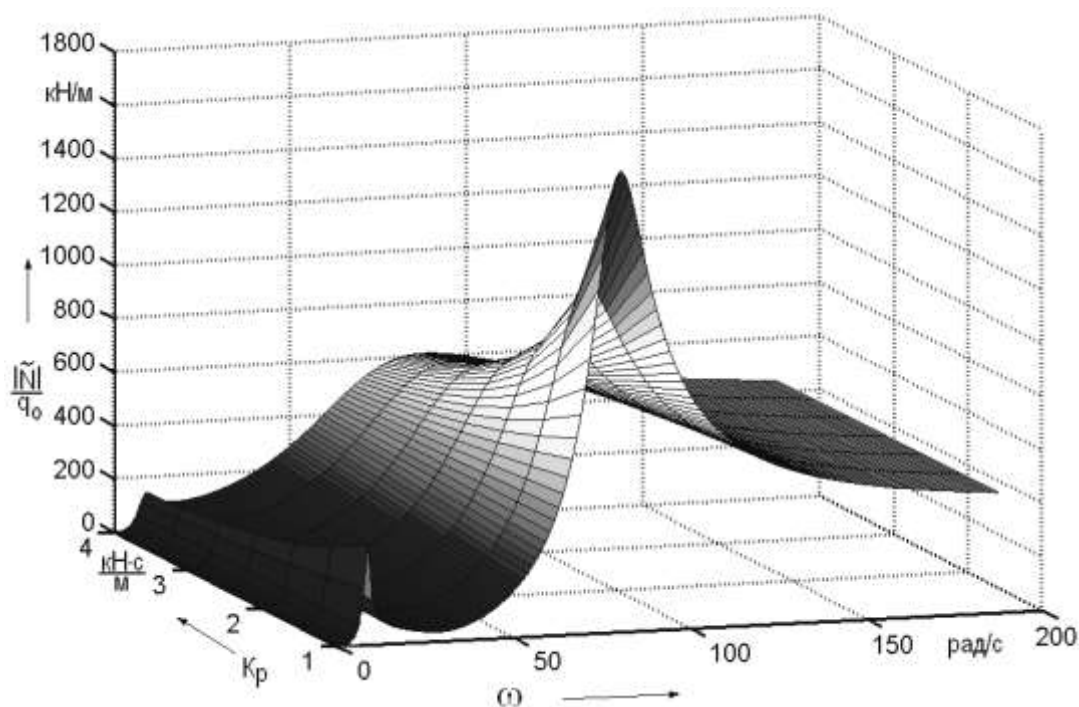


Рис. 1. Амплитудно-частотные характеристики вертикальной динамической нагрузки на передние колёса автомобиля ВАЗ-2123 при разных сопротивлениях амортизатора

Спектральная плотность микропрофиля грунтовой дороги задавалась аппроксимирующей функцией [5]:

$$S_q(\lambda) = \frac{k_1}{\lambda^2 + k_3^2} \cdot \frac{\lambda^2 + k_2^2}{\lambda^2 + k_4^2}, \quad (4)$$

где $k_1=4 \cdot 10^{-5}$; $k_2=3$; $k_3=0,1$; $k_4=0,3$. Переход от спектральной плотности $S_q(\lambda)$ по протяженности к спектральной плотности $S_q(\omega)$ воздействия по частоте производится пересчетом по соотношению

$$S_q(\omega) = (1/V_a) \cdot S_q(\lambda), \quad (5)$$

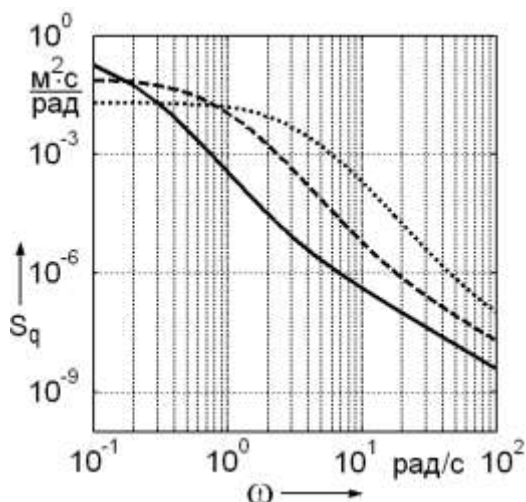


Рис. 2. Спектры возмущений, создаваемых микропрофилем грунтовой дороги при различных скоростях движения автомобиля:
— — $V_a=1$ м/с; --- — $V_a=5$ м/с; ··· — $V_a=20$ м/с

заменяя в выражении для $S_q(\lambda)$ путевую частоту λ на ω/V_a . Рассчитанные для трех значений скорости автомобиля энергетические спектры воздействия микропрофиля грунтовой дороги изображены на рис.2. Как видим, графики $S_q(\omega)$ представляют собой асимптотически убывающие, с увеличением частоты колебаний ω , функции с одним максимумом. С ростом скорости V_a величина максимума $S_q(\omega)$ уменьшается, а сами кривые становятся более пологими, что указывает на усиление влияния высокочастотного спектра.

Используя аналитическое выражение квадратов модуля частотной функции (3), произведен расчет спектров нормальной нагрузки на передние колеса ВА3-2123 при движении по грунтовой дороге. Графики изменения спектральной плотности от частоты ω для разных значений скорости

автомобиля и сопротивления амортизаторов представлены рис. 3, а и б. Сравнивая рис. 3 и рис. 1, видим, что, как и на амплитудно-частотных характеристиках $A_{\tilde{N}}(\omega)$ колесной нагрузки максимумы на кривых $S_{\tilde{N}}(\omega)$ наблюдаются в зонах резонансных частот колебаний, но, в отличие от характеристик $A_{\tilde{N}}(\omega)$, на графиках $S_{\tilde{N}}(\omega)$ высокочастотный максимум в зоне частот собственных колебаний неподрессоренных частей автомобиля (переднего моста с колесами) значительно меньше, чем низкочастотный максимум в области частот собственных колебаний поддрессоренной массы (кузова). Это означает, что основная масса дисперсий динамических нагрузок на колеса автомобиля приходится на низкие частоты, тогда как высокочастотная резонансная область (область колесного резонанса) почти не проявляется. Это связано с тем, что вызывающие высокочастотные колебания короткие (с меньшей длиной волны) дорожные неровности, в среднем, меньшей высоты, чем длинные [5], и их воздействие на автомобиль, естественно, оказывается меньшим.

Влияние на спектральную плотность $S_{\tilde{N}}(\omega)$ величины сопротивления амортизаторов также проявляется (рис. 3,а), главным образом, при резонансных колебаниях кузова и колесном резонансе, что связано с частотной характеристикой колесной нагрузки $A_{\tilde{N}}(\omega)$, ординаты которой с увеличением демпфирования в подвеске уменьшаются (см. рис. 1).

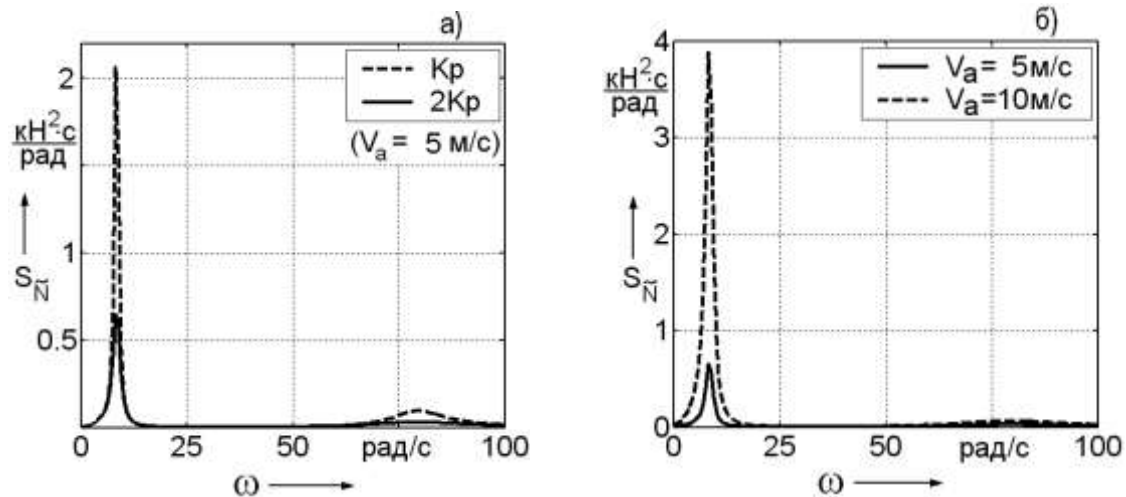


Рис. 3. Влияние на спектральную плотность дисперсий вертикальной динамической нагрузки передних колёс автомобиля ВА3-2123 сопротивления амортизаторов подвески (а) и скорости автомобиля (б) при движении по грунтовой дороге

Влияние на спектры $S_{\tilde{N}}(\omega)$ величины скорости V_a установившегося движения показано на рис. 3,б. Наблюдаемый при увеличении скорости автомобиля рост уровня спектра колесных нагрузок объясняется усилением возмущающего воздействия дороги $S_q(\omega)$ (см. рис. 2).

Спектральная плотность $S_{\tilde{N}}(\omega)$ является основной статистической характеристикой динамики колесной нагрузки автомобиля при стационарных случайных колебаниях. Располагая спектром $S_{\tilde{N}}(\omega)$, можно рассчитать ряд важных показателей случайного процесса изменения колесной нагрузки: среднее квадратическое значение вертикальной динамической нагрузки \tilde{N} , вероятность отрыва колеса от поверхности дороги, а также их число и продолжительность за пробег – параметров, необходимых для оценки влияния колебаний колесной нагрузки автомобиля на его эксплуатационные качества, надежность и долговечность.

Средняя квадратичная величина динамической нагрузки \tilde{N} , действующей на колесо при случайных стационарных колебаниях, полностью определяется характеристикой ее спектральной плотности $S_{\tilde{N}}(\omega)$:

$$\sigma_{\tilde{N}} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} S_{\tilde{N}}(\omega) d\omega} . \quad (6)$$

Определенный интеграл в (6) вычисляем по графику спектральной плотности (рис. 3), как площадь, ограниченную осью частот ω и кривой $S_{\tilde{N}}(\omega)$. Такой графоаналитический способ нахождения интеграла имеет определенные преимущества перед аналитическим, обеспечивая возможность использовать для расчета $S_{\tilde{N}}(\omega)$ экспериментальные (получаемые на стенде) амплитудно-частотные характеристики $A_{\tilde{N}}(\omega)$, избегая тем самым сложностей, связанных с приведением функции $S_{\tilde{N}}(\omega)$ к виду, удобному для интегрирования.

Численные значения $\sigma_{\tilde{N}}$, отнесенные к величине нормальной нагрузки колеса в статическом состоянии – $\sigma_{\tilde{N}o} = \sigma_{\tilde{N}} / G a_k$, являются показателем стабильности силового контакта колес с дорогой. Изменение относительной среднеквадратичной динамической нагрузки $\sigma_{\tilde{N}o}$ на передние колёса автомобиля ВА3-2123 в зависимости от скорости движения на грунтовой дороге при разных сопротивлениях амортизаторов подвески показано на рис. 4. Из представленных рисун-

ков следует, что увеличение скорости движения автомобиля и уменьшение интенсивности демпфирования в подвеске приводят к снижению стабильности колесной нагрузки.

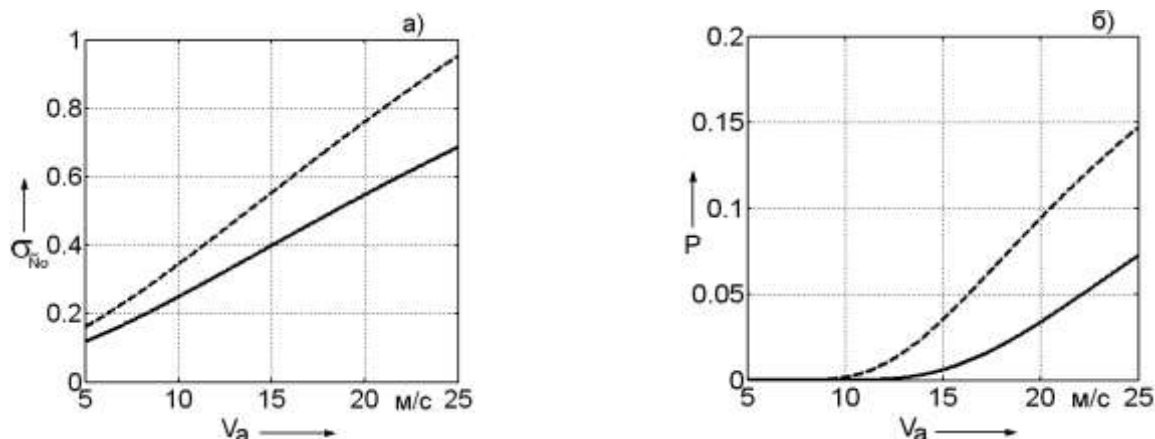


Рис. 4. Средние квадратические значения относительной вертикальной динамической нагрузки на передние колёса ВАЗ-2123 (а) и вероятность их отрыва (б) в зависимости от скорости движения автомобиля по грунтовой дороге при различных сопротивлениях амортизаторов подвески (---- – Кр; ——— – 2Кр)

Как показывают исследования [5], распределение ординат микропрофиля реальной дорожной поверхности близко к нормальному. А поскольку в линейных динамических системах статистические свойства случайной величины на выходе сохраняются такими же, какими обладает входное возмущающее воздействие, то и текущие значения динамической колесной нагрузки \tilde{N} линейно поддресоренного автомобиля также будут распределяться по нормальному закону. В принятой к расчету линейной схеме подвески обобщенные координаты отсчитываются от положения статического равновесия [4], следовательно, математическое ожидание $m_{\tilde{N}}$ динамической составляющей колесной нагрузки \tilde{N} будет равно нулю, а дифференциальная функция распределения для нормального случайного процесса $\tilde{N}(t)$ запишется:

$$f(\tilde{N}) = \frac{1}{\sigma_{\tilde{N}} \sqrt{2\pi}} \exp(-\tilde{N}^2 / 2\sigma_{\tilde{N}}^2) . \quad (7)$$

При движении по неровной дороге переменные по величине и знаку динамические усилия \tilde{N} от упругих элементов и амортизаторов, возникающие в подвеске вследствие отклонения поддресоренных и неподдресоренных масс от положения статического равновесия, изменяют нормальную нагрузку N , передаваемую колесами автомобиля на дорогу: на ходе сжатия колесная нагрузка возрастает ($N = Ga_k + \tilde{N}$), усиливая разрушающее воздействие автомобиля на дорожное покрытие, а при отбое нагрузка N уменьшается ($N = Ga_k - \tilde{N}$). При значительном ее снижении может произойти отрыв колеса от поверхности дороги (при $N=0$), что опасно, прежде всего, нарушением управляемости автомобиля. При стационарных колебаниях с нормальным законом распределения колесной нагрузки существует вероятность, что на ходе отбоя отрицательные по знаку значения динамической колесной нагрузки \tilde{N} превысят статическую Ga_k :

$$P(\tilde{N} \leq -Ga_k) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{-t_1} \exp(-t^2 / 2) dt = \Phi(t_1) - \Phi(-\infty) ,$$

или, учитывая нечётность функции Лапласа,

$$P(\tilde{N} \leq -Ga_k) = \Phi(\infty) - \Phi(t_1) , \quad (8)$$

где $t_1 = Ga_k / \sigma_{\tilde{N}}$.

Вероятности отрыва передних колёс автомобиля ВАЗ-2123 в зависимости от скорости движения по грунтовой дороге при разных по величине сопротивлениях амортизаторов подвески показаны на рис. 4, б.

Для количественной оценки влияния нарушения контакта колёс автомобиля с дорогой на его эксплуатационные свойства (управляемость, тяговую динамику, экономичность), динамическую нагруженность трансмиссии и износ шин знание одной только вероятности отрыва колёс недостаточно: необходимо знать также число и продолжительность отрывов в единицу времени или за пройденный путь. Вероятное среднее число отрывов n_o за отрезок времени Δt находим как среднее число выбросов случайного процесса $\tilde{N}(t)$ за уровень $\tilde{N} = -Ga_k$, которое будет равно половине числа пересечений случайным процессом $\tilde{N}(t)$ заданного уровня в направлении сверху вниз (отрицательный выброс) [3]. Для Гауссовского случайного процесса $\tilde{N}(t)$:

$$n_o = \frac{\Delta t}{2\pi} \cdot \frac{\sigma_{\dot{\tilde{N}}}}{\sigma_{\tilde{N}}} \exp(-t_1^2/2) , \quad (9)$$

где $\sigma_{\dot{\tilde{N}}}$ – средняя квадратичная скорость изменения колёсной нагрузки \tilde{N} при заданной скорости V_a равномерного движения автомобиля на дороге с микропрофилем $S_q(\lambda)$:

$$\sigma_{\dot{\tilde{N}}} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} S_{\dot{\tilde{N}}}(\omega) d\omega} . \quad (10)$$

Учитывая, что для получения спектральной плотности производной случайного процесса достаточно умножить спектральную плотность процесса на квадрат частоты, расчётная зависимость (10), при условии дифференцируемости $\tilde{N}(t)$, может быть представлена в виде:

$$\sigma_{\dot{\tilde{N}}} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \omega^2 S_{\tilde{N}}(\omega) d\omega} . \quad (11)$$

Соответствующее значению n_o вероятное среднее число отрывов за пробег L зависит от скорости V_a автомобиля:

$$n_L = n_o \cdot L / V_a . \quad (12)$$

Суммарное время T_c нарушения силового контакта ведущих колёс автомобиля, определяющее снижение тягово-скоростных качеств и топливной экономичности автомобиля, находим как суммарную продолжительность отрицательных выбросов за пробег L (общее время пребывания реализаций случайного процесса $\tilde{N}(t)$ ниже уровня $\tilde{N} = -Ga_k$ за время Δt) [6]:

$$T_c = \Delta t \cdot F(\tilde{N}) = (L/V_a) \cdot [\Phi(\infty) - \Phi(t_1)] . \quad (13)$$

Располагая значениями T_c n_L , находим среднюю продолжительность одного отрыва:

$$\tau_c = \frac{T_c}{n_L} = 2\pi \cdot \frac{\sigma_{\tilde{N}}}{\sigma_{\dot{\tilde{N}}}} \exp(t_1^2/2) \cdot [\Phi(\infty) - \Phi(t_1)] . \quad (14)$$

Вероятностные характеристики отрыва передних колёс ВА3-2123 при различных значениях скорости V_a установившегося движения и сопротивления амортизаторов подвески представлены на рис. 5.

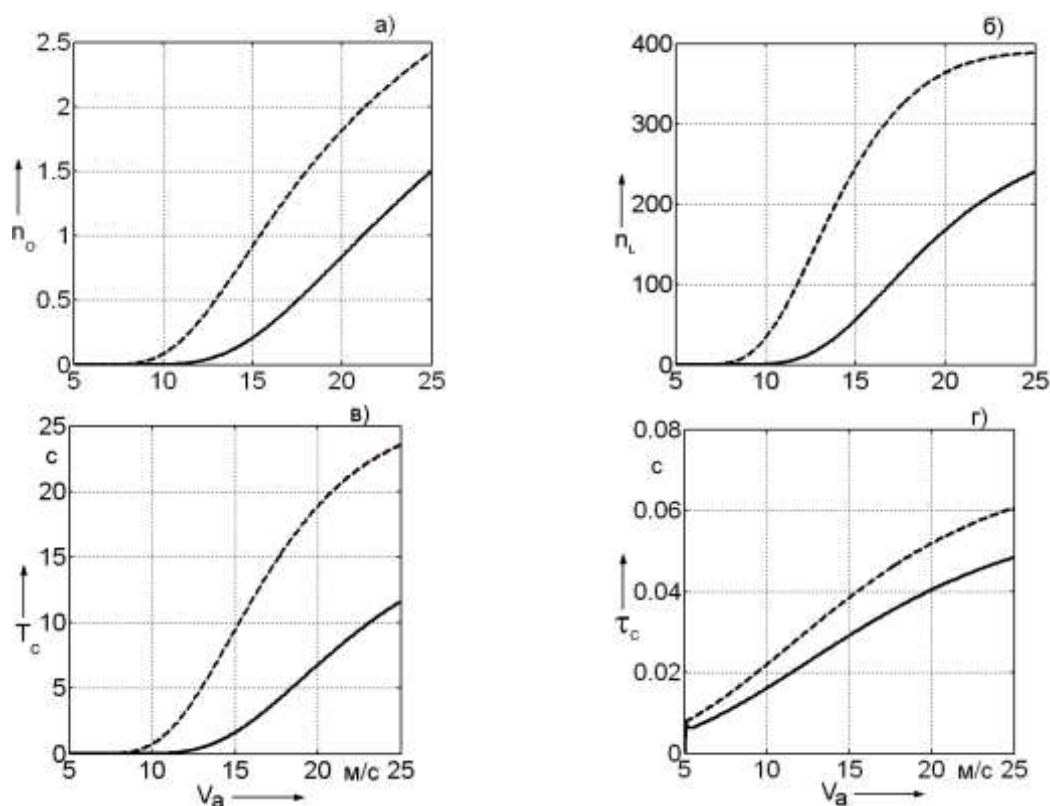


Рис. 5. Показатели стабильности контакта передних колёс автомобиля ВА3-2123 в зависимости от скорости движения по грунтовой дороге при разных сопротивлениях амортизаторов подвески (---- – K_p ; — – $2K_p$): а – число отрывов колёс от дороги в единицу времени; б – число отрывов за пробег $L = 4$ км; в – суммарная продолжительность отрывов за пробег $L = 4$ км; г – средняя продолжительность отрыва

Рассмотренная методика определения показателей стабильности колесной нагрузки при стационарных случайных колебаниях автомобиля обеспечивает возможность расчетного исследования качества работы подвески в реальных дорожных условиях с целью оптимизации ее параметров, учитывая влияние поддрессоривания на силовой контакт колес автомобиля с дорогой, надежность и стабильность которого определяют уровень эксплуатационных качеств автомобиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колебания автомобиля. Испытания и исследования / Я.М. Певзнер, Г.Г. Гридасов, А.Д. Конев, А.Е. Плетнев. М.: Машиностроение, 1979. 208 с.
2. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций / А.А. Свешников. М.: Наука, 1967. 464 с.
3. Светлицкий В.А. Статистическая механика и теория надёжности / В.А. Светлицкий. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 504 с.
4. Любимов И.И. Динамика колесной нагрузки при колебаниях автомобиля / И.И. Любимов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2004. № 4 (5). С. 33-38.

5. Хачатуров А.А. Расчет эксплуатационных параметров движения автомобиля и автопоезда / А.А. Хачатуров, В.Л. Афанасьев, В.С. Васильев. М.: Транспорт, 1982. 264 с.

6. Гусев А.С. Расчет конструкций при случайном воздействии / А.С. Гусев, В.А. Светлицкий. М.: Машиностроение, 1984. 204 с.

Любимов Иван Иванович –

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Автомобили и двигатели» Саратовского государственного технического университета.

Сычев Александр Михайлович –

кандидат технических наук, ассистент кафедры «Автомобили и двигатели» Саратовского государственного технического университета

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 541.135; 621.355.14

А.Г. Ничволодин, Л.Н. Ольшанская

КОМПОЗИТНЫЙ КАТОД НА ОСНОВЕ ОКСИДА ХРОМА (VI) И ПОЛИФТОРУГЛЕРОДА ДЛЯ ЛИТИЕВОГО АККУМУЛЯТОРА

Представлены экспериментальные данные по способу изготовления композитного электрода на основе оксида хрома (VI) и полифторуглерода и диффузионно-кинетические характеристики интеркаляции лития в исследуемый материал.

A.G. Nitschvolodin, L.N. Olshanskaya

COMPOSITE CATHODE ON CROMOXIDE (VI) BASIS AND POLIPHTORCARBONE FOR LITHIUM THE BATTERIE

Experimental data on manufacturing composite an electrode on a basis cromoxide (VI) and poliphthorcarbone and diffusion-kinetic characteristics intercalation lithium in a researched material are presented in this article.

Для повышения удельных разрядных характеристик катодных интеркалируемых материалов (КИМ) авторами предлагаются различные способы: введение в активную массу модифицирующих добавок (сажа, графит, металлические порошки) [1], использование в качестве положительного электрода смесей различных активных веществ (оксидов металлов [2,3], оксидов неметаллов [4]), изменение степени дисперсности (измельчение частиц) и гомогенизации компонентов активной катодной массы [5,6]. Применение смешанных соединений позволяет нивелировать недостатки одного материала достоинствами другого. При этом увеличивается кулоновская эффективность активной массы, уменьшается поляризация положительного электрода, повышаются среднее напряжение при разряде и отдаваемая емкость. Увеличение разрядных характеристик катодов, как правило, связано с увеличением электропроводности активной массы электрода. При достижении оптимальной дисперсности и гомогенности активной массы также возрастают коэффициент использования и отдаваемая катодами емкость [5,6].

Для увеличения электрохимических характеристик оксида хрома (VI) – CrO_3 , как катодного материала литиевых аккумуляторов и предотвращения процесса его растворения в неводных электролитах, о чем указывалось в [7-9], нами предложена технология синтеза композитных материалов (КМ) на основе полифторуглерода $(\text{CF}_{0,5})_n$, CrO_3 и аккумуляторного графита ГАК-1(С). При этом в процессе синтеза CrO_3 распределяется в межплоскостных

слоях $(CF_{0,5})_n$ и графита, образуя новые, сложные по составу соединения: $CrO_3 \cdot (CF_{0,5})_n$ и $CrO_3 \cdot (CF_{0,5})_n \cdot C$. Все компоненты, входящие в состав КМ, при разряде способны интеркалировать литий.

Активное вещество готовили по следующей схеме: брали исходные компоненты в соотношениях $CrO_3:(CF_{0,5})_n=1:1$ (I); $CrO_3:(CF_{0,5})_n:C=1:0,75:0,25$ (II); $CrO_3:(CF_{0,5})_n:C=1:0,5:0,5$ (III); $CrO_3:(CF_{0,5})_n:C=1:0,25:0,75$ (IV). Смесь тщательно перемешивали и для ускорения процесса внедрения оксида CrO_3 в слоистые структуры полифторуглерода и графита подвергали непрерывной термообработке при $198 \pm 1^\circ C$ в течение 48 часов при нормальном давлении в воздушной атмосфере, аналогично получению соединения C_8CrO_3 [8, 9], который хорошо зарекомендовал себя в качестве КИМ [10, 11]. Во всех случаях для повышения электропроводности к активному веществу добавляли 10 мас. % электропроводной графитизированной сажи марки ПМ-100 и 10 мас. % связующего – растворенного в ацетоне фторопласта марки Ф-42Л.

Сравнение величин бестоковых потенциалов и разрядных характеристик катодов на основе КМ проводили в растворе $LiClO_4$ концентрации 1 моль/л в смеси пропиленкарбоната и диметоксиэтана ПК:ДМЭ, взятых в соотношении 1:1 по объему. Электродом сравнения служил неводный хлорсеребряный электрод (НХСЭ), потенциал которого относительно водного ХСЭ при $T=298 K$ составлял $-0,06 \pm 0,001 V$. В качестве противоэлектрода использовали стеклографитовые стержни ($S \approx 10 \text{ см}^2$).

Полученные данные (для второго цикла) показали, что в случае $CF_x \cdot CrO_3$ -катада (I) достигается наибольшая емкость, отдаваемая электродом при разряде (рис. 1, кривая 1) по сравнению с другими составами катодов и с C_8CrO_3 (рис. 1, кривые 2-5). Но при этом это соединение имеет более низкое (относительно C_8CrO_3) значение бестокового стационарного потенциала (табл. 1).

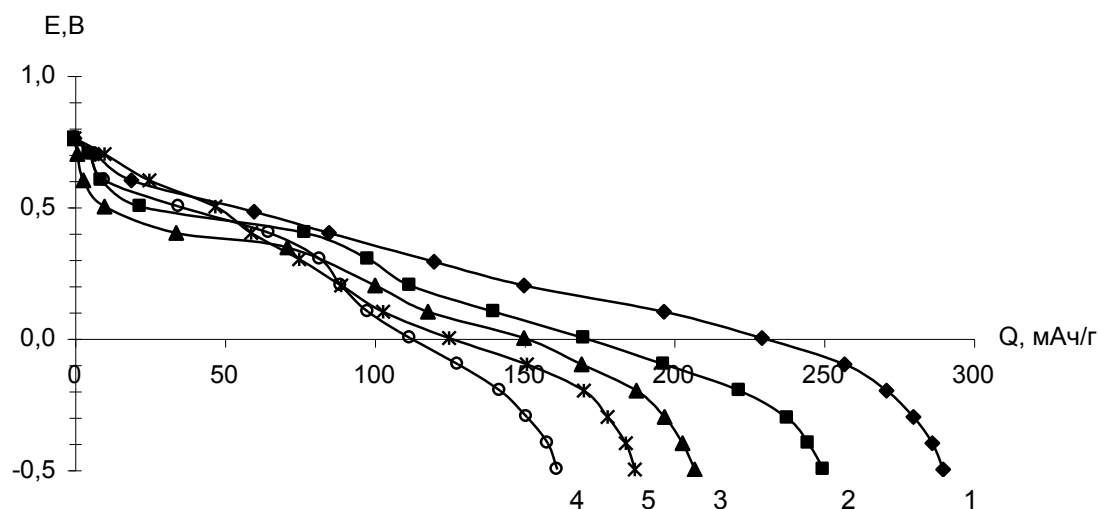


Рис. 1. E, Q -кривые разряда (2-й цикл) катодов при $j_p=0,5 \text{ mA/cm}^2$ в $1M LiClO_4$ в ПК+ДМЭ (1:1) при $T=298 K$: 1 – I; 2 – II; 3 – III; 4 – IV; 5 – C_8CrO_3

Таблица 1

Величины стационарных бестоковых потенциалов для синтезированных соединений в $1M LiClO_4$ в ПК+ДМЭ (1:1) при $T=298 K$

Выдержка без тока, мин	Катод				
	I	II	III	IV	C_8CrO_3
0	0,70	0,71	0,73	0,74	0,78
15	0,72	0,65	0,69	0,72	0,74

Для $(CF_{0,5})_n \cdot CrO_3$ -катода наблюдается также и более низкое начальное напряжение при разряде (относительно C_8CrO_3), но оно более стабильно и имеет значительно более высокое значение в конце разряда (рис. 1, кривая 1).

Эти особенности катода (I) могут быть обусловлены отличием строения структуры композитного электродного вещества: иным, чем у исходного C_8CrO_3 , размером частиц, их взаимной ориентацией, взаимодействием в системе $(CF_{0,5})_n \cdot CrO_3$, что, по всей вероятности, оказывает существенное влияние на процессы интеркаляции и продвижение лития в глубокие слои активного материала.

Наиболее существенным преимуществом $(CF_{0,5})_n \cdot CrO_3$ -катода перед C_8CrO_3 является более полное использование АМ при высоких токах разряда. Это видно из рис. 2-4, на которых приведены зависимости емкости, отдаваемой различными электродами, от величины плотности тока разряда.

Необходимо отметить, что для всех катодов разрядные кривые имеют ступенчатую форму. Для катода (I) – с большим содержанием полифторуглерода в составе катодной массы, разрядная емкость достигает ~ 300 мАч/г и закономерно снижается до 160 мАч/г (катод (IV)). То есть снижение содержания полифторуглерода в составе активного вещества катода приводит к уменьшению емкости, отдаваемой при разряде.

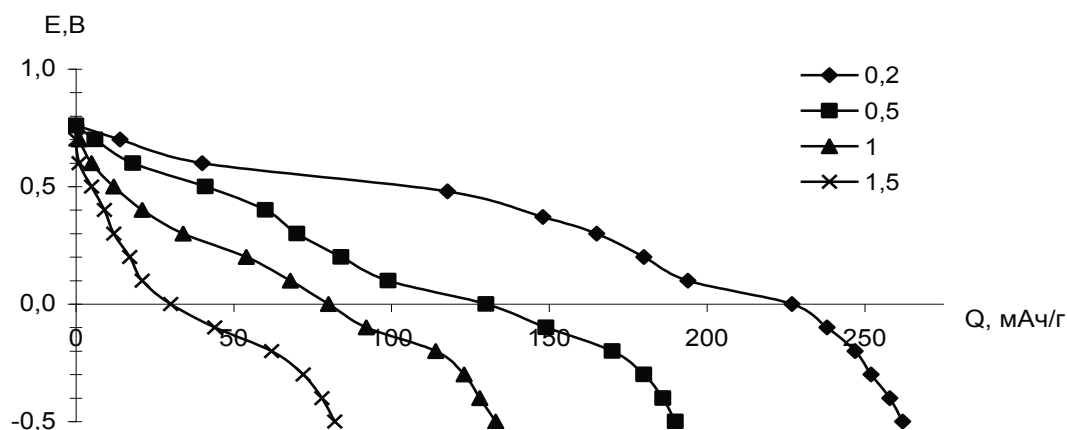


Рис. 2. Влияние величины тока на ход разрядных E,Q-кривых C_8CrO_3 -катода в 1M LiClO₄ в ПК+ДМЭ (1:1)

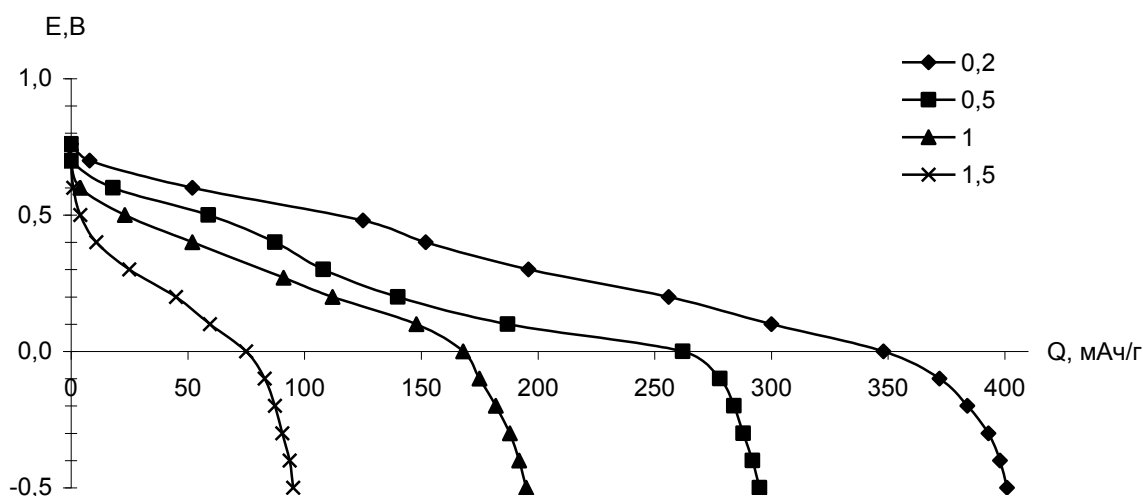


Рис. 3. Влияние величины тока на ход разрядных E,Q-кривых катода (I) в 1M LiClO₄ в ПК+ДМЭ (1:1)

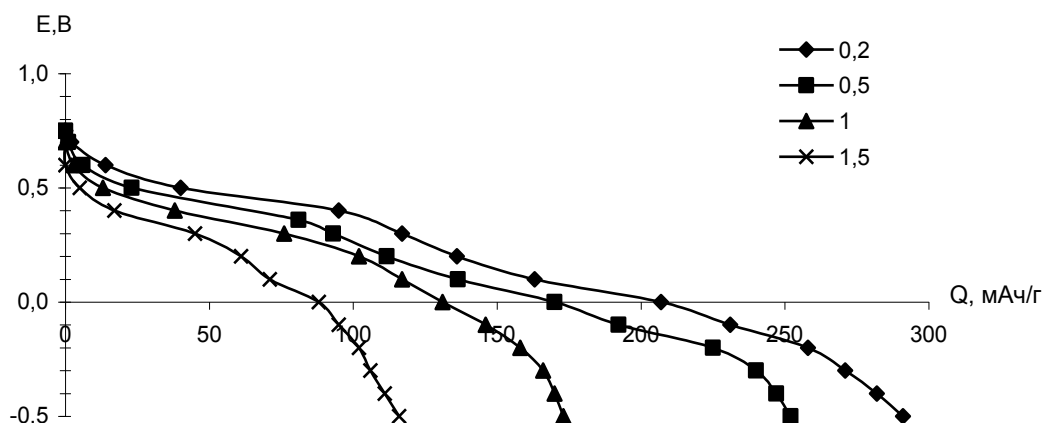
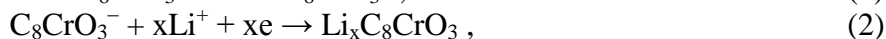


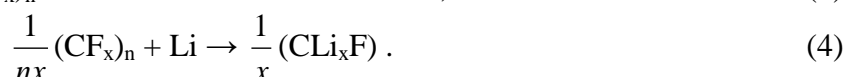
Рис. 4. Влияние величины тока на ход разрядных E,Q-кривых катода (III) в 1M LiClO₄ в ПК+ДМЭ (1:1)

Изломы (ступени), наблюдаемые на кривых, указывают на фазовые изменения, происходящие в составе катодного вещества электрода при электрохимическом внедрении (интеркаляции) лития в процессе разряда. Слоистые структуры (к которым относятся (CF_x)_n и графит) способны к внедрению и обратимому выходу ионов, атомов и молекул без разрушения исходной решетки. Но при этом, как правило, увеличивается расстояние между слоями [8-12]. В процессе интеркалирования лития происходит перераспределение атомов внедряемого металла в пустотах между слоями исходного катодного материала и расположение их на вакантных местах с меньшими энергетическими уровнями.

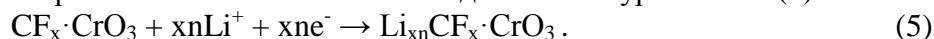
Если для С₈CrO₃-электрода процесс литизации можно описать с помощью схемы [3, 6, 10, 11]:



где x может достигать $\sim 3 \dots 4$, то в случае композитных электродов процесс более сложен, т.к. электрохимически активны и хром и фторсодержащие компоненты, находящиеся в составе смешанного катода. В случае (CF_x)_n процесс внедрения лития осуществляется в соответствии с уравнениями [2, 12, 13]:



Тогда для исследуемого нами композитного электрода можно предположить следующий механизм процесса, сопровождающего интеркалирование лития. Кроме стадий (1)-(4) весьма вероятным является образование более сложного соединения по уравнению (5):

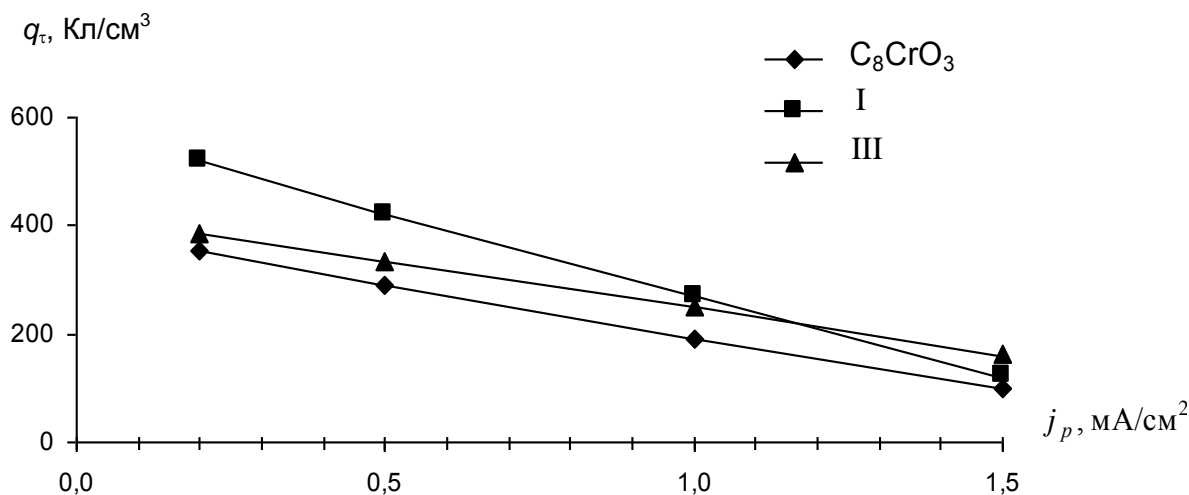


Анализ данных (рис. 2-5) в соответствии с теорией метода тонкослойной хронопотенциометрии [12] позволил оценить величину начальной концентрации литиевых дефектов (c_{Li}^0) и коэффициент диффузии лития (D_{Li}) в исследуемых КМ (табл. 2).

Таблица 2

Диффузионно-кинетические характеристики композитных электродов в 1M LiClO₄ в ПК+ДМЭ (1:1) при T=298 K

Параметры	Катод		
	I	III	C ₈ CrO ₃
$c_{\text{Li}}^0 \cdot 10^3$, моль/см ³	5,8	4,4	4,2
$D_{\text{Li}} \cdot 10^8$, см ² /с	3,4	5,1	4,2

Рис. 5. Зависимость q_t - j_p для катодов в 1М LiClO₄ в ПК+ДМЭ (1:1)

Выводы

Полученные нами данные показали возможность синтеза нового композитного электрода на основе оксида хрома (IV), полифторуглерода (CF_{0,5})_n и графита. Установлено, что при содержании (CF_{0,5})_n в составе АМ в количествах более 25 мас. % разрядные характеристики электродов улучшаются, растет начальная концентрация литиевых дефектов, но при этом наблюдается снижение коэффициента диффузии D_{Li} в структуре активной массы (I). Последний факт может быть обусловлен мешающим влиянием (взаимным отталкиванием) большего количества (по величинам c_{Li}^0 в ~1,1...1,4 раза, чем для других катодов (см. табл. 2)) внедряющихся катионов лития.

Композитные электроды показали более высокие электрохимические характеристики, чем C₈CrO₃ электрод, особенно при высоких токах разряда. В связи с этим они могут оказаться весьма перспективными для использования в литиевых и литий-ионных аккумуляторах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варыпаев В.Н. Химические источники тока: учеб. пособие для химико-технол. спец. вузов / В.Н. Варыпаев, М.А. Дасоян, В.А. Никольский; под ред. В.Н. Варыпаева. М.: Высшая школа, 1990. 240 с.
2. Discharging process of (CF_x)_n·MnO₂ mixed cathode lithium battery / He Xianghuae, Shi Pi, Ein Eli et all // Lithium Batteries. Extend afstr.5-th Int. Meet. Beijing. May 27 - June 1, 1990. Beijing, China, 1990. P. 70-81.
3. Модифицирование C₈CrO₃ электрода литиевого аккумулятора оксидами переходных металлов / С.С. Попова, Л.Н. Ольшанская, И.А. Кедринский и др. // Литиевые источники тока: тез. докл. III совещ. стран СНГ. Екатеринбург: Ин-т высокотемпер. электрохимии УРО РАН, 1994. С. 18.
4. Besenhard J.O. Modified chromium oxides for highrate / Li- intercalation cathodes / J.O. Besenhard, M. Schaware, N. Misailiclis // J. Power Sources. 1989. Vol. 26, № 3. P. 409-416.
5. Шехтман А.З. Зависимость характеристик литиевых источников тока с твердым катодом от размеров частиц активного компонента катода / А.З. Шехтман // Электрохимия. 1990. Т. 26, № 1. С. 77-78.
6. Ольшанская Л.Н. Влияние технологических параметров на электрохимическую активность C₈CrO₃ электрода при внедрении лития в органических электролитах / Л.Н. Ольшанская, С.С. Попова // Журнал прикладной химии. 2000. Т. 73, № 1. С. 54-58.

7. Scowron S. The dilute intercalation compounds of graphite with chromium trioxide synthesis properties and electrochemical application / S. Scowron // Chemistry and Industrial Chemistry. 1986. Vol. 16, № 2. P. 107-114.
8. Armand M.B. New electrode material. Fast ion transport in solids / M.B. Armand // Solid State Batteries and Devices. Amsterdam, 1973. P. 665-673.
9. Ebert L.B. The nature of the chromium trioxide intercalation in graphite / L.B. Ebert, B.A. Haggins, J.I. Brauman // Carbon. 1974. Vol. 12, № 2. P. 199-208.
10. Попова С.С. Электрохимическое поведение соединений внедрения C_8CrO_3 в неводных электролитах/ С.С. Попова, Л.Н. Ольшанская, Ю.Н. Семенов // Электротехническая промышленность. Сер. Химические и физические источники тока. 1982. № 6. С. 7-9.
11. Разрядные характеристики литиевого аккумулятора системы $LiAl/C_8CrO_3$ с органическим электролитом / Л.Н. Ольшанская, С.С. Попова, А.Г. Ничволодин и др. // Журнал прикладной химии. 2001. Т. 74, № 1. С. 53-55.
12. Химические источники тока с литиевым электродом / под ред. И.А. Кедринского. Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1983. 247 с.
13. Hamwi A. A very good electrochemical behavior as cathode material in lithium non-aqueous electrolyte cell / A. Hamwi, M. Daound, S.C. Cousseins // Synthetic Materials. 1989. Vol. 30, № 1. P. 23-31.
14. Тысячный В.П. Восстановление оксидно-никелевых пленок в гальваностатическом режиме / В.П. Тысячный, О.С. Ксенжек // Электрохимия. 1976. Т. 12, № 7. С. 1161-1163.

Ничволодин Алексей Геннадиевич –

аспирант кафедры «Технология электрохимических производств»
Энгельсского технологического института
Саратовского государственного технического университета

Ольшанская Любовь Николаевна –

доктор химических наук, профессор,
заведующая кафедрой «Экология и охрана окружающей среды»
Энгельсского технологического института
Саратовского государственного технического университета

УДК 546.26-162:628.16:541.183.12

А.В. Яковлев, С.Л. Забудьков, Е.В. Яковлева, А.И. Финаенов

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА
ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ИОНОВ $Cr(VI)$, $Ni(II)$, $Fe(II)$**

Исследованы адсорбционно-ионообменные свойства терморасширенного графита по катионам никеля (II) и железа (II).

Удовлетворительная сорбционная емкость по катионам хрома (VI) достигнута лишь с невысокой степенью извлечения, что технически ограничивает применение ТРГ для очистки хромсодержащих сточных вод. Для извлечения катионов никеля (II) и железа (II) ТРГ является достаточно эффективным сорбентом. Степень извлечения указанных ионов сопоставима, а в некоторых случаях превышает показатели традиционно используемых сорбентов и ионообменников.

A.V. Yakovlev, S.L. Zabud'kov, Ye.V. Yakovleva, A.I. Finaenov

THERMALLY EXPANDED GRAPHITE (TEG) APPLICATION FOR WATER PURIFICATION FROM Cr^{6+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} IONS

Both adsorptive and ion-exchange properties of thermally expanded graphite in relation to cations (Ni^{2+} and Fe^{2+}) are studied here.

Acceptable sorption capacity to Cr^{6+} cations is obtained only with low extraction degree, which technically restricts the application of TEG for purification of chromium-contained sewages and wastes. To extract Ni^{2+} and Fe^{2+} cations, TEG appears to be rather effective sorbent. The extraction degree for these cations is acceptable; in a number of cases it is even higher than that of sorbents and ion exchangers conventionally used.

Как известно, терморасширенный графит (ТРГ) является эффективным сорбентом для извлечения катионов жесткости [1]. Сорбционная емкость по катионам жесткости составляет 0,42 мг-экв/г, что более чем в 3 раза превышает показатели волокнистых сорбентов [2]. Можно предполагать, что ТРГ применим в качестве сорбционного материала для извлечения и других катионов металлов.

В настоящей статье представлены результаты исследований адсорбционных свойств терморасширенного графита по ионам Cr^{6+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} .

Экспериментальная часть

Адсорбционная и ионообменная способности ТРГ по катионам Cr^{6+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} оценивались смешением его навески с определенным объемом модельных растворов (табл. 1). В ряде случаев раствор фильтровался через слой ТРГ, помещенный на сетку из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Концентрация катионов после экспозиции растворов с углеродным материалом оценивалась методами, указанными в табл. 1.

Таблица 1

Состав анализируемых растворов и методы определения концентрации катионов

№ п/п	Реагент, квалификация «ХЧ»	Концентрация катионов, г/л	Метод определения концентраций
1	$NiCl_2 \cdot 6H_2O$ (ГОСТ 4038-74)	0,25	Комплексонометрия (РД 20.1:2:3.19-95)
2	$FeCl_2 \cdot 4H_2O$ (ГОСТ 11159-76)	0,83	Комплексонометрия (ГОСТ 4011-72)
3	$K_2Cr_2O_7$ (ГОСТ 2652-78)	0,23	Комплексонометрия (РД 52.24.446-95)
4	H_2CrO_4 (ГОСТ 2548-77)	0,36	

В качестве адсорбента для очистки воды, содержащей катионы тяжелых металлов (Ni^{2+} , Fe^{2+} , Cr^{6+}), использовались образцы терморасширенного графита с насыпной плотностью 5 г/дм³. Методика получения ТРГ и определения его свойств подробно описаны в работе [1].

Скорость процесса адсорбции (v , мг·дм⁻³·мин⁻¹), согласно [3] рассчитывалась как отношение изменения концентрации (ΔC) к времени фильтрации (τ):

$$v = \frac{\Delta C}{\tau}, \quad (1)$$

где τ – время сорбции.

Результаты очистки модельных хромсодержащих растворов с варьированием массы ТРГ в адсорбционной колонне представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты извлечения катионов шестивалентного хрома фильтрованием модельных растворов (230 мг/л- Cr^{6+}) объемом 250 мл через слой ТРГ

$m_{\text{ТРГ}}$, г	Скорость протекания, л/мин	$\text{C}_{\text{Cr}^{6+}}$ после фильтрации, мг/л	R, %	C, мгэкв/г
1,7	2,42	212	7,8	0,31
10,2	0,39	201	12,6	0,08
18,5	0,07	190	17,4	0,06
27,3	0,02	140	39,3	0,01

Как следует из табл. 2, увеличение навески ТРГ, а, следовательно, толщины слоя адсорбента приводит к закономерному снижению скорости фильтрации и увеличению степени извлечения (R) катионов хрома. При этом значительно снижается адсорбционная емкость углеродного материала. Попытка увеличить степень извлечения и адсорбционную емкость многократным фильтрованием модельного раствора с концентрацией хромат-иона, увеличенной до 360 мг/л, выявила незначительное увеличение степени извлечения и сорбционной емкости (табл. 3).

Таблица 3

Результаты очистки хромсодержащего модельного раствора ($\text{C}_{\text{Cr}^{6+}}=360$ мг/л, $V=100$ мл) многократным фильтрованием через слой ТРГ ($m_{\text{ТРГ}}=27,3$ г)

№ пробы	Время τ , мин.	Конечная концентрация Cr^{6+} , мг/л	Скорость сорбции ν , мг·дм ⁻³ ·мин ⁻¹	Степень извлечения R, %	Сорбционная емкость, мг-экв/г
1	32	160	6,25	55,55	0,085
2	38	135	5,92	62,50	0,096
3	45	127	5,17	64,72	0,099
4	48	115	5,10	68,06	0,105
5	53	110	4,72	69,44	0,107

По экспериментальным данным следует констатировать низкую скорость адсорбции катионов Cr^{6+} , что обусловлено затрудненностью ионообменного процесса многозарядного катиона, а для эффективной адсорбционной очистки ТРГ обладает недостаточно высокой удельной поверхностью.

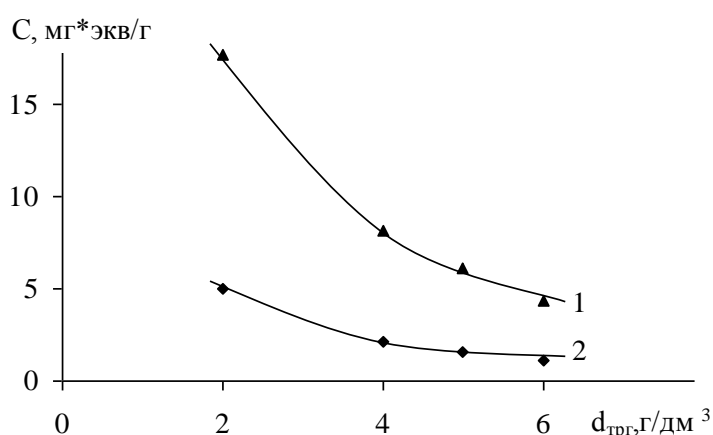
Оценка сорбционной способности ТРГ по отношению к катионам Ni^{2+} и Fe^{2+} проводилась в стационарном режиме. Для этого в модельные растворы (табл. 1) помещалась навеска ТРГ и выдерживалась в течение 30 минут.

В процессе очистки модельного электролита происходит некоторое подкисление среды (табл. 4), пропорционально степени извлечения катионов. Это может быть следствием двух причин: за счет связывания групп OH^- ионами Ni^{2+} или Fe^{2+} , находящихся вблизи положительно заряженной графитовой поверхности и за счет вытеснения ионами Ni^{2+} и Fe^{2+} ионов H^+ с поверхности ТРГ. В результате сорбционных и ионообменных процессов на границе ТРГ – модельный электролит происходит увеличение потенциала углеродного материала, установление постоянного значения которого свидетельствует о достижении равновесия процесса.

Результаты извлечения катионов никеля и железа из модельных растворов (20 мл) выдержкой с ТРГ (0,05 г) в течение 30 минут

$d_{\text{ТРГ}}$, г/дм ³	Раствор NiCl ₂ , (нач) $C_{\text{Ni}^{2+}}=0,25$ г/л; pH=6,56				Раствор FeCl ₂ , (нач) $C_{\text{Fe}^{2+}}=0,83$; pH=5,28			
	(кон) $C_{\text{Ni}^{2+}}$, г/л	R, %	(C) $_{\text{Ni}^{2+}}$, мг·экв/г	pH	(кон) $C_{\text{Fe}^{2+}}$, г/л	R, %	(C) $_{\text{Fe}^{2+}}$, мг·экв/г	pH
2	0,11	56,7	5,0	6,25	0,34	59,6	17,7	5,02
4	0,13	47,2	2,1	6,33	0,37	55,4	8,2	5,12
6	0,16	37,8	1,1	6,36	0,46	44,6	4,4	5,18

Применение ТРГ с меньшей насыпной плотностью приводит к возрастанию степени очистки от катионов Ni²⁺ и Fe²⁺ (см. рисунок).



Зависимость сорбционной емкости (C) ТРГ от насыпной плотности углеродного материала ($d_{\text{ТРГ}}$) массой 0,05 г по катионам: 1 – Fe²⁺; 2 – Ni²⁺ при выдержке в растворах FeCl₂ и NiCl₂ с концентрацией 5 г/л в течение 30 минут

Выводы

Удовлетворительную сорбционную емкость по катионам Cr⁶⁺ можно получить лишь с невысокой степенью извлечения, что технически ограничивает применение ТРГ для очистки хромсодержащих сточных вод. Для извлечения катионов никеля и двухвалентного железа ТРГ является достаточно эффективным сорбентом. Степень извлечения указанных ионов сопоставима, а в некоторых случаях превышает показатели традиционно используемых сорбентов и ионообменников [2,4,5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Применение терморасширенного графита в процессе водоочистки и водоподготовки / А.В. Яковлев, А.И. Финаенов, Е.В. Яковлева, Э.В. Финаенова // Журнал прикладной химии. 2004. № 11. С. 1833-1835.
2. Скворцов Н.Г. Волокнистые сорбенты для извлечения никеля из сточных вод / Н.Г. Скворцов, Т.А. Ананьева, Т.А. Хабазова // Журнал прикладной химии. 1989. № 5. С. 1161-1164.
3. Воропанова Л.А. Сорбция Cr(W) из водных растворов на анионите АМ-25 / Л.А. Воропанова, С.Г. Рубановская, Е.Ю. Гетоева // Журнал прикладной химии. 1998. № 9. С. 1439-1443.

4. Ионообменные и электрохимические свойства углеродных волокнистых материалов / К.А. Каздобин, О.В. Гнатюк, Ю.С. Дзядько и др. // Украинский химический журнал. 1996. Т. 62. Вып. 3, 4. С. 106-110.

5. Варшавский В.Я. Современные волокнистые материалы для очистки жидких и газообразных сред / В.Я. Варшавский, Л.С. Скворцов // Экология и промышленность России. 1996. № 8. С. 11-13.

Яковлев Андрей Васильевич –

кандидат технических наук,
докторант кафедры «Технология электрохимических производств»,
доцент кафедры «Физическая и органическая химия»
Энгельсского технологического института
Саратовского государственного технического университета

Забудьков Сергей Леонидович –

аспирант кафедры «Технология электрохимических производств»
Энгельсского технологического института
Саратовского государственного технического университета

Яковлева Елена Владимировна –

кандидат химических наук, научный сотрудник ЗАО «УНИХИМТЕК», г. Москва

Финаенов Александр Иванович –

доктор технических наук,
профессор кафедры «Технология электрохимических производств»
Энгельсского технологического института
Саратовского государственного технического университета

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.415.2

Е.А. Черткова

КОНЦЕПЦИЯ СПЕЦИФИКАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ

Изложен подход к специфицированию требований к компьютерным обучающим системам методом визуального моделирования на основе использования прецедентов. В качестве базового процесса выбран универсальный процесс (Rational Unified Process), направляющий создание артефактов как представлений системы с заданными требованиями. Показано, что полное представление системы возможно только через совокупность визуальных моделей состояния, поведения и изменения состояний.

E.A. Chertkova

COMPUTERS SYSTEMS DESIGN SPECIFICATION CONCEPTION REQUIREMENTS

This work contains an approach of the requirements specifications for computer education systems, using the visual modeling method, based on the use cases. The Rational Unified Process was selected as a base process, guiding the creation of the artifacts, to serve as a representation of the system with all the requirements needed. As it is shown in this work, the full representation of the system is possible, only if all the conditions, behavior and condition changes visual models are included.

Введение

Составной частью компьютерных технологий обучения являются электронные средства обучения с программными компонентами, в том числе – компьютерными обучающими системами, которые относятся к классу программных систем.

Для современных крупных проектов в этой области характерны, как правило, большое количество функций, процессов, элементов данных и сложные взаимосвязи между ними, требующие тщательного моделирования и анализа. Информационные и программные компоненты компьютерной обучающей системы имеют локальные задачи и цели функционирования (например, модуль генерации учебно-тренировочных заданий, модуль представления

моделей обучаемых и протоколов их работы) и т.д. При этом должно осуществляться взаимодействие модулей в рамках единой программной системы.

Как отмечают ведущие специалисты в области разработки программного обеспечения и, в частности, компьютерных обучающих систем, технологический этап проектирования является наиболее сложным, так как на этом этапе трудно осуществить формализацию задач проектирования. Это обуславливает актуальность разработки новых методов автоматизированного проектирования компьютерных обучающих систем как одного из приоритетных направлений современного этапа развития образовательной сферы [1].

Несмотря на большое разнообразие подходов, методов и технологий создания программных систем, существуют базовые процессы, реализуемые в ходе разработки программных продуктов. Фундаментом любой программной системы является спецификация ее функций и действий, формирование которой обычно называют «разработка требований». При специфицировании требований осуществляется формализация всей совокупности информации по требованиям с пошаговым наращиванием уровня детализации моделей системы.

Данная статья посвящена разработке концепции специфицирования функциональных требований к компьютерным обучающим системам с использованием языка визуального моделирования Unified Modeling Language (UML).

В качестве основы объектной технологии проектирования выбран процесс Rational Unified Process (RUP), назначение которого – повышение результативности проекта, выраженной в экономической эффективности, создании системы высокого качества и успешного внедрения [2].

Проблема требований

Системы программного обеспечения по своей природе являются неосознаваемыми, абстрактными, сложными и, по крайней мере, в теории, бесконечно изменяемыми. Поэтому, когда заказчик высказывает требования к системе нечетко, он предполагает, что впоследствии сможет их уточнить, изменить и дополнить.

Для отечественной индустрии создания программных систем, в том числе и компьютерных обучающих систем, нет статистических данных о влиянии различных типов проблем разработки на бюджет и сроки проектов. Однако зарубежная статистика показывает, что устранения ошибок в определении требований к системе в процессе разработки в зависимости от этапа жизненного цикла проекта могут достигать от 30 до 50% общего бюджета разработки. При этом, несмотря на дополнительные вложенные средства, выполнение 25-33% проектов не завершается [3].

В середине 90-х гг. ведущими зарубежными аналитиками были проведены исследования состояния индустрии разработки программного обеспечения, которые свидетельствуют, что с начала 70-х годов наблюдается кризис программирования, впервые отмеченный в США. Для этого кризиса характерен чрезвычайно низкий процент успешных проектов по созданию программного обеспечения. Наиболее полными и значимыми явились исследования компании Standish Group, организации ESPITI (European Software Process Improvement Training Initiative – Европейская инициатива по обучению совершенствованию процесса программирования) и Каперса Джонса.

Известны результаты исследований компании Standish Group итогов выполнения более 23 тысяч проектов, связанных с разработкой в основном коммерческого программного обеспечения, в 364 американских компаниях. В отчете [4] представлены следующие основные выводы:

- 31% проектов, от общего числа изученных, оказались закрыты до своего завершения;
- 53% проектов по созданию программного обеспечения превысили свой первоначальный бюджет более чем на 50%;

– в больших компаниях только 9% проектов по созданию программного обеспечения были выполнены в срок и уложились в рамки бюджета. Для средних и малых компаний аналогичные значения возрастают до 16 и 28% соответственно.

В отчете Standish Group указаны три наиболее часто встречающихся ключевых фактора, создающих проблемы в проектах:

- недостаток исходной информации от клиента: 13% всех проектов;
- неполные требования и спецификации: 12% проектов;
- изменение требований и спецификаций: 12% всех проектов.

Таким образом, если считать, что приведенные в исследовании Standish Group цифры представляют реальное положение дел в программной индустрии, то осуществлению, по крайней мере, трети проектов препятствуют проблемы, непосредственно связанные со сбором и документированием требований, а также управлением ими.

Если в исследованиях Standish Group, как и в ESPITI, содержатся качественные данные о влиянии требований как фактора риска на разработку программного обеспечения, то в исследованиях К. Джонса даны количественные оценки последствий ошибок в требованиях [5]. Ошибки требований занимают первое место среди оставшихся недоработок и составляют примерно одну треть всех неустранимых дефектов.

Таким образом, эти исследования служат доказательством того, что ошибки требований – наиболее распространенная категория ошибок при разработке систем, а стоимость устранения таких ошибок, как правило, – одна из самых высоких.

Интерпретация и уровни требований

Одна из проблем, существующих в индустрии программного обеспечения, – это отсутствие общепринятых определений терминов, которыми мы пользуемся для описания нашей работы. Разные эксперты, говоря об одном и том же документе, называют его и требования пользователя, и требования к программному обеспечению, и функциональные требования, и т.п. Заказчики зачастую считают, что требования – это развитая концепция продукта, предназначенная для разработчиков. Те, в свою очередь, полагают, что это детальная разработка интерфейса пользователя. Универсального определения требований нет. В данной работе будем использовать определение требований, предложенное IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) и отраженное в стандарте «Standard Glossary of Software Engineering Terminology» как [6]:

- 1) условия или возможности, необходимые пользователю для решения проблем или достижения целей;
- 2) условия или возможности, которыми должна обладать система или системные компоненты, чтобы удовлетворять стандартам, спецификациям или другим формальным документам;
- 3) документированное представление условий или возможностей для пунктов 1 и 2.

Для определения требований к разрабатываемой системе целесообразно рассмотреть взаимодействие системы с пользователем, представив систему как «черный ящик», взаимодействующий с системной средой (рис. 1).

При этом полное определение системы возможно описывать по методу, предложенному Аланом Дэвисом, рассматривая следующие пять основных категорий элементов [7].

1. *Вводы системы.* Описывается содержимое ввода, а при необходимости и протокол ввода. Этот класс может содержать значительный объем сведений и подвергаться частым изменениям, особенно в средах графического пользовательского интерфейса, мультимедиа и Интернета.

2. *Выводы системы.* Описываются поддерживающие устройства вывода, такие как речевой вывод или видеотерминал, а также протокол и форматы генерируемой информации.

3. *Функции системы.* Отображение вводов в выводы и их различные комбинации.

4. *Атрибуты системы.* Типичные нефункциональные требования: надежность, удобство сопровождения, пропускная способность, которые должны учитывать разработчики.

5. *Атрибуты системной среды.* Дополнительные нефункциональные требования: способность системы функционировать в условиях определенных операционных ограничений и нагрузок, а также совместимость с операционной системой.

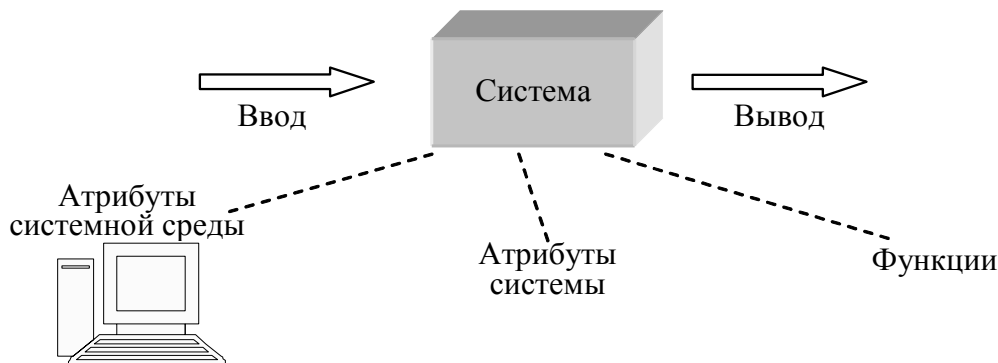


Рис. 1. Элементы системы

Рассмотрение этих категорий элементов системы позволяет задать полный набор требований к программному обеспечению. Описание отличительных особенностей системы во многом напоминает высокоуровневые требования и тоже реализуется в виде утверждений, которые, однако, имеют более широкое содержание. Подробное описание отличительных особенностей системы может быть объективно проанализировано группой тестирования и выражено в различных требованиях. Если требование не удастся протестировать, то в спецификацию оно не включается.

Для того чтобы требования были сосредоточены на поведении системы и изменялись только тогда, когда изменяется поведение, не следует указывать требования, не являющиеся необходимыми подробностями проектирования или реализации, а также информацию по управлению проектом и тестированию. Информацию, касающуюся вариантов проектирования или процессов, используемых при ее построении, целесообразно отделить от требований, описывающих внешнее поведение системы, и представить в специальном классе, называемом ограничениями проектирования.

Важно подчеркнуть следующее: в реальной деятельности по разработке требований и проектированию, поскольку процесс должен носить итеративный характер, выявление требований, их определение и принятие проектных решений циклически чередуются. То есть принятые требования приводят к выбору определенных вариантов проектирования, а те в свою очередь могут инициировать новые требования. Например, если в начальных требованиях для компьютерной обучающей системы был заложен модуль клиент/доступ к данным/GUI¹, то альтернативой ему может явиться навигационный интерфейс, преимущества которого были выявлены на этапе проектирования. Именно в этом и состоит суть эффективного управления требованиями.

Принципы спецификации требований

Практика разработки сложных компьютерных обучающих систем показала, что полная и однократная формализация требований в начале жизненного цикла системы невозможна, прежде всего, из-за разных представлений заказчика и разработчиков о деталях назначения системы, функций и возможностей реализации при доступных ресурсах. Для полномас-

¹ Graphic User Interfase – графический интерфейс пользователя.

штабного отражения требований к проекту системы необходимо формирование не единого однородного по формату документа требований, а совокупности спецификации требований. В соответствии с этим выводом рекомендуется осуществлять следующие этапы документирования и специфицирования требований.

Первым этапом является создание *документа-концепции* проекта, представляющего высокоуровневое определение системы и отражающего основные требования к системе заинтересованных лиц. Этот документ является основой общего понимания мотивов построения системы и создает договорную основу для более подробных технических требований.

На этапе создания концепции и системного анализа формируются цели разработки проекта компьютерной обучающей системы, выбираются методы и алгоритмы решения основных и функциональных задач, а также формулируются предварительные критерии качества создаваемых программ.

Вторым этапом всесторонней спецификации проектируемой системы является *моделирование требований*. В качестве входной информации выступают неформальные требования заказчиков, а результатом этого процесса являются модели спецификации проектных конструкций компьютерной обучающей системы [8].

Целесообразно разработать три категории моделей: модели состояний, модели поведения и модели изменения состояния. Эти модели дают более формальное определение различных сторон (представлений) системы:

- модели состояний детализируют требования к данным;
- модели поведения обеспечивают детализированные спецификации для функциональных требований;
- модели изменения состояния охватывают два вида требований, – они призваны отразить, каким образом действие функций приводит к изменению данных.

Современные объектно-ориентированные методы проектирования программных систем диктуют представление моделей в виде диаграмм на языке визуального моделирования (Visual Modeling Language) – в данной работе это язык UML. Обычно диаграмма служит целям моделирования одной из сторон системы – состояния, поведения или изменения состояния. Заметное исключение составляет диаграмма классов, которая определяет все три аспекта – состояние и поведение объектов, и, косвенно, изменения состояния объектов.

Конструирование диаграмм необходимо осуществлять в параллель, и в результате каждой последующей итерации к ним добавляются новые детали.

Каждая диаграмма дает представление об определенной стороне системы. Взятые вместе диаграммы дают возможность разработчикам и пользователям компьютерных обучающих систем взглянуть на предлагаемое решение с разных точек зрения, выделяя одни его стороны и игнорируя другие. Ни одна из диаграмм в отдельности не дает полного определения системы. Систему можно понять только через взаимосвязанный набор диаграмм.

Третьим этапом спецификации проектируемой системы является итерационная интерпретация завершенных моделей. В то время как разработчики должны следовать строго определенному процессу разработки, решение о том, какая из моделей должна играть роль «движущей силы» разработки, в значительной мере зависит от предпочтений аналитика. Опыт автора данной работы позволяет рекомендовать в качестве наиболее важных типов моделей при проектировании компьютерных обучающих систем диаграммы прецедентов и модели классов, которые целесообразно конструировать параллельно. При этом с каждой новой итерацией разработки глубина и степень детализации спецификации возрастает.

Специфицирование требований на основе прецедентов

Одним из методов описания поведения системы для современной методологии объектно-ориентированного проектирования является метод *прецедентов* (вариантов использо-

вания) [8]. Прецеденты целесообразно использовать не только как средство описания требований к системе, но и на протяжении всего жизненного цикла программного обеспечения.

Основанный на прецедентах способ описания функциональных требований отражает взаимодействие пользователей с системой. Этот подход целесообразно использовать в рамках предлагаемой концепции специфицирования требований для проектирования компьютерных обучающих систем, поскольку именно прецеденты в языке моделирования UML являются представлением требований к системе.

Выявление прецедентов для компьютерной обучающей системы целесообразно осуществлять на основе анализа документа-концепции и рассмотрении акторов (actors)¹ и их целей. При этом прецеденты представляют собой следующие компоненты общей модели системы:

- завершённый фрагмент функциональных возможностей (включая основной поток логики управления, его вариации и исключительные условия (альтернативные потоки));
- фрагмент внешне наблюдаемых функций;
- ортогональный фрагмент функциональных возможностей;
- фрагмент функциональных возможностей, иницируемый субъектом;
- фрагмент функциональных возможностей, который представляет субъекту ощутимый полезный результат, достигаемый в пределах одного прецедента.

Графическая модель прецедентов может сопровождаться неформальными описаниями, а также диаграммами последовательности и кооперации для отдельных прецедентов, примеры которых представлены на рис. 1 и 2.

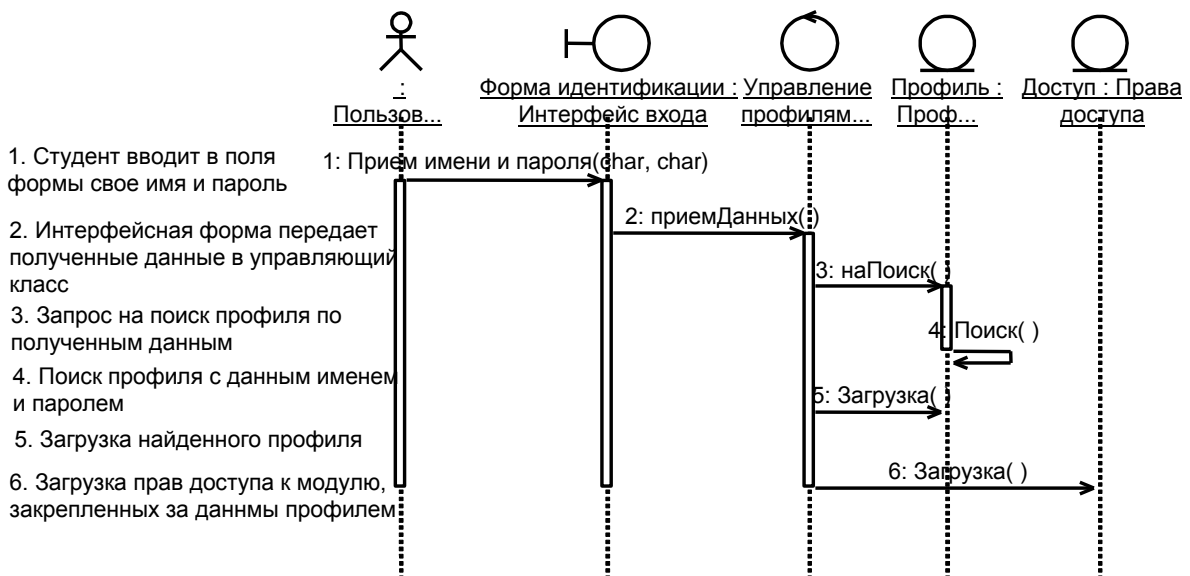


Рис. 2. Диаграмма последовательности для прецедента «Идентификация»

Эти дополнительные описания и построение диаграмм следует выполнить для каждого прецедента. На основе этой информации можно прийти к обобщениям, необходимым для выявления потенциальных классов.

Предлагаемый подход специфицирования состояний, направляемый прецедентами, обладает следующей особенностью. После того, как выявлены прецеденты для проектируемой компьютерной обучающей системы, а представление о системе с точки зрения взаимо-

¹ Понятием «актор» определяется то, что взаимодействует с нашей системой, например, пользователь или другая система.

действия определено с помощью диаграмм последовательности, объекты, используемые в этих диаграммах, приводят к выявлению классов.

Для лучшей стратегии реализации требований в проект системы по предложенному алгоритму в данной работе использован процесс RUP, который имеет концептуальную направленность перевода системных требований в виде диаграмм и спецификаций в технические инструкции реализации системы [2].

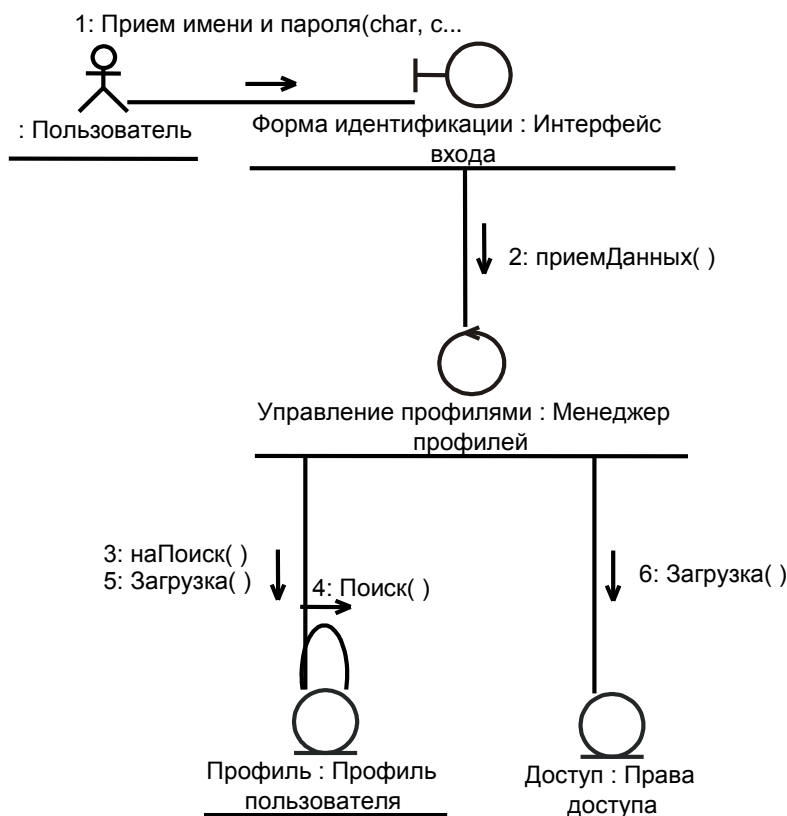


Рис. 3. Диаграмма кооперации для прецедента «Идентификация»

Заключение

Исследование показало, что для эффективной реализации объектно-ориентированного проектирования компьютерных обучающих систем необходимо полномасштабное отражение требований к проекту системы, включающее высокоуровневое определение системы в виде документа-концепции и специфицирование требований в виде моделей системы.

Разработанные принципы специфицирования требований предполагают формализацию всей совокупности информации по требованиям с повышением уровня детализации моделей системы. Для представления различных сторон функционирования системы предлагается разработка трех категорий моделей: состояний, поведения и изменения состояния.

Предложен способ описания функциональных требований к компьютерным обучающим системам, основанный на прецедентах, которые являются представлением требований к системе в языке моделирования Unified Modeling Language. В качестве базового процесса использован унифицированный процесс Rational Unified Process для создания артефактов проекта как представлений компьютерной обучающей системы с заданными требованиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Софиев А.Э. Визуальное моделирование компьютерных обучающих систем с использованием Unified Modeling Language / А.Э. Софиев, А.М. Вендров, Е.А. Черткова // Труды XII Всерос. науч.-метод. конф. «Телематика'2005». СПб., 2005. Т. 1. С. 255-256.
2. Якобсон А. Унифицированный процесс разработки программного обеспечения / А. Якобсон, Г. Буч, Дж. Рамбо. СПб.: Питер, 2002. 496 с.
3. Леффингуэлл Д. Принципы работы с требованиями к программному обеспечению. Унифицированный подход / Д. Леффингуэлл, Д. Уидриг; пер. с англ. М.: Издат. дом «Вильямс», 2002. 448 с.
4. The Standish Group. Charting the Seas of Information Technology – Chaos. The Standish Group International, 1994.
5. Jones C. Revitalizing Software Project Management / C. Jones // American Programmer 6, 7; June, 1994. P. 3-12.
6. IEEE Std 610.12-1990: IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1990.
7. Davis A. Achieving Quality in Software Requirements / A. Davis // Software Quality Professional 1, 3; June, 1999. P. 37-44.
8. Черткова Е.А. Применение объектно-ориентированного моделирования для разработки компьютерных обучающих систем / Е.А. Черткова // Технологии Интернет – на службу обществу: сборник статей по материалам Всерос. науч.-практ. конф. Саратов: СГТУ, 2005. С. 394-396.

Черткова Елена Александровна –

кандидат технических наук,

доцент кафедры «Техническая кибернетика и автоматика»

Московского государственного университета инженерной экологии

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.311.1.016

Т.С. Кубарева

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО КРИТЕРИЯМ УСТОЙЧИВОСТИ И СУЩЕСТВОВАНИЯ РЕЖИМА НА ОСНОВЕ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Активно развивающаяся в последние два десятилетия прикладная математическая «теория катастроф» (ТК) позволяет визуально и аналитически отыскать такой набор соотношений комбинаций физических (технических) параметров системы, которые задают предельные значения последних. Именно в такой постановке вопроса представляется интересным и актуальным применение математического аппарата ТК в электроэнергетике для решения задачи анализа (прямой, обратной) и задачи синтеза устойчивости равновесных состояний нелинейных электроэнергетических систем (ЭЭС)

T.S. Kubareva

NONLINEAR POWER SYSTEM FUNCTIONING MODEL DEVELOPMENT BY CRITERIA, STABILITY AND EXISTENCE MODE ON TOPOLOGICAL APPROACH BASIS

Applied mathematical theory of catastrophe (TC), actively developing during the last two decades, allows visually and analytically to find such combinations physical (technical) system parameters, which are set with limiting values of the last. In such statement of a question application of mathematical device TC in electric power industry for the analysis problem decision is interesting and actual (a straight line; return) and problems of synthesis of stability of equilibrium conditions nonlinear EPES.

Введение

Известно, что наиболее точными и основными методами решения прикладных задач в электроэнергетике пока остаются численные методы, хотя и они оказываются малоэффективными в случае необходимости проведения многовариантных расчётов, а также в задачах экспресс-анализа и синтеза устойчивости электроэнергетических систем (ЭЭС).

Это вызвано, прежде всего, частным характером получаемых решений, плохими прогнозными свойствами численных методов и невозможностью выбора управляющих воздействий без проведения серии вариантных расчётов, что требует больших вычислительных затрат. Более того, сходимость численных методов может быть медленной или совсем необеспеченной при расчётах режимов, близких к предельным, что особенно важно для реальных ЭЭС, работающих с малыми запасами статической устойчивости. К тому же, с расширением вычислительных возможностей современных ЭВМ и, соответственно, огромным ростом объема решаемых задач, возникает сложная проблема анализа получаемых результатов.

Поэтому вместе с развитием численных методов, детально учитывающих процессы в сложных ЭЭС, вновь становится актуальной проблема разработки качественных приближенных методов, целью которых являются «не столько числа, сколько понимание динамики процесса» [1]. Сочетание двух групп таких методов позволило бы чётче и надежнее определять предельные возможности системы и оценивать её критические состояния [2].

Постановка задачи исследования

В настоящей работе рассматривается решение одной из основных проблем математического моделирования в электроэнергетике – проблемы контроля параметров ЭЭС и их влияния на состояния системы. Это осуществляется с помощью предложенного топологического подхода, использующего математический аппарат теории катастроф (ТК) [3],[4].

Известно, что статическая устойчивость ЭЭС суть устойчивость механического движения роторов синхронных генераторов (СГ), совершаемого под действием электромагнитных сил. Поэтому ЭЭС, в рамках изучения устойчивости её равновесных состояний – установившихся режимов (УР), может рассматриваться как система механическая [5]. Критическая нагрузка, которую может выдержать механическая система, согласно методу ТК, определяется вырождением критических точек её потенциальной функции Π . Следовательно, поведение ЭЭС под нагрузкой: при утяжелении режима по углу (предел по устойчивости) и при утяжелении по мощности (предел по существованию и единственности режима), – тесно связано с теорией катастроф.

Практическая осуществимость нового подхода рассматривается в контексте задачи поиска рациональных путей утяжеления режима ЭЭС и нахождения оптимальных способов управления ими. А именно: решается задача определения координат положений равновесия трёхмашинной ЭЭС «две станции – шины» при пропорциональной загрузке турбин генераторов (рис. 1).

Построение математической модели (ММ)

Процедура вывода математической модели ЭЭС в виде многообразия критических точек потенциальной функции Π , которая для рассматриваемой системы имеет вид нелинейной тригонометрической функции:

$$\Pi(\delta_1; \delta_2) = -P_{T1}\delta_1 - P_{T2}\delta_2 - P_1 \cos \delta_1 - P_2 \cos \delta_2 - P_{12} \cos(\delta_1 - \delta_2) , \quad (1)$$

базируется на использовании метода теории катастроф, дополненного принципами метода стягивания двумерных экстремумов функции двух переменных к одномерным, и свойств кривых загрузок [6].

Всё это, в комплексе с разработанной технологией построения ММ ТК применительно к исследованию УР двухмашинной ЭЭС [7], [8], позволило свести в данном случае модель катастрофы кратной сборки $A_{\pm 3}(x; y)$ к однотипным моделям простых сборок $A_{\pm 3}(x)$, описываемых уравнением полиномиального (алгебраического) вида (рис. 2):

$$x^3 + a x + b = 0. \tag{2}$$

Канонические параметры a , b и переменная состояния x выражаются через параметры ЭЭС с помощью следующих соотношений ($k \leq m$; $m=3$)

$$\left. \begin{aligned} a &= \varphi_{1(k)}(P_i; P_{ij}; \delta_j); \\ b &= \varphi_{2(k)}(P_i; P_j; P_{Ti}; P_{ij}); \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

$$x = \delta_i + \varphi_{3(k)}(P_i; P_j; \delta_j), \tag{4}$$

где $\varphi_{1(k)}$, $\varphi_{2(k)}$, $\varphi_{3(k)}$ – некоторые нелинейные функции; P_{Ti} – механическая (подводимая) мощность турбин генераторов; $P_{Ti} = k_i p$; k_i – задаваемые числовые коэффициенты; p – параметр загрузки; P_{ij} , P_i , P_j – максимальные значения передаваемых электрических мощностей соответственно по линии связи между i -м и j -м генераторами, СГ и шинами постоянного напряжения U_c ; δ_i и δ_j – углы сдвига фаз между векторами ЭДС генераторов и напряжения шин приемной системы; $i'=1,2; j=1,2; i \neq j$.

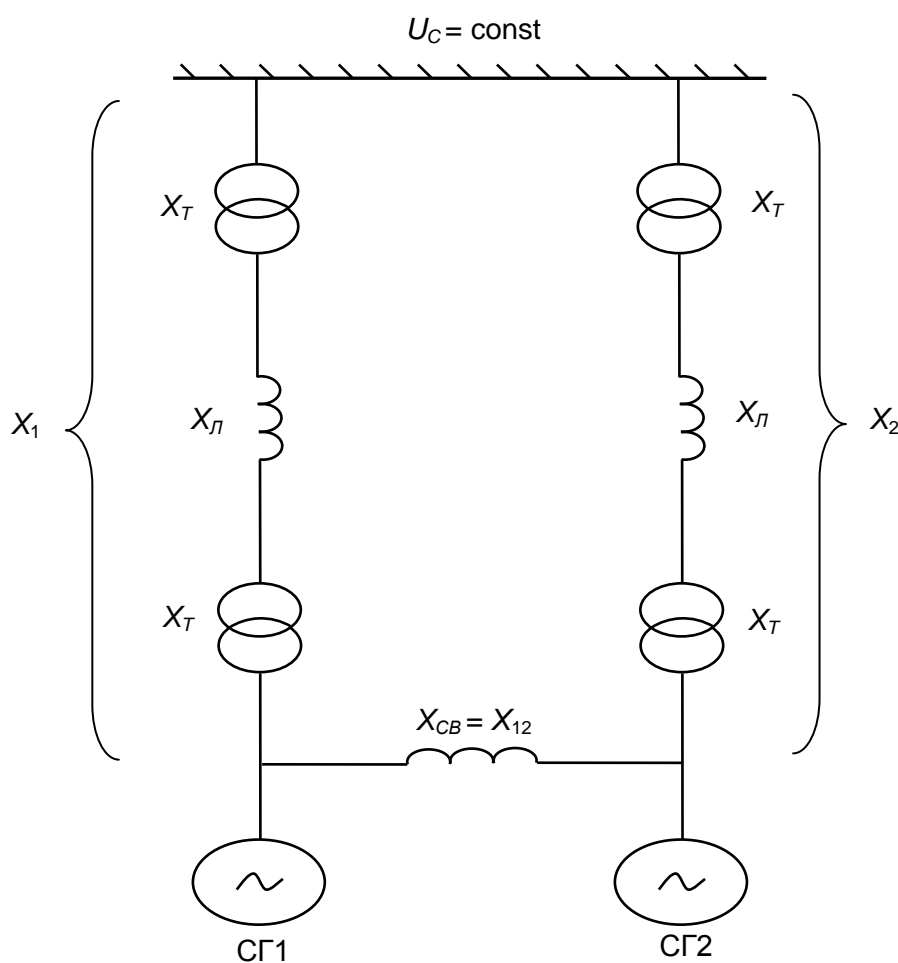


Рис. 1. Система двух станций (шины постоянного напряжения): СГ1, СГ2 – синхронные генераторы; X_T , X_L , X_{CB} – реактивные сопротивления трансформаторов, линий электропередач и связи

Анализ топологии модели ТК

Область многолистного покрытия плоскости управления (a, b) гладкой поверхностью (2) в трёхмерном пространстве с координатными осями x – a – b параметризует устойчивые

критические точки потенциальной функции (1). При пересечении рабочей точкой в плоскости (a, b) бифуркационной линии B , задаваемой формулой:

$$b_{\text{буф}} = \pm 2\sqrt{-a^3/27}, \quad (5)$$

нарушается условие устойчивости и, следовательно, существования УР для рассматриваемой ЭЭС. Формула (5), таким образом, задает в терминах управляющих параметров a, b предельные режимы работы ЭЭС (как по углу, так и по мощности), соответствующие аннигиляции критических точек функции (1).

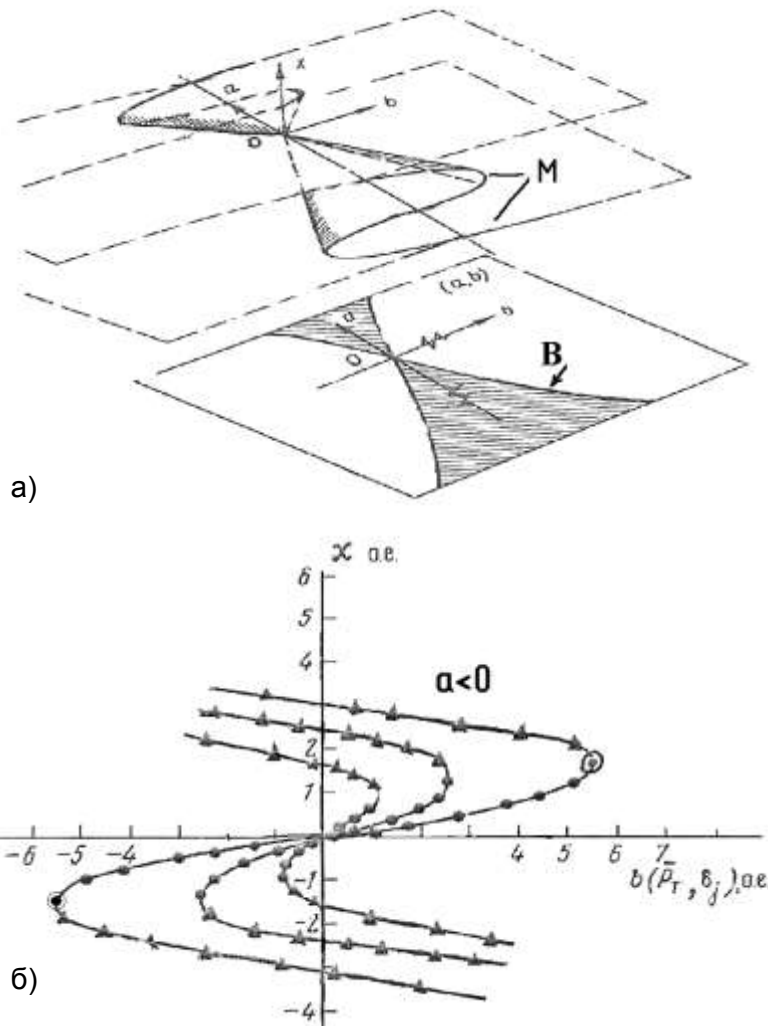


Рис. 2. Пространственная визуализация предельно возможных режимов функционирования ЭЭС «две станции – шины» с помощью модели ТК «многообразия критических точек» типа катастрофы сборки: а – геометрическая интерпретация множества всех критических точек потенциальной функции Π в трехмерном пространстве с координатами $x-a-b$; б – семейство характеристик $b=(-x^2-ax)$ как результат сечения поверхности M плоскостями $a=\text{const}$

Тогда условие энергетической устойчивости и существования режима всей системы будет определяться наложением условий структурной устойчивости и существования для каждой из m сформированных моделей ТК (2)-(4) в отдельности, полученных согласно требованиям ($i = \overline{1,2}, j = \overline{1,2}$):

$$\frac{\partial^2 \Pi}{\partial \delta_i^2} \geq 0; \quad \frac{\partial \Pi}{\partial \delta_i} \geq 0; \quad \Delta \geq 0; \quad (6)$$

– для значений $k=1,2$;

$$\frac{\partial^2 \Pi}{\partial \delta_i \partial \delta_i} \neq 0; \quad \frac{\partial \Pi}{\partial \delta_i} = 0; \quad \Delta = 0; \quad (7)$$

– для значения $k=3$.

При этом определитель $\Delta = \left(\frac{\partial^2 \Pi}{\partial \delta_1^2} \right) \left(\frac{\partial^2 \Pi}{\partial \delta_2^2} \right) - \left(\frac{\partial^2 \Pi}{\partial \delta_1 \partial \delta_2} \right)^2$ равен:

$$\Delta = P_1 P_2 \cos \delta_1 \cos \delta_2 + P_1 P_2 \cos \delta_1 \cos (\delta_1 - \delta_2) + P_1 P_2 \cos \delta_2 \cos (\delta_1 - \delta_2). \quad (8)$$

Соотношение (6), с учётом (2)-(4), включает в себя условие параметрического задания «хребтов», «расщелин», «впадин» и «равнин» («плато»), разделяющих область притяжения аттракторов потенциальной функции (1) (то есть «плохих» направлений – собственных векторов матрицы устойчивости H , – для которых происходит вырождение нулевых характеристических чисел $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$ и время релаксации в исходное состояние равновесия $(\delta_1^0; \delta_2^0)$ равно $T = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \infty$) непосредственно в пространстве $x-a-b$, минуя этап построения

фазового пространства или координатной плоскости. Причём эти особые прямые совпадают с координатными осями OX и OY ($x \triangleq \delta_1$; $y \triangleq \delta_2$). Соотношение (7) задаёт такие плохие направления матрицы H , которые не совпадают с координатными осями плоскости $(x; y)$. Отметим, что в нашем случае (пропорциональной загрузки) матрицы H и J идентичны.

Результаты исследований

Построение математической модели ТК функционирования ЭЭС «две станции – шины» при пропорциональной загрузке турбин генераторов завершено формированием блочных схем, ориентированных на алгоритмическую реализацию предложенного геометрического подхода к решению трёх важных в практике расчета ЭЭС задач (рис. 3).

Первая задача – нахождение решений системы нелинейных параметрических уравнений статики (в том числе в особых случаях, когда численные методы перестают работать):

$$P_{Ti} = f_i(\delta_i; \delta_j), \quad (9)$$

где

$$f_i(\delta_i; \delta_j) = P_i \sin \delta_i + P_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j); \quad i = 1, 2; \quad i \neq j. \quad (10)$$

Вторая, оптимизационная задача – введение режима ЭЭС в допустимую область.

Третья задача – введение ЭЭС в режим. Эта задача возникает в случае, когда у системы (9) отсутствует решение. Чтобы добиться его существования, необходима корректировка в допустимых пределах задаваемых параметров схемы замещения ЭЭС.

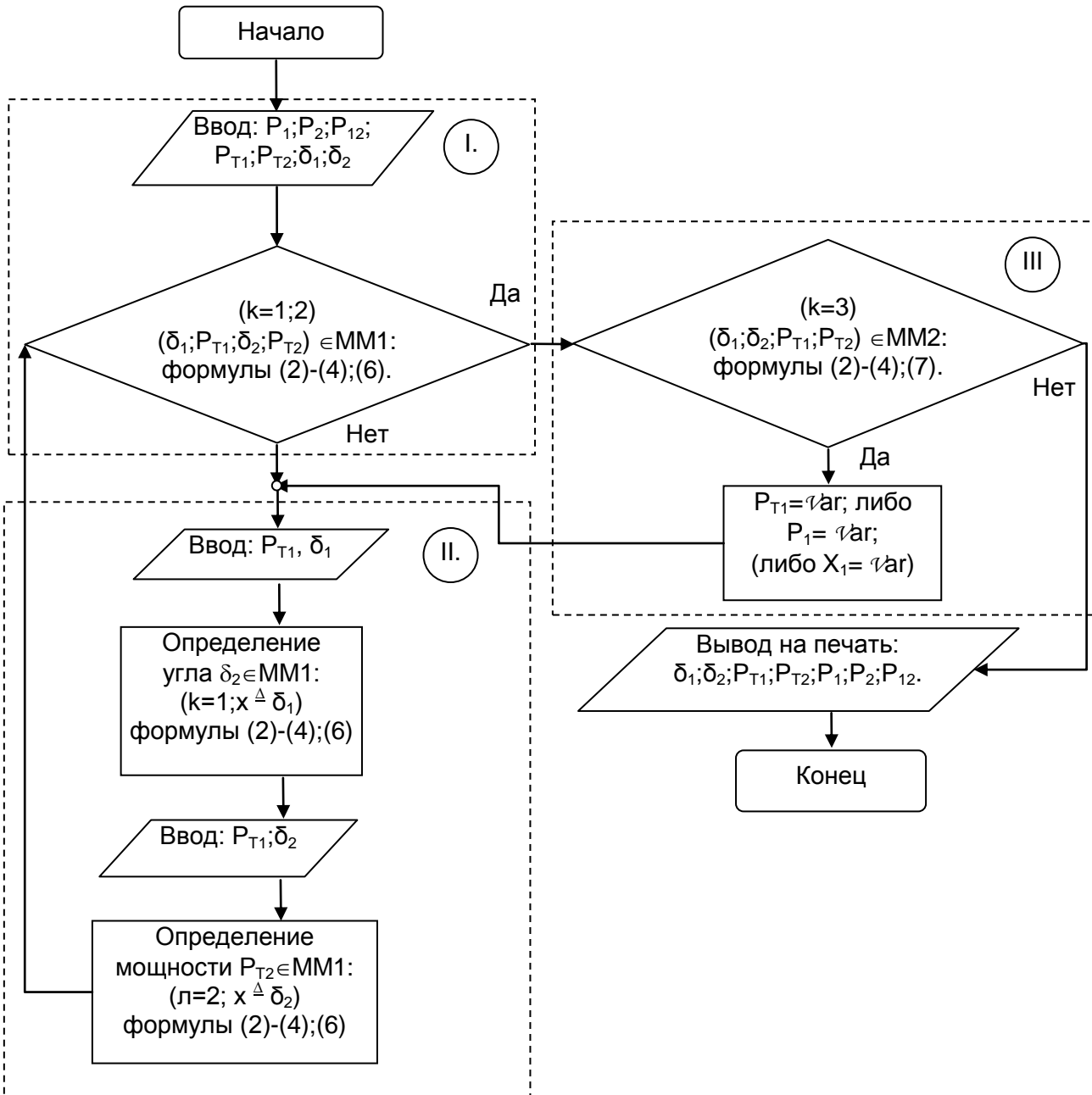
Выводы

1. Оптимизация модели функционирования трёхмашинной ЭЭС достигается путем идентификации топологии области максимумов, минимумов и седел потенциальной функции Π посредством сформированных в статье двумерных моделей ТК многообразия критических точек.

2. Это позволяет:

а) избежать необходимости проведения многовариантных расчетов УР и главных вычислительных затруднений, связанных с вырождением матрицы Гесса H вторых производных целевой функции (1) и матрицы Якоби J первых производных дифференцируемых отображений (10) при определении «критических» значений параметров ЭЭС $(P_{T1}^*; P_{T2}^*; \delta_1^*; \delta_2^*)$ в предельных случаях: как по условию устойчивости ($\det H=0$), так и по условию существования и единственности УР ($\det J=0$);

б) с помощью статики сформированной модели многообразия критических точек предвидеть динамику состояний ЭЭС (смещение области притяжения аттрактора, или «перескок» критериального седла) в случае аннигиляции значений самой потенциальной функции Π на бифуркационном множестве Максвелла ($b=0$).



Функциональное назначение микроблоков:

- I. Решение задачи «Введение режима ЭЭС в допустимую область».
- II. Решение задачи «Нахождение равновесных состояний ЭЭС».
- III. Решение задачи «Введение ЭЭС в режим».

Рис. 3. Блок-схема алгоритма отыскания решений системы нелинейных трансцендентных уравнений статики (9) и их оптимизации с помощью геометрии моделей ТК

Заключение

Простота и универсальность сформированных в статье аналитических алгоритмов позволяют рекомендовать их применение в практике эксплуатации ЭЭС в целях осуществления мероприятий по учёту технических ограничений, обусловленных устойчивостью работы генераторов и значениями допустимых механических мощностей.

Это, в свою очередь, позволяет максимально использовать возможности имеющегося оборудования уже существующих ЭЭС при решении задачи их эксплуатации и при планировании их развития, а также проектировать новые ЭЭС с учётом энергосберегающих технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: учебник для электроэнерг. спец. вузов / В.А. Веников. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1985. 536 с.

2. Кубарева Т.С. Прогнозирование динамических характеристик устойчивости ЭЭС и формирование дозированных управляющих воздействий на границе области самораскачивания методом теории катастроф / Т.С. Кубарева // Электротехнические комплексы и силовая электроника. Анализ, синтез и управление: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2002. С. 62-73.

3. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф: в 2 кн. Кн. 2 / Р. Гилмор; пер. с англ. М.: Мир, 1984. 653 с.

4. Кубарева Т.С. Современное состояние вопроса применения аналитических методов анализа устойчивости нелинейных энергосистем / Т.С. Кубарева // Известия вузов. Энергетика. 1988. № 7. С. 16-21.

5. Лукашов Э.С. Введение в теорию электрических систем / Э.С. Лукашов. Новосибирск: Наука, 1981. 180 с.

6. Вайман М.Я. Устойчивость нелинейных электромеханических систем / М.Я. Вайман. М.: Машиностроение, 1981. 126 с.

7. Кубарева Т.С. Параметры электроэнергетической системы, предельные по условию статической устойчивости / Т.С. Кубарева // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. 1986. № 1. С. 46-52.

8. Кубарева Т.С. Оптимизация настроек АРВ по оценочным моделям теории катастроф / Т.С. Кубарева // Вопросы преобразовательной техники частотного электропривода и управления: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2000. С. 74-81.

Кубарева Татьяна Сергеевна –

ассистент кафедры «Электротехника и электроника»

Саратовского государственного технического университета

ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 621.391.037.372

С.И. Ширшин, В.Г. Кулишов, М.С. Ширшина**МОДЕЛЬ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЦИФРОВОЙ ДЕМОДУЛЯЦИИ СИГНАЛА
С ДВУХФАЗНОЙ ФАЗОВОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ**

Предложена модель цифровой фазовой демодуляции, базирующаяся на аperiodическом дискретном преобразовании Гильберта. Численным моделированием на ЭВМ рассмотрены характеристики процесса демодуляции. Показана возможность использования модели для определения изменения фазы.

S.I. Shirshin, V.G. Kulishov, M.S. Shirshina**A MODEL AND COMPUTER ANALYSIS OF THE DIGITAL
BPSK DEMODULATION**

A digital BPSK demodulator model on the base of the discrete stream Hilbert transform is proposed here. Numerical results of demodulation process and possibility of using this model for digital detection phase switching are presented in this as well.

Известно [1], что операции над аналитическим сигналом позволяют описать различные радиотехнические устройства, преобразующие колебания. Подобный же способ, базирующийся на дискретном преобразовании Гильберта, может быть использован при синтезе алгоритмов цифровой обработки сигналов, в частности, цифровой частотной демодуляции для сигналов с финитным спектром [2]. Вместе с тем, вопрос цифровой фазовой демодуляции в известной нам литературе не рассмотрен.

В настоящей статье изложены результаты численного моделирования алгоритма двухфазной фазовой манипуляции (2-ФМн), основанного на использовании аperiodического преобразования Гильберта [2].

Предложенная в работе модель дает возможность определить моменты импульсного изменения фазы и допускает практическую реализацию.

Представить 2-ФМн сигнал (рис. 1) можно следующим образом:

$$u(t) = A \cos[\omega_0 t + \theta(t) + \varphi], \quad (1)$$

где A – амплитуда; ω_0 – круговая (промежуточная) частота; $\theta(t)$ – фаза, принимающая значения $-\pi/2, \pi/2, (0, \pi)$ на интервале T ; φ – начальная фаза, равномерно распределенная в интервале от 0 до 2π .

Для сигнала с финитным спектром, т.е. ограниченным интервалом частот $\omega_0 - \Delta < \omega < \omega_0 + \Delta$ при $\Delta < \omega_0 = 2\pi f_0$, использование преобразования Гильберта и нахождение сопряженного сигнала $v(t)$ дает возможность однозначно определить параметры сигнала, например, интенсивность $I(t) = (u^2(t) + v^2(t))/2$ и мгновенную фазу $\Phi(t) = \arctg(v(t)/u(t))$ [1].

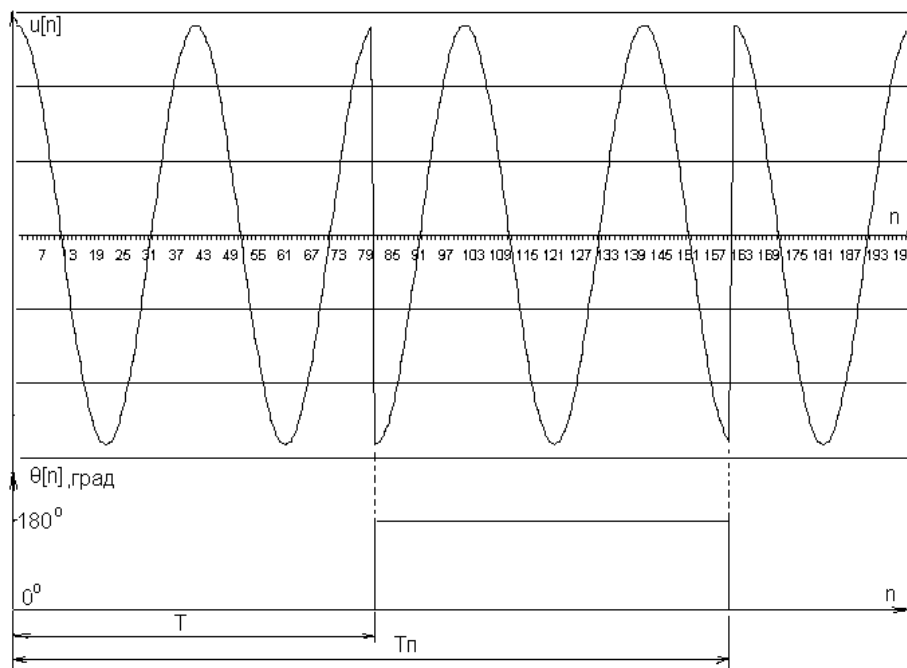


Рис.1. 2-ФМн сигнал

Ставится задача разработки алгоритма цифрового определения изменения фазы $\theta(t)$ принятого сигнала, искаженного аддитивным полосовым гауссовским шумом $n(t)$ с дисперсией $\sigma^2 = P_{ш}$.

Если спектр сигнала финитный, то для него может быть выбрана частота дискретизации $f_d > 2(\omega_0 + \Delta)/2\pi$.

Рассмотрим спектр колебания (1). Не нарушая общности, ограничимся практически важным случаем, когда центральная частота кратна $1/T$ [3] и колебание имеет период $T_n = 2T$ (рис. 1). Нетрудно показать, что спектр такого колебания состоит из суммы спектров одинаковой формы, огибающие которых симметрично сдвинуты на частоты $\pm\omega_0$. При выполнении условия $\omega_0 \gg 2\pi/T_n$ два сдвинутых спектра существенно не влияют друг на друга и спектр в области положительных частот $\omega > 0$ может быть представлен в виде:

$$F(\omega) \approx \frac{A}{2T_n} \left\{ \frac{\cos(\omega - \omega_0)T}{(\omega - \omega_0)T} e^{-j(\omega - \omega_0)T} e^{j\pi/2} \right\} \sum_k \delta\left(\omega - \frac{2\pi}{T_n} k\right),$$

где δ – дельта-функция; j – мнимая единица.

Энергетический спектр $|F(\omega)|^2$ убывает как $|\omega - \omega_0|^{-2}$ и цифровое формирование и преобразование такого сигнала затруднено тем, что возникает неопределенность в определении ширины спектра и, следовательно, частоты дискретизации.

Ограничим сверху спектр сигнала частотой ω_e так, чтобы энергетические составляющие спектра за ее пределами были бы на 30 дБ меньше максимальной спектральной линии вблизи частоты ω_0 . Тогда, учитывая, что дискретные спектральные линии отличны от нуля в частотах $\omega_k = \omega_0 \pm 2\pi k/T_n$ ($k=1,3,5,\dots$), получаем $\omega_e > \omega_0 + 33\pi/T$. Это условие будем использовать для формирования полосового входного сигнала приемника.

Дискретизованный с частотой $f_d \geq \omega_B/\pi$ сигнал $u[n]=u[n\Delta t]$ вместе с гауссовским шумом поступает на линейный полосовой фильтр с полосой частот $\omega_0-1/T \leq \omega \leq \omega_0+1/T$ ($\Delta=1/T$), в которой обычно осуществляется прием [4]. Сформированный таким образом входной сигнал поступает в приемнике на формирователь квадратурных составляющих, образующих дискретный комплексный сигнал со свойствами аналитического:

$$w[n] = u[n] + jv[n],$$

где $u[n]=\text{Re}\{w[n]\}$ – реальная составляющая; $v[n]=\text{Im}\{w[n]\}$ – мнимая составляющая.

Отсчеты сигнала $v[n]$ являются сопряженными отсчетам исходного сигнала $u[n]$ по Гильберту и определяются выражением [2]:

$$v(n) = \sum_{i=0}^{\frac{Ng-1}{4}} b_i \{u[n+(2i+1)] - u[n-(2i+1)]\}, \quad n = 0, 1, \dots,$$

$$b_i = -\frac{2}{Ng} \text{ctg} \left[(2i+1) \frac{\pi}{Ng} \right],$$

где Ng – размах конечного дискретного преобразователя Гильберта.

Для синтеза алгоритма фазовой демодуляции методом численного эксперимента рассмотрим систему моделирования с параметрами $f_0T=20$, $f_d=2(f_0T+20)$, $\Delta=1/T$.

На рис. 2 показаны энергетические спектры сигналов $|F[k]|^2$ при $T=10^{-6}$ с в области положительных частот на входе и выходе полосового фильтра, полученные методом ДПФ:

$F[k] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u[n] \exp(-j2\pi k/N)$, $k = 0, \dots, N-1$. В качестве полосового фильтра был синтезирован нерекурсивный фильтр с окном Поттера при размахе фильтра $M=128$ [5].

Результаты моделирования изменения мгновенной интенсивности $I[n]$ и изменения фазы $\Delta\theta[n]=\theta[n]-\theta[n-1]=D[n] - \omega_0\Delta t$ для случая демодуляции чистого сигнала приведены на рис. 3 и 4.

Здесь

$$D[n] = \begin{cases} \arctg \left(\frac{x[n] - x[n-1]}{1 + x[n]x[n-1]} \right), & x[n]x[n-1] > -1, \\ +\pi + \arctg \left(\frac{x[n] - x[n-1]}{1 + x[n]x[n-1]} \right), & \left\{ \begin{matrix} x[n] > 0 \\ x[n] < 0 \end{matrix} \right\}, & x[n]x[n-1] < -1 \end{cases}$$

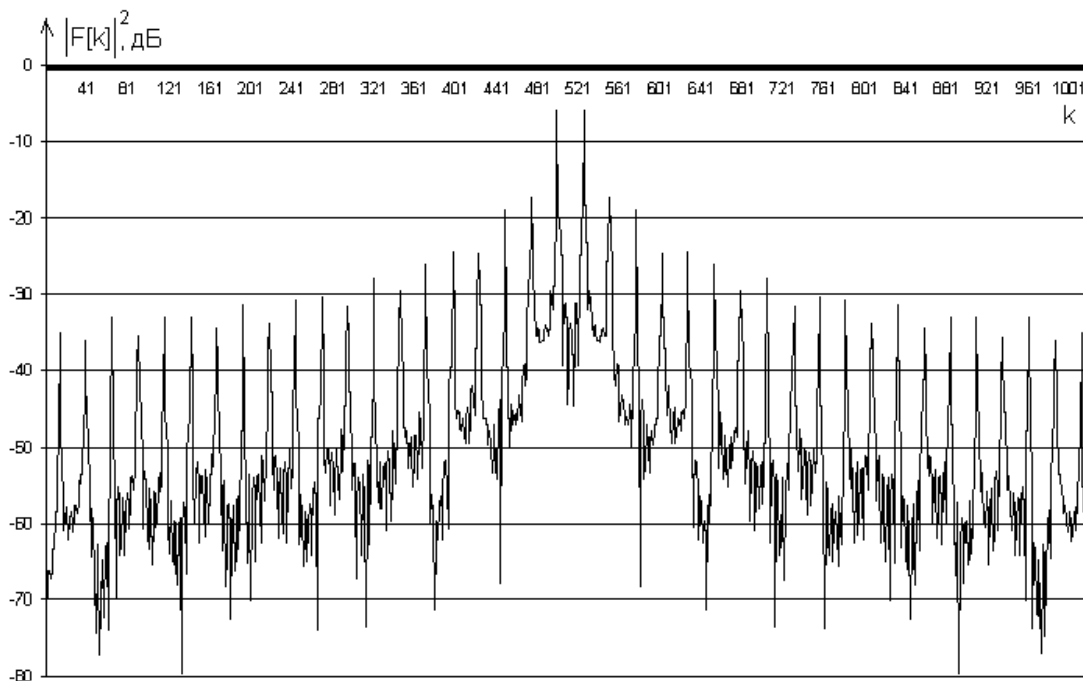
$$x[n] = v[n]/u[n], \quad x[n-1] = v[n-1]/u[n-1].$$

Из рис. 3 видно, что при демодуляции в моменты изменения фазы наблюдается ФМ-АМ преобразование, связанное на входе фильтра с конечностью преобразования Гильберта, а на выходе фильтра – с ограничением полосы сигнала. При этом в последнем случае на выходе фильтра в моменты изменения фазы интенсивность уменьшается до нуля.

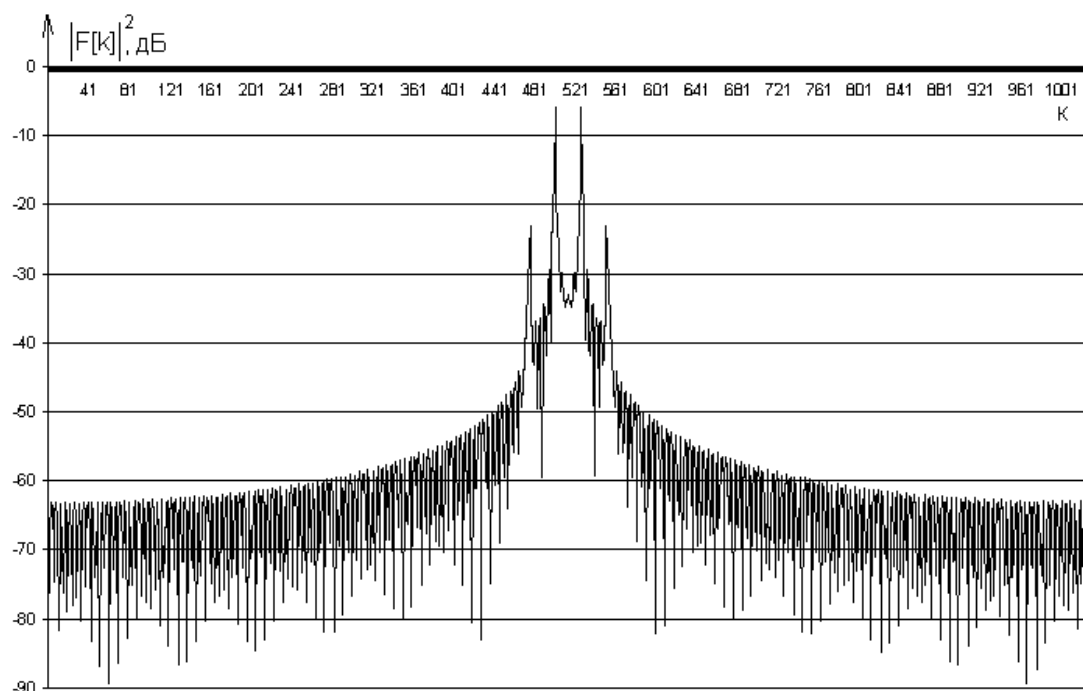
Дальнейшее моделирование с шумом показало, что недостатком схемы с оценкой изменения фазы является сложность анализа переходных процессов при отношениях «сигнал-шум» $q=10\lg(P_c/P_w) < 12$ дБ.

Дискретный гауссовский шум моделировался с помощью стандартного соотношения: $u[n] = \sqrt{P_w} \xi[n]$, где P_w – средняя мощность (дисперсия) шума; $\xi[n]$ – нормально распределенные случайные числа со средним, равным нулю, и дисперсией, равной единице.

На каждом шаге моделирования нормальные случайные величины генерировались датчиком $\xi[n] = \sum_{i=1}^{12} R_i - 6$ по значениям R_i – независимых равномерно распределенных случайных чисел в интервале 0-1.



а)



б)

Рис. 2. Спектры: а – на входе и б – на выходе фильтра

В связи со сложностью анализа изменения фазы, а также исходя из наблюдаемого эффекта ФМ-АМ преобразования, была рассмотрена схема с пороговым анализом мгновенной интенсивности сигналов. Принимается, что имеет место переход фаз, если выполняется условие $(u^2[n]+v^2[n])^{-1} > \epsilon$.

При работе демодулятора по данному алгоритму результаты расчетов коэффициента ошибки в зависимости от отношения «сигнал-шум» для порога $\varepsilon=9$ на основе обработки выборки из 2080 переходов фазы даны на рис. 5.

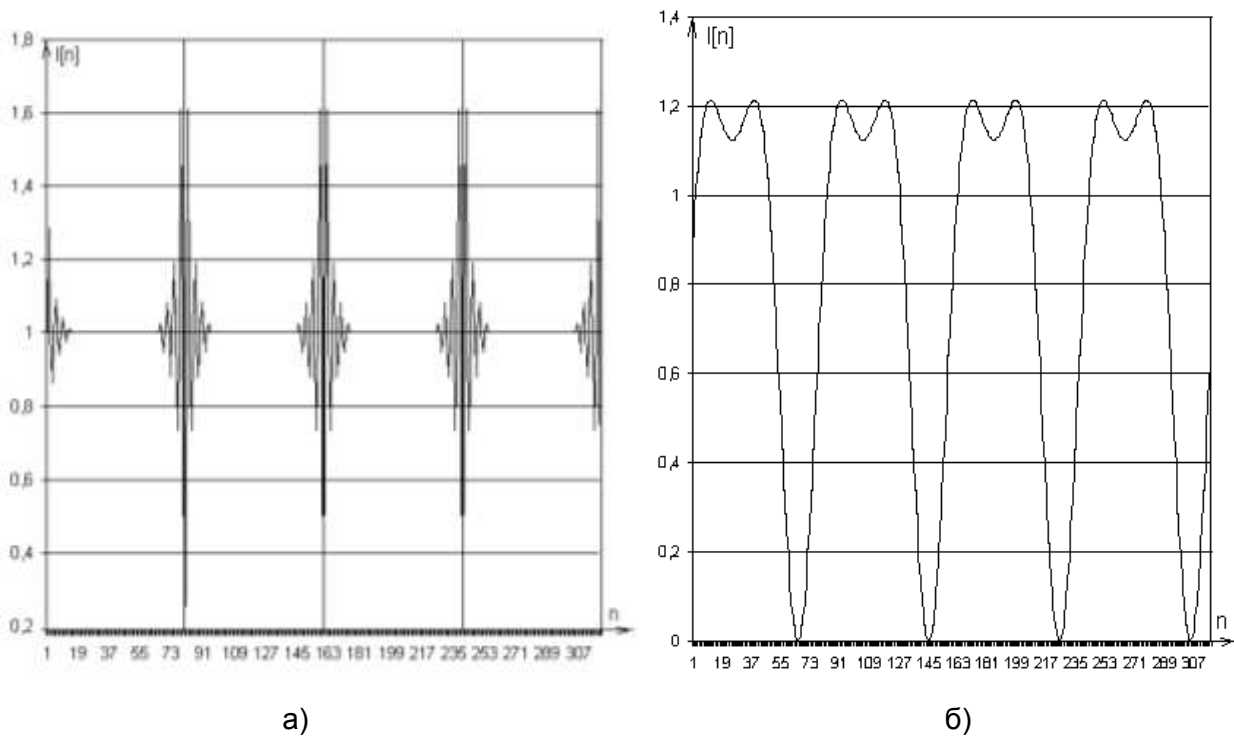


Рис. 3. Изменение интенсивности сигнала во времени на входе (а) и выходе фильтра (б)

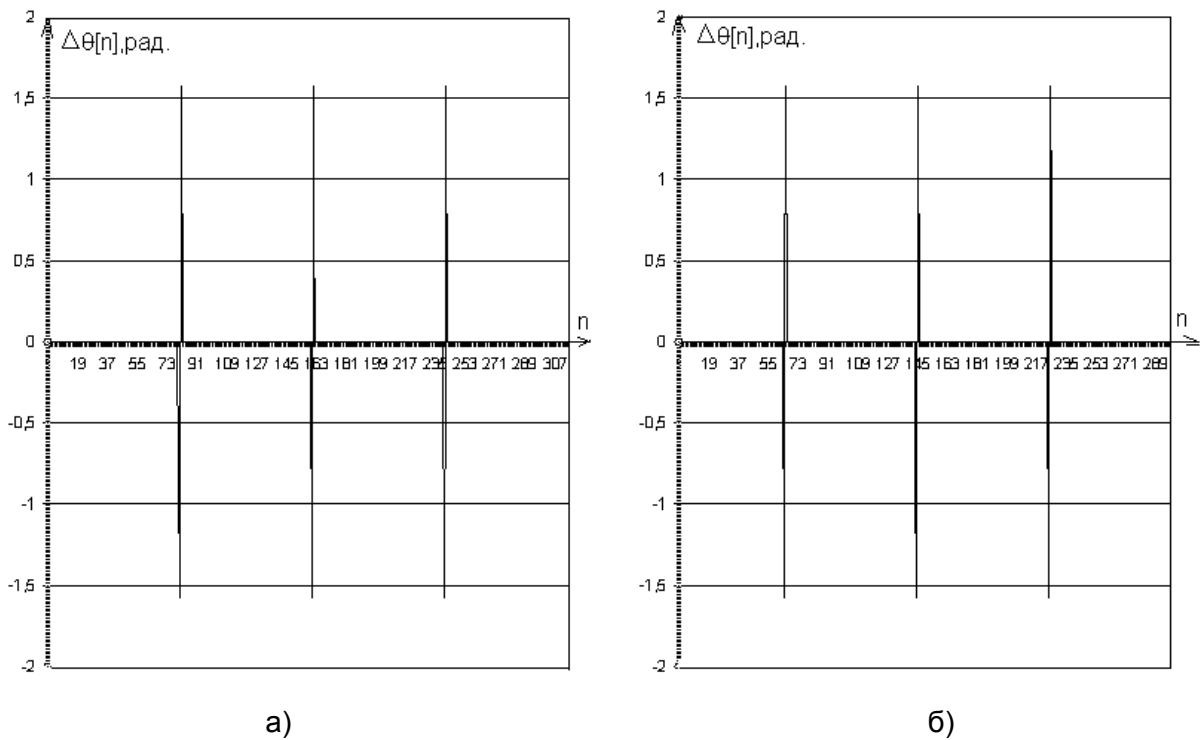


Рис. 4. Изменение фазы во времени на входе (а) и выходе (б) фильтра

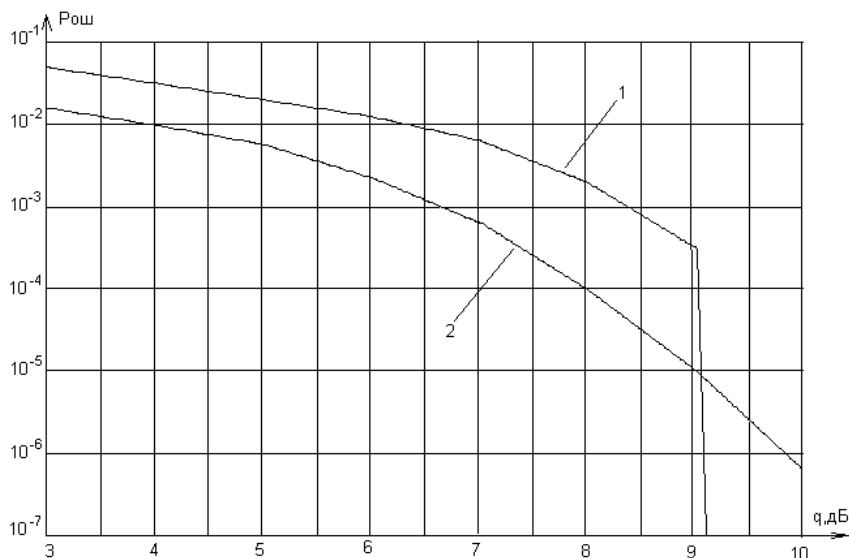


Рис. 5. Вероятность ошибки: 1 – модель; 2 – когерентная ФМн [3]

Следует отметить, что результаты приведены при размахе преобразователя Гильберта $Ng=32$. Однако, аналогичные результаты получаются для преобразователя с меньшим размером $Ng=20$ ($\epsilon=10$). Такое уменьшение размаха преобразователя приводит к сужению его АЧХ, однако оно достаточно для обработки фазоманипулированного сигнала в полосе приема $2/T$. В качестве левой части порогового условия можно использовать $-\ln(L[n])$ или $(|u[n]| + |v[n]|)^{-1}$. Окончательный же выбор параметров алгоритма определяется конкретными условиями применения (полосой частот обработки, значением промежуточной частоты, АЦП, вычислительными ресурсами и т.п.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Вайнштейн Л.А. Разделение частот в теории колебаний и волн / Л.А. Вайнштейн, Д.Е. Вакман. М.: Наука, 1983. 288 с.
2. Ширшин С.И. Конечно-дискретный метод обработки сигналов в задачах частотной демодуляции / С.И. Ширшин // Известия вузов. Электроника. 2004. № 2. С. 69-75.
3. Птачек М. Цифровое телевидение. Теория и техника / М. Птачек; пер. с чешск. под ред. Л.С. Виленчика. М.: Радио и связь, 1990. 528 с.
4. Зорин М. Беспроводные сети. Современное состояние и перспективы / М. Зорин, Ю. Писарев, П. Соловьев // Мир связи. Connect. 1999. № 4. С. 104-107.
5. Отнес Р. Прикладной анализ временных рядов. Основные методы / Р. Отнес, Л. Энноксон; пер. с англ. под ред. И.Г. Журбенко М.: Мир, 1982. 428 с.

Ширшина Мария Сергеевна –

аспирантка кафедры «Радиотехника»

Саратовского государственного технического университета

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 624

А.А. Землянский

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА И ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ РЕЗЕРВУАРОВ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА

Проанализирован ряд аварийных ситуаций с резервуарами для хранения нефтепродуктов и предложены технические решения на основе использования приборов неразрушающей дефектоскопии для выявления усталостных трещин в уторном шве резервуаров большого объема и организации мониторинга напряженно-деформированного состояния объекта с целью обнаружения момента возникновения указанных трещин.

А.А. Zemlyanskiy

LARGE VOLUME TANKS TECHNICAL DIAGNOSIS AND THEIR EXPLOITATIONAL RELIABILITY ESTIMATION

A number of breakdown situations in the tanks for petroleum products storage are studied in this article. Certain technical decisions are suggested here on the basis of the usage of non-destructive testing for revelation of fatigue cracks in a chime weld of large volume tanks and organizing of monitoring of object with the aim of revealing of the moment of the rise of the pointed cracks.

В последние годы в мировой практике особое внимание уделяется проблеме повышения эксплуатационной надежности стальных вертикальных резервуаров (РВС) для хранения нефти и нефтепродуктов. Последнее обусловлено тем, что за последние тридцать лет в Европе и Японии произошел ряд серьезных аварий крупных резервуаров емкостью от 30 до 80 тыс. м³, у которых толщина нижних поясов изменялась от 25 до 32 мм, а толщина окраек не превышала 16 мм [7, 8, 10, 11].

После аварии в Японии резервуара емкостью 50 тыс. м³ [1] были выполнены аналитические расчеты и все необходимые эксперименты, которые показали, что напряженно-деформированное состояние (НДС) вертикальной стенки и окраек в зоне уторного сварного шва с самого начала эксплуатации находилось в пластической стадии. Расчеты на малоцикловую усталость, произведенные японскими специалистами по методике Американского нефтяного института, показали, что при выявленном уровне НДС уторного шва указанный резервуар мог выдержать не более 40 циклов загрузки. В рассмотренном случае за 9 месяцев эксплуатации в обследуемом резервуаре последний выдержал всего 18 полных циклов

загружения и имел: нижний пояс толщиной 27 мм, с окрайкой толщиной 12 мм, выполненный из высокопрочной стали марки HW50. Усталостная трещина возникла сразу в уторном шве и окрайке в зоне наибольших изгибающих напряжений и стала развиваться в двух направлениях вдоль стенки резервуара в пределах 12,8 м и в радиальном направлении в окрайке в пределах 3 м. Аналогичные аварии произошли в Японии в резервуарах объемом 38, 65 и 80 тыс. м³.

Одновременно в Европе произошли характерные аварии резервуаров объемом от 30 до 50 тыс. м³, у которых разрушения уторного шва достигли еще более катастрофических размеров.

В работах В.В. Филиппова, В.А. Прохорова, С.В. Аргунова и Н.И. Буслаевой [2, 3] проведен детальный анализ отказов и предаварийных ситуаций нефтеналивных резервуаров на нефтебазах республики САХА (Якутия). Так, в августе 1991 г. во время заполнения резервных резервуаров в п. Усть-Куйга последние получили значительные повреждения и вышли из строя. При этом во время аварии температура окружающей среды достигла +40°С, что привело к образованию трещин в уторных соединениях трех резервуаров объемом от 700 до 2000 м³. Геодезическая съемка, выполненная после аварии, установила, что максимальное значение разности отметок в пределах разрушенных уторных соединений составило более 294 мм.

В 1990 г. на предприятии «Якутскнефтепродукт» и Нижне-Бестяхской нефтебазы было обследовано техническое состояние более 20 резервуаров объемом от 1000 до 3000 м³ [2]. При этом в ходе сезонного оттаивания и промерзания грунтов РВС была выявлена максимальная разность осадок окраек по периметру днища от 102 до 258 мм, что также явилось причиной возникновения серьезных аварийных ситуаций.

Распределение отказов обследованных резервуаров на указанных предприятиях, в зависимости от их местонахождения представлено на рис. 1.

Одновременно в указанных резервуарах было выявлено множество дефектов, трещин и непроваров сварных швов как в уторном соединении, так и в днище.

Детальный анализ результатов комплексных обследований РВС и материалов, представленных на рис. 1, свидетельствует о том, что наиболее часто предаварийные либо аварийные ситуации возникают в самом опасном и перегруженном – уторном соединении стенки с днищем. Последнее объясняется тем, что в уторной зоне имеет место сложно-напряженное состояние, обусловленное наличием как кольцевых растягивающих усилий, так и меридиональных напряжений изгиба от краевых моментов.

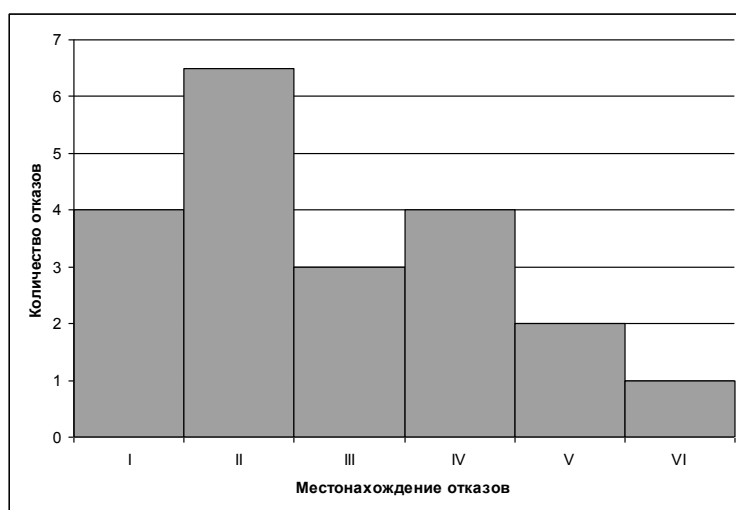


Рис. 1. Зависимость отказов резервуаров от их местонахождения:

- I – отказы, расположенные в стенке; II – отказы, расположенные в уторных соединениях;
- III – отказы, расположенные в монтажных швах; IV – отказы, расположенные в патрубке;
- V – отказы, расположенные в днище; VI – отказы, расположенные в трубопроводе

Как показывает практика зарождения и образования трещин, именно в уторном соединении последнее может происходить по трем характерным направлениям, представленным на рис. 2.

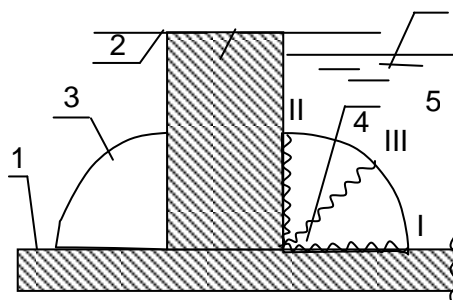


Рис. 2. Схемы образования трещин в уторном соединении РВС:
1 – крайка; 2 – вертикальная стенка; 3 – внешний сварной шов;
4 – внутренний шов; 5 – хранимый нефтепродукт; I – усталостная трещина первого рода;
II – усталостная трещина второго рода; III – усталостная трещина третьего рода

Образование указанных дефектов и трещин в уторном соединении, по мнению автора, обусловлено:

- активными коррозионными процессами, происходящими в этой зоне из-за наличия подтоварной воды;
- малоциклового усталостью металла в перегруженном сварном шве;
- наличием «остаточных» напряжений как в теле, так и в околошовной зоне сварного шва уторного соединения;
- возникновением «остаточных» напряжений непосредственно в вертикальной стенке резервуара в ходе формирования ее цилиндрической формы;
- возникновением сложноподвижного состояния вертикальной стенки в результате неравномерной осадки РВС;
- наличием высокого температурного градиента в вертикальной стенке, из-за большого перепада температуры между хранимым нефтепродуктом и внешней средой;
- местной потерей устойчивости вертикальной стенки РВС, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях непосредственно в зоне уторного соединения.

Очень часто на практике возникает необходимость определения наличия трещин и расслоений в зоне внутреннего сварного шва уторного соединения вертикальной стенки и окрестностей при полностью заполненном нефтепродуктом резервуаре. Данная задача до последнего времени решалась с очень большими трудозатратами и только после полного опорожнения РВС от нефтепродукта, соответственно, с помощью различных традиционных методов [4, 12, 13, 14, 15] и на основе практического применения:

- метода проникающих сред;
- методов, основанных на использовании рентгено- и гаммаскопии;
- методов неразрушающей, ультразвуковой дефектоскопии;
- магнитно-порошковых методов;
- магнитографических методов.

Детальный анализ всех вышеуказанных методов позволил установить фактическую невозможность сколь-нибудь эффективного использования их для выявления трещинообразных дефектов внутренних сварных швов уторного соединения при полностью загруженном РВС.

Системный анализ поставленной задачи и всех существующих методов прямого и косвенного определения характерных трещин в указанном сварном шве исследуемого соединения позволил автору разработать нетрадиционный метод определения ожидаемых трещин, на основе использования ультразвукового толщиномера, модели УТ-93П по ТУ

25-7761.007-86 представленного на рис. 3 и разработанного автором модифицированного и высокочувствительного магнитоупругого тестера для оценки действующих и «остаточных» напряжений в ферромагнитных материалах [5, 6], разрешающая способность которого превышает 0,1 МПа, рис.4.



Рис. 3. Схема практического применения ультразвукового толщиномера УТ-93П для выявления трещин во внутреннем сварном шве РВС, заполненного нефтепродуктом

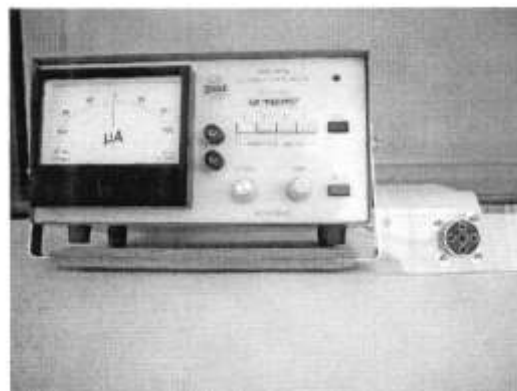


Рис. 4. Общий вид магнитоупругого тестера для оценки НДС вертикальной стенки в зоне уторного соединения

Выполненные автором модельные эксперименты и натурные исследования позволили разработать детальный сценарий и эффективную методику выявления характерных трещин **I**, **II**, и **III** рода (рис. 2), в исследуемом сварном шве.

В ходе использования ультразвукового толщиномера УТ-93П для определения характерных горизонтальных трещин **I** рода, на первом этапе выполнялась плановая тарировка указанного прибора. На втором этапе окрайка в зоне нахождения внутреннего сварного шва должна зачищаться снизу от коррозии для обеспечения акустического контакта датчика прибора УТ-93П и металла окрайки. Затем датчик устанавливался снизу на защищенное место окрайки непосредственно под внутренним сварным швом с обеспечением полного акустического контакта, как показано на рис. 5, а, б.

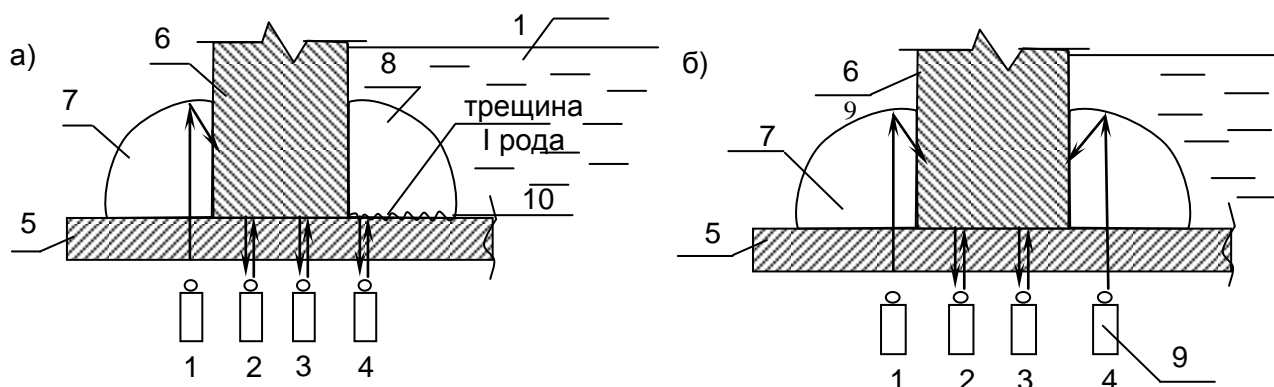


Рис. 5. Схема определения характерной горизонтальной трещины I рода, во внутреннем сварном шве: а – схема прохождения ультразвука при наличии горизонтальной трещины в сварном шве; б – схема прохождения ультразвука при отсутствии горизонтальной трещины в сварном шве; 1, 2, 3, 4 – зоны установки акустического датчика; 5 – окрайка; 6 – вертикальная стенка; 7 – внешний сварной шов; 8 – внутренний сварной шов; 9 – акустический датчик; 10 – горизонтальная трещина I рода

В случае наличия между окрайкой и вертикальной стенкой или внутренним сварным швом любой микротрещины или микрорасслоения, посланный ультразвуковой сигнал отражается от верхней плоскопараллельной поверхности окрайки и вновь возвращается в тот же приемно-передающий датчик, так как ультразвуковой толщиномер работает с одним и тем же универсальным датчиком в режиме «эхо-локации», как показано на рис. 5, а, соответственно при установке датчика в зону 2, 3 и 4. При этом на цифровом табло прибора будет высвечиваться только толщина окрайки с точностью 0,1 мм, что является ярким признаком – наличия горизонтальной микротрещины в исследуемом сварном шве.

При установке датчика в зону 1 на рис. 5, а и в зону 4 на рис. 5, б, когда горизонтальная трещина **I рода** в сварном шве отсутствует, ультразвук без каких-либо потерь пройдет через окрайку непосредственно в сварной шов и, дойдя до его верхней поверхности, отразится от нее под некоторым углом, синхронным углом ее наклона к горизонту, что не позволит указанному сигналу вновь вернуться в датчик, что в данном случае также является наглядным и косвенным признаком – отсутствия в сварном шве ожидаемой горизонтальной трещины **I рода**.

Вертикальная трещина **II рода** может быть выявлена подобным же образом, но с обязательным созданием на внешней поверхности сварного шва уторного соединения, специальной рабочей площадки плоскопараллельной вертикальной поверхности стенки, для установки акустического датчика, как показано на рис. 6, а, б. При этом все остальные измерения могут выполняться практически идентично вышеописанной процедуре.

Усталостную трещину **III рода**, расположенную под углом 45° , можно обнаружить только на основе создания на внешней поверхности сварного шва еще одной специальной рабочей площадки, плоскопараллельной поверхности ожидаемой трещины под углом 45° к горизонту, как показано на рис. 7, а, б. В этом случае при наличии трещины **III рода** отраженный сигнал будет принят, а в случае отсутствия трещины указанный сигнал будет теряться, что подтверждают и все выполненные модельные и натурные эксперименты.

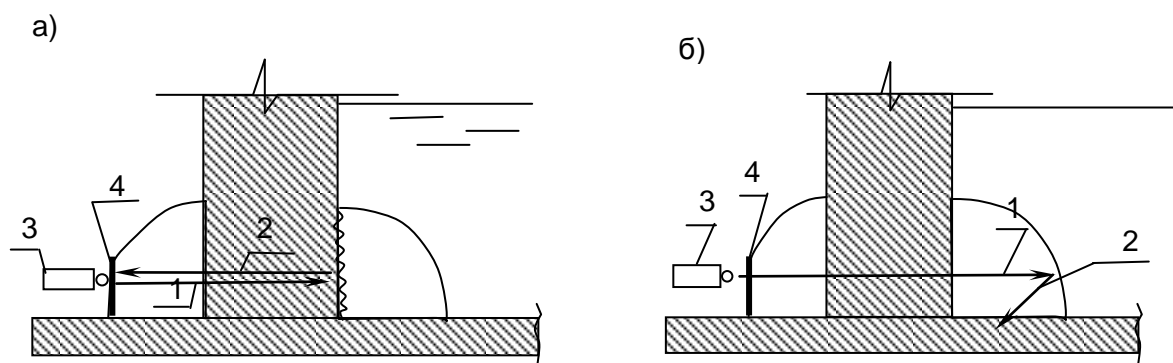


Рис. 6. Схема определения вертикальных трещин **II рода**:

1 – посланный сигнал; 2 – отраженный сигнал; 3 – акустический датчик;
4 – искусственно созданная рабочая площадка для установки датчика прибора УТ-93П

Кроме отмеченного, с целью косвенного определения момента появления трещин **I, II, и III рода** в сварном шве уторного соединения автор предлагает применить магнитоупругий тестер для организации активного мониторинга НДС вертикальной стенки в двух главных направлениях, устанавливая рабочие датчики на вертикальную стенку с максимальным приближением к уторному шву, соответственно в горизонтальном и меридиональном направлениях. В результате, при постоянном уровне хранимого нефтепродукта в РВС и внезапном появлении во внутреннем сварном шве каких-либо усталостных трещин в контролируемой вертикальной стенке произойдет резкое увели-

чение кольцевых напряжений и синхронное уменьшение меридиональных напряжений, что будет зафиксировано с очень высокой точностью разработанной и апробированной магнитоупругой системой измерения [6].

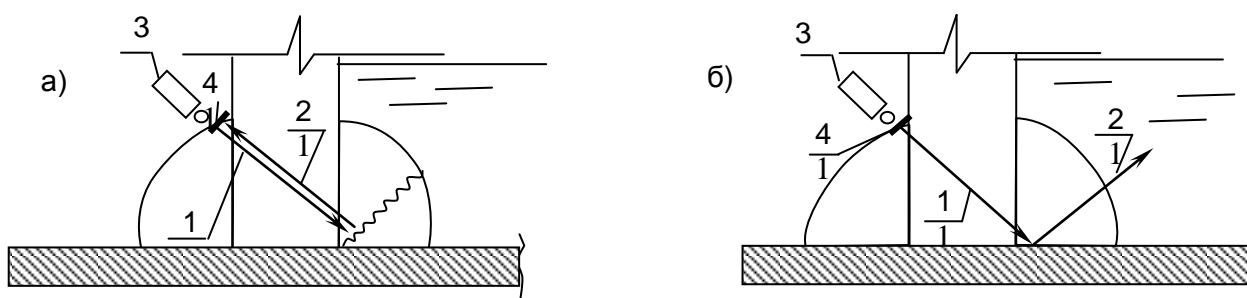


Рис. 7. Схема определения характерных трещин III рода:

- 1 – посланный сигнал; 2 – отраженный сигнал; 3 – акустический датчик;
4 – искусственно созданная рабочая площадка для установки датчика прибора УТ-93П

В целом предложенная система активного мониторинга НДС резервуара и эффективная методика обнаружения усталостных трещин во внутреннем сварном шве уторного соединения позволит на практике значительно повысить общую эксплуатационную надежность таких экологически опасных объектов, как нефтеналивные резервуары большого объема, и одновременно резко уменьшить все затраты на плановые и внеплановые натурные обследования РВС без какого-либо удаления из них хранимых нефтепродуктов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авария большого резервуара в Японии / пер. с англ. // Ж. Хайкан Гидзюцу. 1975. Т. 8. № 5. С. 128-142.
2. Техническое состояние резервуаров для хранения нефтепродуктов объединения «Якутнефтепродукт» / В.В. Филиппов, В.А. Прохоров, С.В. Аргунов, И.И. Буслаева // Известия вузов. Строительство. 1993. № 7-8. С. 13-16.
3. Buslajeva I.I. Research of Deformation of Tank Foundation under Conditions of the North / I.I. Buslajeva, V.A. Prohorov // Proceedings International Symposium «Geocryologic Problem of Construction in Eastern Russia and Northern China». Chita, 1998. P. 219-224.
4. Землянский А.А. Обследование и испытание зданий и сооружений / А.А. Землянский. М.: АСВ, 2001. 240 с.
5. Землянский А.А. Вопросы экспертизы технического состояния эксплуатируемых резервуаров для нефтепродуктов / А.А. Землянский // Строительство и недвижимость, судебная экспертиза и оценка: материалы II Междунар. конф. Прага, 2004. С. 30-33.
6. Землянский А.А. Мониторинг и управление надежностью зданий и сооружений различного назначения / А.А. Землянский // Промышленное и гражданское строительство. 2004. № 9. С. 39.
7. Коррозионная повреждаемость стальных цилиндрических резервуаров для хранения нефти / Б.Ф. Беляев, В.М. Горицкий, Р.Р. Кулахметьев, Г.Р. Шнейдеров // Промышленное и гражданское строительство. 1998. № 5. С. 33-36.
8. Иванов С.Н. Влияние технологических несовершенств на безопасную эксплуатацию резервуаров / С.Н. Иванов, Н.В. Голубева, Ю.В. Плаксин // Промышленное и гражданское строительство. 1998. № 5. С. 27-28.
9. Инструкция по диагностике и оценке остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров. РД 153-112.017.97, 1997. 70 с.

10. Кондаков Г.П. Анализ причин аварий вертикальных цилиндрических резервуаров / Г.П. Кондаков, В.В. Кузнецов, М.И. Лукиенко // Трубопроводный транспорт. 1994. № 5. С. 6-7.
11. Кузнецов В.В. Проблемы отечественного резервуаростроения / В.В. Кузнецов, Г.П. Кондаков // Промышленное и гражданское строительство. 1995. № 5. С. 41-45.
12. РД 08-95-95. Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов. М.: ПИО ОБТ, 2001. 39 с.
13. РД 39-0147103-385-87. Правила технической эксплуатации резервуаров магистральных трубопроводов. Уфа: ВНИИСПТнефть, 1988. 282 с.
14. РД 39-30-1284-85. Руководство по обследованию и дефектоскопии вертикальных стальных резервуаров. Уфа: ВНИИСПТнефть, 1986. 250 с.
15. Руководство по обследованию и дефектоскопии металлических резервуаров вместимостью от 100 до 50000 м³. Астрахань: Изд-во ЦНИЛ Госкомнефтепродукта РСФСР, 1990. 145 с.

Землянский Анатолий Андреевич –

кандидат технических наук, доцент,
директор Балаковского института техники, технологии и управления
Саратовского государственного технического университета

УДК 621.6.036

Е.В. Иванова, М.В. Павлутин

ПОСЕЛКОВЫЕ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА

В статье приведены: оптимальные типоразмеры подземных резервуаров в зависимости от годового объема газопотребления; необходимый остаточный уровень газа в резервуаре; периодичность его заправки для надежного газоснабжения. Определена область экономически эффективного применения баллонных и резервуарных установок. Приведено обоснование применения грунтовых испарителей сжиженного газа шахтного типа, повышающих надежность и безопасность систем газоснабжения. Представлена номограмма для определения паропроизводительности грунтового испарителя.

E.V. Ivanova, M.V. Pavlutin

SYSTEMS OF GAS SUPPLY OF SETTLEMENTS ON THE BASIS OF THE LIQUEFIED PETROLEUM GAS

This article describes the optimum standard sizes of underground tanks depending on annual volume of gas consumption; a necessary residual level of gas in the tank; periodicity of its refueling for reliable gas supply. The area of eco-

nomically effective application of cylinder and tank installations is presented here. The substantiation of application of earth evaporators of the liquefied gas of mine type raising reliability and safety of systems of gas supply is shown by the author. Nomogramm for definition of pair productivity the earth evaporator is presented here as well.

Сжиженные углеводородные газы (СУГ) получили широкое распространение как источники газоснабжения городов и сельских поселков России, удаленных от магистральных газопроводов природного газа.

В существующей практике снабжение сжиженным газом сельских поселков, а также жилых массивов городов с одноэтажной (усадебной) застройкой осуществляется, как правило, от индивидуальных газобаллонных установок, размещаемых в помещениях, где установлены газовые приборы.

При проектировании баллонного снабжения сжиженным газом обычно исходят из практических рекомендаций: один баллон емкостью 50 литров обеспечивает газоснабжение квартиры в течение 20÷30 суток. При этом предполагается, что сжиженный газ, находящийся в баллоне, реализуется потребителем полностью, наличие остаточного уровня газа в баллоне не предусматривается.

Вместе с тем, при низком остаточном уровне газа в баллоне испарительная способность последнего не удовлетворяет расчетной потребности. Потребитель в данном случае вынужден довольствоваться меньшим количеством газа, то есть наблюдается частичный отказ систем газоснабжения. В ряде случаев испарение газа в баллоне вообще прекращается (полный отказ систем газоснабжения).

Характерной особенностью систем газоснабжения является их социальный характер, так как они обслуживают людей и обеспечивают их нормальную жизнедеятельность. Прекращение подачи газа, перебой в газоснабжении снижает жизненный тонус людей, нарушает ритм жизни и питания, что способствует заболеваниям и отрицательно воздействует на состояние организма человека [1]. В связи с этим проектирование и эксплуатацию баллонных систем снабжения сжиженным газом необходимо осуществлять с учетом требований к устойчивости и надежности газоснабжения. При этом определенную роль играют величина остаточного уровня газа в баллоне и периодичность замены баллонов у потребителя работниками газовой службы. В результате теоретических и экспериментальных исследований установлено, что надежное газоснабжение потребителя от баллонных установок с максимальной обеспеченностью газопотребления требует наличия остаточного уровня газа в размере 24% (при установке в квартирах только газовых плит) и 32% (при установке в квартирах газовых плит и водонагревателей). При этом баллон емкостью 50 литров обеспечивает работу газового оборудования в течение 22 и 12 суток соответственно [2, 3].

Газификация процессов приготовления пищи, а также приготовления горячей воды на хозяйственные и бытовые нужды не решает всех вопросов инженерного сервиса зданий. Бурное развитие строительства загородных домов и коттеджей с повышенным уровнем инженерного благоустройства предъявляет дополнительные требования к качеству энергообеспечения квартир на газовом топливе, включая отопительно-вентиляционные нужды. При этом все более широкое распространение получают децентрализованные системы газоснабжения на базе подземных резервуарных установок.

Как показывают результаты технико-экономических исследований, наиболее эффективный вариант децентрализованного снабжения потребителей сжиженным газом от резервуарных установок обеспечивается на базе подземных цилиндрических резервуаров вертикального типа с применением новой технологии производства земляных работ. При этом полностью исключается вывоз грунта в отвал, в 8 раз сокращается потребность песка для обратной засыпки котлована при общем снижении сметной стоимости строительства на 34,7%.

В целях максимальной адаптации технических решений к конкретным условиям газовой практики разработан оптимальный типоряд подземных вертикальных резервуаров сжиженного газа, включающий в себя 6 типоразмеров объемом от 1,3 до 4,7 м³ (табл. 1) [4].

Таблица 1

Конструктивные параметры подземных вертикальных резервуаров сжиженного газа

Наименование параметра	Обозначение (марка) резервуара					
	РПВ-1,3	РПВ-1,7	РПВ-2,3	РПВ-3,0	РПВ-3,8	РПВ-4,7
1. Геометрический объем резервуара V_p , м ³	1,3	1,7	2,3	3,0	3,8	4,7
2. Полезный объем резервуара V_o при 85%-м заполнении, м ³	1,1	1,45	1,96	2,55	3,23	4,0
3. Внутренний диаметр корпуса d , мм	900	1000	1200	1400	1600	1800
4. Толщина стенки δ :	6	6	6	6	8	8
а) корпуса (обечайки), мм	6	6	8	8	10	10
б) днищ, мм	6	6	8	8	10	10
5. Длина резервуара (по эллиптическим днищам) l , мм	2100	2100	2100	2100	2100	2100

Выбор оптимального типоразмера подземного резервуара сжиженного газа для конкретного потребителя проводится в зависимости от объема его годового газопотребления. В целях определения оптимального геометрического объема индивидуальной резервуарной установки были проведены соответствующие исследования, основные результаты которых представлены в табл. 2.

Таблица 2

Выбор оптимального типоразмера подземного резервуара сжиженного газа

Характеристика объекта газоснабжения	Максимальный часовой расход газа $g_{\max}^{\text{час}}$, кг/ч	В том числе на отопление, $g_{\max, \text{от}}^{\text{час}}$, кг/ч	Годовой расход газа, $g_{\text{год}}$, кг/год	Годовое энергопотребление, $Q_{\text{год}}$, МВт/год	Рекомендуемый объем резервуара, V_p , м ³ по [5]
Усадебные (коттеджные) здания; газовые плиты	0,70	–	216,66	2,83	1,3
То же, плиты и водонагреватели	2,24	–	339,69	4,43	1,3
Усадебные здания; газовые плиты и печи (котлы) непрерывного действия	<u>1,61</u> 1,36	<u>0,90</u> 0,66	<u>1203,70</u> 672,03	<u>28,92</u> 14,23	<u>2,3</u> 1,3
Усадебные здания; газовые плиты, газовые печи периодического действия	<u>6,10</u> 4,63	<u>5,39</u> 3,93	<u>1204,14</u> 672,10	<u>33,39</u> 8,40	<u>3,0</u> 2,3
Коттеджные здания, газовые плиты, водонагреватели и газовые отопительные котлы	<u>3,78</u> 3,31	<u>1,61</u> 1,14	<u>2104,65</u> 1133,98	<u>49,46</u> 23,02	<u>3,0</u> 2,3

Примечание к таблице 2: В числителе холодная климатическая зона; в знаменателе – умеренно-теплая климатическая зона.

Как видно из табл. 2, оптимальный геометрический объем индивидуальной резервуарной установки изменяется в широких пределах 1,3 до 3,0 м³. Указанное обстоятельство обуславливает необходимость дифференцированного подхода к выбору объема резервуарной установки при проектировании и сооружении систем децентрализованного снабжения сжиженным газом.

Надежное снабжение потребителей сжиженным газом требует обоснования необходимого остаточного уровня газа в резервуаре и периодичности заправок резервуарных установок. Результаты соответствующих исследований приводятся в табл. 3.

Таблица 3

Эксплуатационные характеристики резервуарных установок СУГ

Характеристика объекта газоснабжения	Рекомендуемый объем резервуара, V _p , м ³	Остаточный уровень газа в резервуаре, φ _{ост} , %	Продолжительность эксплуатации резервуара между соседними заправками, τ, сут.	Годовое количество заправок резервуара, n	Минимальная продолжительность эксплуатации резервуара между соседними заправками, τ _{min} , сут.
Усадебные (коттеджные) здания; газовые плиты	1,3	24	551	0,5	490
То же, плиты и водонагреватели	1,3	55	180	2	154
Усадебные здания; газовые плиты и печи (котлы) непрерывного действия	$\frac{2,3}{1,3}$	$\frac{55}{28}$	$\frac{115}{221}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{55}{78}$
Усадебные здания; газовые плиты, газовые печи периодического действия	$\frac{3}{2,3}$	$\frac{54}{46}$	$\frac{155}{268}$	$\frac{2}{1}$	$\frac{74}{95}$
Коттеджные здания, газовые плиты, водонагреватели и газовые отопительные котлы	$\frac{3}{2,3}$	$\frac{50}{32}$	$\frac{72}{216}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{34}{76}$

Примечание к таблице 3. В числителе холодная климатическая зона; в знаменателе – умеренно-теплая климатическая зона.

Как видно из табл. 3, величина остаточного уровня газа в резервуаре изменяется в широком диапазоне от 24% (усадебные или коттеджные здания, оборудованные газовыми плитами) при эксплуатации в любой климатической зоне, до 60% (коттеджные здания, оборудованные плитами, водонагревателями и отопительными котлами) при эксплуатации в холодной климатической зоне.

В зависимости от технических характеристик объектов газоснабжения и климатических условий эксплуатации годовое количество заправок изменяется также в широких пределах: от одной заправки в два года для усадебных (коттеджных) зданий, оборудованных газовыми плитами

тами при эксплуатации в любой климатической зоне до пяти заправок в год для коттеджных зданий, оборудованных газовыми плитами, водонагревателями и отопительными котлами при эксплуатации в холодной климатической зоне. При этом минимальная продолжительность эксплуатации резервуара между соседними заправками изменяется от 490 до 34 суток.

Анализ технических характеристик баллонных и резервуарных систем снабжения сжиженным газом показывает, что при выборе источника децентрализованного газоснабжения населенных пунктов определяющую роль играет характер потребителей газа. При использовании СУГ на все бытовые и хозяйственные нужды, включая отопление квартир (газовые отопительные печи или котлы), рекомендуется использовать индивидуальные резервуарные установки. При использовании газа только на цели приготовления пищи (приготовление и горячее водоснабжение) при оборудовании квартир газовыми плитами (плитами и водонагревателями) взаимно конкурентоспособны децентрализованные системы газоснабжения на базе индивидуальных резервуарных или баллонных установок.

Экономически обоснованная область применения баллонных систем снабжения сжиженным газом ограничивается удаленностью населенных пунктов от ГНС на расстоянии до 125 км (при установке в квартирах газовых плит) и на расстоянии до 50 км (при установке в квартирах газовых плит и водонагревателей). При большей удаленности потребителей целесообразно использовать индивидуальные резервуарные установки.

В системах централизованного снабжения сжиженным газом жилых массивов, а также крупных промышленных предприятий и объектов сельскохозяйственного производства широкое распространение получили групповые резервуарные установки.

В современной практике газовых хозяйств России находится в эксплуатации свыше 30 тыс. подземных резервуарных установок с общим числом резервуаров различного объема около 75 тысяч. Подавляющее большинство групповых резервуарных установок работают по принципу естественной регазификации, используя природное тепло грунта. Столь широкие масштабы использования резервуарных установок с естественной регазификацией (РУЕР) СУГ обуславливаются их техническими преимуществами:

- отсутствие необходимости в специальном теплоносителе для регазификации сжиженного газа;
- отсутствие необходимости в установке дорогостоящей автоматики безопасности и регулирования процесса испарения;
- простота монтажа и эксплуатации резервуарных установок.

Следует отметить, однако, что в Российской Федерации с ее суровыми климатическими условиями применение резервуарных установок с естественной регазификацией в самих расходных емкостях имеет целый ряд существенных недостатков, главными из которых является низкая паропроизводительность в холодный период времени года и, как следствие, большая металлоемкость (капиталовложения) на единицу испаренного газа.

Применение грунтовых испарителей сжиженного газа шахтного типа в значительной степени устраняет отмеченные недостатки и обеспечивает более эффективное использование РУЕР.

Основными преимуществами таких испарителей является малая площадь для размещения испарительных колонок, возможность применения для производства работ высокопроизводительной буровой техники, сокращение сметной стоимости и сроков строительства.

Принципиальная схема резервуарной установки сжиженного газа, оборудованной шахтными грунтовыми теплообменниками, приводится на рис. 1.

Схема работает следующим образом.

В начальный период эксплуатации паровая фаза из расходного резервуара 1 по паровому стояку через байпасный клапан 2 подается в грунтовый теплообменник 4, а затем через поплавковый клапан-отсекатель жидкости 5 и регулятор низкого давления 3 поступает к потребителю. При снижении давления паров газа в резервуаре до 2500 даПа байпасный клапан

закрывается. Образующийся при этом перепад давлений между резервуаром и грунтовым теплообменником обеспечивает подъем жидкой фазы из резервуара по жидкофазному стояку и подачу ее в испарительную колонку. За счет теплопритока от грунта жидкая фаза в межтрубном пространстве колонки полностью испаряется и паровая фаза через поплавковый клапан-отсекатель и регулятор низкого давления подается к потребителю.

Вследствие теплопритока со стороны окружающего грунта давление паров в резервуаре повышается и байпасный клапан снова открывается.

Газоснабжение потребителя вновь осуществляется от паровой фазы резервуара через байпасный клапан. Цикл повторяется.

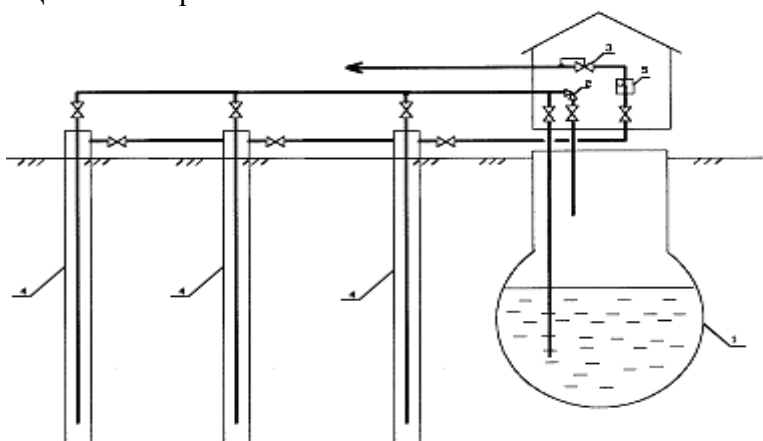


Рис. 1. Резервуарная установка сжиженного газа с грунтовыми теплообменниками типа «труба в трубе»: 1 – резервуар хранения; 2 – байпасный клапан; 3 – регулятор низкого давления; 4 – грунтовой теплообменник; 5 – поплавковый клапан-отсекатель жидкости

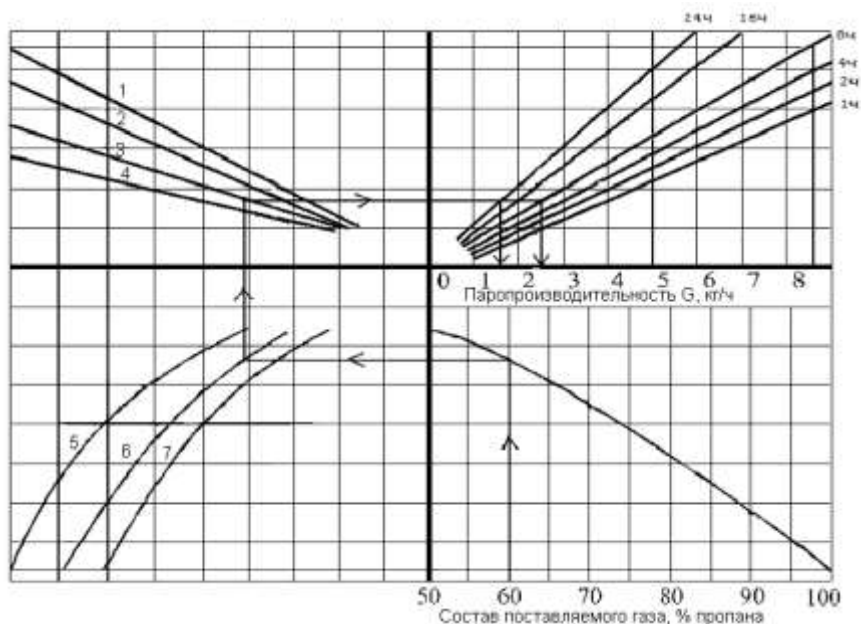


Рис. 2. Номограмма для определения паропроизводительности шахтного грунтового испарителя сжиженного газа. Грунт: 1 – песок; 2 – супесь; 3 – суглинок; 4 – глина. Климатическая зона: 5 – умеренно-теплая; 6 – умеренно-холодная; 7 – холодная

В результате аналитических исследований [6,7] разработана математическая модель регазификации сжиженного газа в испарительных колонках типа «труба в трубе», комплекс-

но учитывающая геометрические размеры теплообменника, теплофизические характеристики грунтового массива, климатические условия эксплуатации, состав и давление сжиженного газа и другие определяющие факторы.

Предложены рекомендации по выбору геометрических размеров и количества испарительных колонок в зависимости от расчетного расхода газа и режимов газопотребления.

Для определения паропроизводительности грунтового испарителя в проектной и эксплуатационной практике предложена номограмма (рис. 2). Применение номограммы позволяет графическим путем определить паропроизводительность одиночной испарительной колонки типа «труба в трубе» в зависимости от состава газа, характера грунта, климатической зоны эксплуатации испарителя и продолжительности отбора паровой фазы СУГ.

Оборудование резервуарных установок шахтными грунтовыми теплообменниками повышает надежность и безопасность систем газоснабжения и обеспечивает экономический эффект в объеме 17,35 тыс. рублей на одну резервуарную установку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ионин А.А. Газоснабжение / А.А. Ионин. М.: Стройиздат, 1982. 414 с.
2. Иванова Е.В. Децентрализованные системы снабжения газом на базе индивидуальных газобаллонных установок / Е.В. Иванова // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоэнергоснабжения: сб. науч. трудов. Саратов: СГТУ, 2005. С. 167-174.
3. Курицын Б.Н. Повышение надежности газоснабжения от баллонных установок сжиженного газа / Б.Н. Курицын, М.С. Недлин, Е.В. Иванова // Газ России. Отраслевой информационно-аналитический журнал. М.: Росгазификация, 2005. С. 30-31.
4. Курицын Б.Н. Обоснование оптимального типоряда вертикальных подземных резервуаров сжиженного газа / Б.Н. Курицын, А.П. Усачев, О.Б. Шамин // Актуальные проблемы развития систем теплогазоснабжения и вентиляции: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 1998. С. 19-24.
5. Курицын Б.Н. Оптимизация геометрических параметров резервуарных установок сжиженного газа / Б.Н. Курицын, А.П. Усачев, О.Б. Шамин // Совершенствование систем теплогазоснабжения и вентиляции: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 1994. С. 64-71.
6. Курицын Б.Н. Резервуарные установки сжиженного газа с шахтными грунтовыми теплообменниками / Б.Н. Курицын, А.Н. Юшин, М.В. Павлутин // Перспективы использования сжиженных углеводородных газов: материалы Рос. науч.-техн. конф. Саратов: СГТУ, 2003. С. 85-93.
7. Курицын Б.Н. Тепловое взаимодействие испарительных колонок сжиженного газа с грунтовым массивом при циклическом отборе паров / Б.Н. Курицын, М.В. Павлутин // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоэнергоснабжения: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2005. С. 85-93.

Иванова Екатерина Вадимовна –
аспирант кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»
Саратовского государственного технического университета

Павлутин Максим Владимирович –
аспирант кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»
Саратовского государственного технического университета

ЭКОЛОГИЯ

УДК 520

**Т.И. Губина, В.И. Лабунская, Л.А. Сафронова, О.В. Бабакова,
К.Н. Огурцов, Ю.С. Архангельский, И.А. Дроб**

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ОСАДКОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ООО «САРАТОВОРГСИНТЕЗ»

С целью использования осадков сточных вод предприятия ООО «Саратоворгсинтез» при рекультивации загрязненных земель изучены возможности их обеззараживания при термической обработке и при СВЧ-облучении. Проведено сравнение биологических показателей осадков при двух видах обработки и показаны преимущества СВЧ воздействия.

**T.I. Gubina, V.I. Labunskaya, L.A. Saphronova, O.V. Babakova,
K.N. Ogurtzov, Y.S. Arhangelsky, I.A. Drob**

SARATOVGRSYNTHESIS, CO BIOLOGICAL REFINERIES PRECIPITATIONS DETOXICATION

In order of use the sewage precipitations of the plant «Saratovorgshyntesis» for the recultivation of contaminated soils the possibility of their detoxication by thermal treatment and ultra-high frequency exposure was studied here in the article. The biological characteristics of precipitations after both types of treatment were checked the advantages of the NHF exposure were demonstrated here as well.

Осадки сточных вод неизбежно становятся источником загрязнения, если не решаются вопросы их утилизации. Известно об использовании осадков, образующихся при очистке природных, бытовых и сточных вод ряда промышленных предприятий в качестве удобрений в лесном хозяйстве, для выращивания технических культур, озеленения городских территорий, рекультивации земель [1]. Для этого из осадков в биореакторах или при полевом компостировании изготавливают компосты. Внесение последних в почву значительно улучшает водно-физические свойства почв, снижает их эрозию, положительно отражается на приживаемости и росте посадок.

На биологических очистных сооружениях ООО «Саратоворгсинтез» проходят механическую и биологическую очистку производственные и хозяйственно-бытовые стоки предприятия. Осадки со всех ступеней очистки смешивают в шламопроводе, а затем подвергают механическому обезвоживанию на пресс-фильтрах, в результате чего образуется кек – влажный отжим. Большое количество органических веществ и питательных элементов позволяет

использовать его в качестве удобрения. Однако известно, что для осадков промышленных сточных вод необходима специальная их обработка, в процессе которой улучшаются основные характеристики, уничтожаются патогенные микроорганизмы, уменьшается подвижность химических элементов.

Различают два направления обработки осадков очищаемых стоков: обезвреживание и обеззараживание. Обезвреживание представляет собой удаление токсичных веществ, прежде всего тяжелых металлов и особо опасных органических веществ. Обеззараживание – это обработка осадков от патогенных микроорганизмов. Для одновременного обеззараживания и обезвреживания осадков применяют: термические, биотермические, химические и биологические методы, а также различные физические воздействия.

В настоящей работе представлены результаты обработки кека двумя методами: под действием термической обработки и под действием СВЧ-облучения. Исследовано влияние температурной обработки на выживаемость содержащихся в кекке патогенных микроорганизмов (*Escherichia coli*, *Bacterium aerogenes*) при следующих значениях температур: 60, 80, 90, 95°C и различной продолжительности их воздействия. Продолжительность обработки составляла для 60°C: 20, 30, 60, 80, 90, 100, 110, 120 мин, для 80°C: 20, 30, 45, 50, 55, 60, 65 мин, для 90°C: 4, 5, 10, 15, 20 мин и для 95°C: 3, 4, 5, 10 мин. Динамика обработки кека в зависимости от температуры и времени представлена на рис. 1.

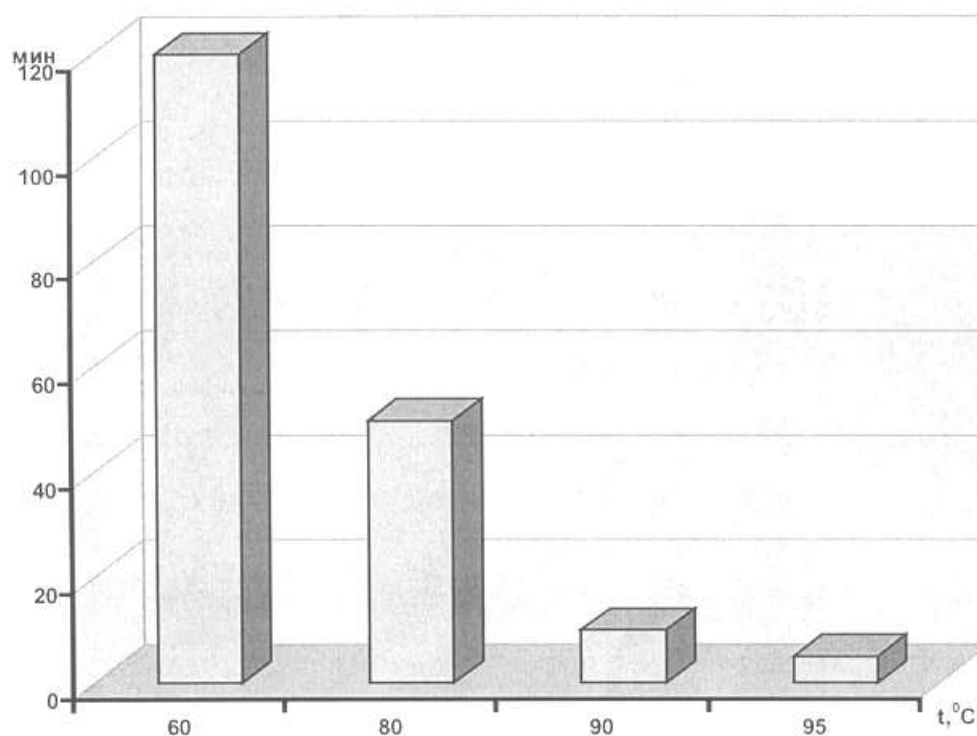


Рис. 1. Динамика обработки кека

Анализ полученных результатов показывает, что выдерживание кека при температуре 60°C в течение 120 мин не приводит к полному уничтожению микроорганизмов, при 80°C полное уничтожение колоний наблюдается при 50 мин тепловой обработки, при 90 и 95°C необходимое время гибели микроорганизмов составляет соответственно 10 и 5 мин.

Однако при повторении эксперимента на пробах кека, взятых в разное время, не получена сходимость результатов, что связано с несоблюдением постоянного соотношения концентраций промышленных и фекальных стоков при их смешении перед подачей на очистные сооружения.

Нами проанализированы данные по поступающим стокам (рис. 2) и определена зависимость изменения эффекта теплового воздействия на микроорганизмы от состава стоков. Разработаны оптимальные условия термической обработки кека (рис. 3), что позволяет получать его со степенью безопасности по патогенным микроорганизмам, меньшей, чем установлено нормативными документами (табл. 1).

Коэфф.

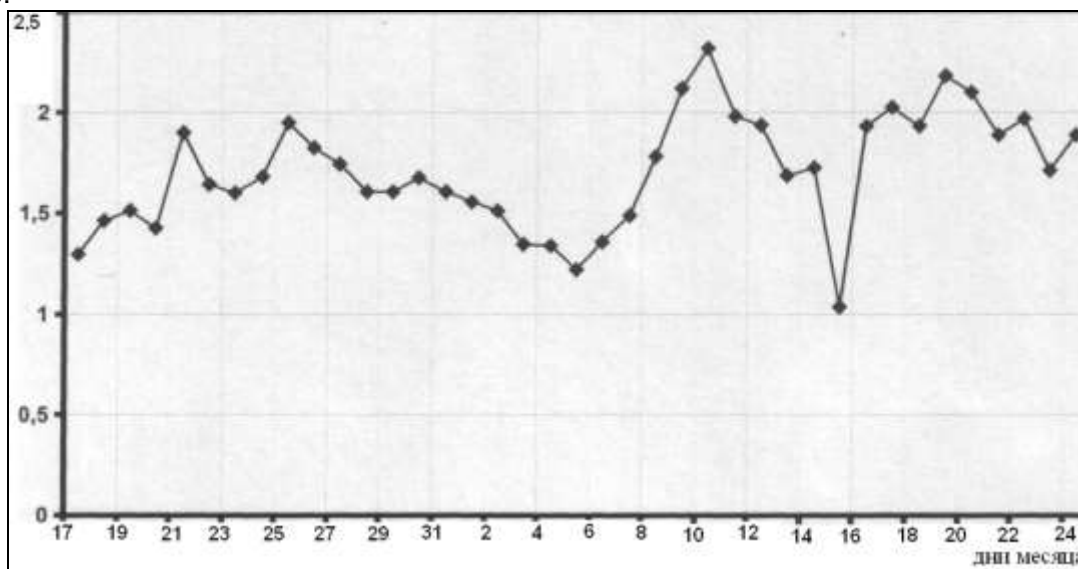


Рис. 2. Соотношение коэффициентов смешения промышленных и фекальных стоков

Коэфф.

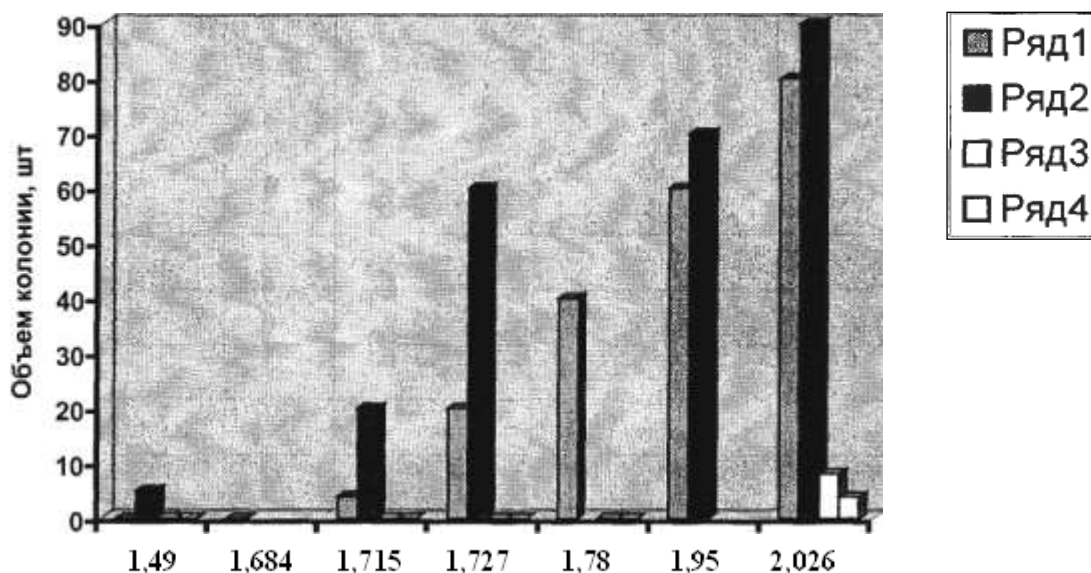


Рис. 3. Динамика роста колонии кишечной палочки на среде Эндо в зависимости от коэффициента смешения промышленных и фекальных стоков

Известно о влиянии СВЧ-излучения в широком диапазоне на живые организмы, в том числе и на патогенные микроорганизмы [2]. К настоящему времени накоплен большой материал по экспериментальному и теоретическому изучению биологических эффектов низкоинтенсивного СВЧ-излучения. Экспериментально обнаружено, что данное из-

лучение может привести к ускорению активного транспорта ионов натрия, изменению проницаемости мембран эритроцитов, ускорению перекисного окисления ненасыщенных жирных кислот в липосомах, увеличению ионной проводимости бислойных липидных мембран, увеличению скорости синтеза витаминов и т.д. [3]. Большое число работ посвящено изучению взаимодействия СВЧ-излучения с водой, т.к. вода является основным компонентом живых организмов и как среда обладает уникальными свойствами ввиду особенностей своей структуры. Установлено, что резонансные частоты молекулярных колебаний воды и биосреды живого организма находятся в миллиметровом диапазоне и идентичны [4]. Можно считать, что система «вода-волна» выполняет коммуникационно-корректирующую роль.

Таблица 1

Санитарно-бактериологические и санитарно-паразитологические показатели осадков

Наименование показателя	Норма для осадков группы	
	1	2
Бактерии группы кишечной палочки, клеток/грамм осадка фактической влажности	100	1000
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, клеток/грамм	Отсутствие	Отсутствие
Яйца геогельминтов и цисты кишечных патогенных простейших, экз./грамм осадка фактической влажности, не более	Отсутствие	Отсутствие

Поскольку кек представляет собой органическое образование и содержит большое количество воды, с высокой плотностью патогенных колоний микроорганизмов, нами исследовано влияние СВЧ-излучения на их выживаемость. С этой целью кек подвергался обработке СВЧ-излучением со следующими значениями мощностей: 56, 300, 500, 700 Вт и соответствующих температур (31; 47; 54; 54,8°C). Для этого кек помещался в кювету, которая ставилась в модуль СВЧ Э19.000.000. Продолжительность обработки составляла 20 секунд. Полученные результаты приведены в табл. 2.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в результате такой обработки можно получать кек со степенью опасности по патогенным микроорганизмам, меньшей, чем определено нормативными документами [5].

Таблица 2

Зависимость роста микроорганизмов от мощности СВЧ облучения

Мощность облучения, Вт	Среда Эндо	
	C, $2 \cdot 10^{-1}$ г/мл	C, $2 \cdot 10^{-2}$ г/мл
0 (контроль)	Бурный рост	Бурный рост
56	Бурный рост	Рост
300	Рост	Единичные колонии
500	1 колония	Отсутствие колоний
700	Отсутствие колоний	Отсутствие колоний

Длительность экспозиции составляла 20 с.

На рис. 3 приведен график изменения температуры среды в зависимости от мощности облучения. График показывает, что уничтожение патогенных микроорганизмов и обезвоживание кека происходит при температурах ниже 60°C, причем в интервале от 400-700 Вт температура держится постоянной. Возможно, что увеличение мощности излучения не приводит к дополнительному нагреву, и выделяемая энергия поглощается биосистемой.

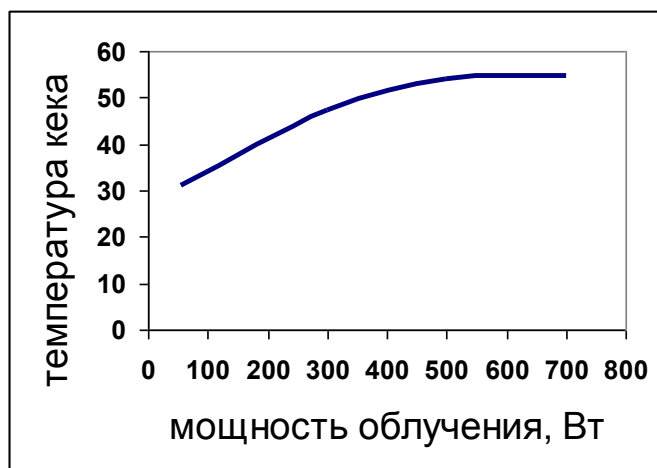


Рис. 3. Зависимость температуры среды от мощности облучения, °C

Исследования по изучению механизма воздействия СВЧ облучения на кек будут продолжены.

Экспериментальная часть

Используемые материалы и оборудование.

Реактивы: сухая среда Эндо ГОСТ 18963-73.

Приборы: модуль СВЧ Э19.000.000 [6], термостат типа Ц-450 (для разведения колоний), термошкаф типа ОКБ-1085А (для термической обработки), весы типа ВЛР-200.

Посуда: пробирки, чашки Петри, пипетки на 1 мл.

Приготовление среды Эндо. В 100 мл дистиллированной воды растворяют 7,4 г сухого порошка Эндо и нагревают до кипения на водяной бане, кипятят еще 3 минуты при постоянном перемешивании. Горячую среду разливают в чашки Петри объемом 20-30 см², не допуская образования пузырьков на поверхности. Среду хранят в термостате не более 2-3 дней.

Выделение чистых культур. 1 г обработанной пробы помещают в стерильную пробирку и добавляют 9 мл дистиллированной воды. Далее делают два разведения кека дистиллированной водой из расчета 1:10. В стерильные чашки Петри с твердой средой Эндо стерильными пипетками помещают по 0,2 мл определяемого разведения (10^{-1} ; 10^{-2}) и распределяют шпателем (петлей) по поверхности среды. Чашки с посевами помещают в термостат на 48 часов при температуре $37 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

Подсчет колоний. Колонии считают, не открывая чашку. Подсчитывают выросшие на поверхности среды Эндо колонии, характерные для общих колиморфных бактерий (красные и темно-красные с металлическим блеском и без него, слизистые розовые с темно-малиновым центром) [7].

СВЧ-облучение кека осуществляют с помощью модуля СВЧ Э19.000.000 (модуль предназначен для СВЧ нагрева жидких и вязких полимерных материалов).

Основные параметры и характеристики модуля:

1. Питание модуля осуществляется от трехфазной с нулевым проводом сети переменного тока частоты (50 ± 1) Гц напряжением $380/220 \text{ В} \pm 10\%$.

2. Потребляемая модулем мощность не более 8,5 кВт.

3. Измерение температуры воды на входе и выходе нагрузки в диапазоне от 0 до 100°C с дискретностью $0,1^\circ\text{C}$, частота микроволновая – 2450 МГц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов А.Н. Воздействие ЭМИ на жизнедеятельность: учеб. пособие / А.Н. Павлов. М.: Гелиос, 2002. 224 с.
2. Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине / под ред. Н.Д. Девяткова. М.: Ин-т радиотехники и электроники АН СССР, 1985. 284 с.
3. Девятков Н.Д. Электромагнитные миллиметровые волны и живые организмы / Н.Д. Девятков, О.В. Бецкий // Радиотехника. 1996. № 9. С. 4-11.
4. Особая роль системы «миллиметровые волны – водная среда» в природе / Н.И. Синицын, В.И. Петросян, Н.Д. Девятков и др. // Биомедицинская радиоэлектроника. 1998. № 1. С. 5-23.
5. Синюков В.В. Вода известная и неизвестная / В.В. Синюков. М.: Знание, 1987. 175 с.
6. СанПиН 2.1.573-96. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения. М.: Изд-во стандартов, 1996. 48 с.
7. Метод определения общих колиформных бактерий сточных вод / А.Е. Недачин, Т.З. Артемов, С.И. Плитман и др. // Экологический вестник России. 2001. № 3. С. 25-30.
8. Архангельский Ю.С. СВЧ-электротермия / Ю.С. Архангельский. Саратов: СГТУ, 1998. 408 с.

Губина Тамара Ивановна –

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

Лабунская Вероника Иосифовна –

кандидат химических наук, доцент кафедры «Экология»
Саратовского государственного технического университета

Сафронова Лариса Александровна –

кандидат химических наук, доцент кафедры «Экология»
Саратовского государственного технического университета

Бабакова Ольга Васильевна –

Начальник сектора «Экология» ООО «Саратоворгсинтез»

Огурцов Константин Николаевич –

кандидат технических наук,
доцент кафедры «Автоматизированные электротехнологические установки и системы»
Саратовского государственного технического университета

Архангельский Юрий Сергеевич –

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Автоматизированные электротехнологические установки и системы»
Саратовского государственного технического университета

Дроб Инна Александровна –

ассистент кафедры «Экология»
Саратовского государственного технического университета

Б.Н. Яковлев

КЛАССИФИКАЦИЯ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНОСТИ

В результате проведения долговременных экспериментальных и теоретических исследований предложена общая классификация канализационных очистных сооружений по взрывопожарной опасности. Разработанная классификация может быть использована и на других подобных объектах.

B.N. Yakovlev

SEWAGE REFINERIES EXPLOSION CLASSIFICATION

As a result of undertaking permanent experimental and basic researches a general categorization sewage refineries on explosion is presented here. This classification can be applied for another similar object as well.

При эксплуатации очистных сооружений производственной канализации в них поступают сточные воды, в которых содержатся различные легковоспламеняющиеся и горючие жидкости. В результате испарения из стоков этих жидкостей образуются паровоздушные смеси, которые при определенных условиях могут взрываться и гореть.

Опасность канализационных сетей и сооружений отмечается в работах отечественных и зарубежных авторов [1, 2, 3] и др. К сожалению, данный вопрос был недостаточно изучен как экспериментально, так и теоретически. Поэтому канализационные очистные сооружения предприятий и производств оценивают по-разному, относя их к той или иной группе по взрывопожароопасности, часто основываясь на опыте эксплуатации таких сооружений. В одних случаях очистные сооружения ряда предприятий и производств относили к взрывопожароопасным, увеличивая расходы на их строительство, эксплуатацию и реконструкцию. В других случаях их необоснованно относили к неопасным, что приводило или могло привести к различным авариям, взрывам и пожарам, а также гибели людей и материальных ценностей. Поэтому исследование реальной опасности канализационных очистных сооружений является очень актуальной задачей.

В результате проведения долговременных натуральных исследований на действующих канализационных очистных сооружениях предприятий и производств основных отраслей промышленности, а также теоретических исследований [4, 5, 6, 7, 8] разработана общая их классификация по взрывопожароопасности (см. таблицу).

Общая классификация позволяет без проведения натуральных исследований определять взрывопожарную опасность сооружений промканализации.

Предложенная классификация рекомендуется для использования при определении степени опасности канализационных очистных сооружений и на других подобных объектах.

Общая классификация канализационных очистных сооружений по взрывопожароопасности

Наименование сооружения	Технологические процессы, происходящие в очистном сооружении	Классификация сооружений	
		категория по НПБ	класс взрыво- и пожароопасных зон по ПУЭ
<i>1. Канализационные очистные сооружения предприятий стройиндустрии</i>			
Песколовки	очистка стоков от механических примесей	Д	–
Отстойники и нефтеловушки	очистка стоков от органических загрязнений	Д	–
<i>2. Канализационные очистные сооружения нефтеперерабатывающих заводов</i>			
Песколовки	очистка стоков от механических примесей	А	В – Iг
Нефтеловушки	очистка стоков от нефтепродуктов	А	В – Iг
Пруды дополнительного отстоя	отстой стоков	В	П – III
Сооружения станции БХО:	биологическая очистка стоков		
Аэротенки I и II ступеней		Д	–
Вторичные отстойники	осветление стоков	Д	–
<i>3. Канализационные очистные сооружения предприятий химической и нефтехимической промышленности</i>			
<i>Энгельсское п/о «Химволокно»</i>			
Приемная камера	прием стоков на очистку	Д	–
Помещение механических решеток	задержание крупных загрязнений стоков	Д	–
Песколовки	очистка стоков от механических примесей	Д	–
Первичные отстойники	усреднение стоков по концентрациям загрязнений	Д	–
Смеситель	смешение промстоков с х/б стоками перед БХО	Д	–
Аэротенки	биохимическая очистка стоков	Д	–
Вторичные отстойники	дополнительный отстой и осветление стоков	Д	–
Метатенки	обезвреживание сырого осадка	А	В – Ia
<i>Северодонецкое п/о «Азот»</i>			
Усреднители ФХО I, II и III очереди	усреднение стоков по концентрациям загрязнений	А	В – Iг
Отстойники ФХО I, II и III очереди	осветление стоков	В	П – III
Сооружения БХО:			
– усреднители	усреднение стоков на БХО	Д	
– первичные отстойники		Д	–
– аэротенки	биологическая обработка стоков	Д	–
– вторичные отстойники		Д	–
Метатенки	обработка осадка	А	В – Ia

Наименование сооружения	Технологические процессы, происходящие в очистном сооружении	Классификация сооружений	
		категория по НПБ	класс взрыво- и пожароопасных зон по ПУЭ
<i>Тольяттинский завод СК</i>			
Полимерловушки	очистка стоков от химзагрязнений	А	В – Iг
Усреднители промстоков	выравнивание концентраций ингредиентов стоков	А	В – Iг
Первичные отстойники промстоков	отстаивание и очистка промстоков от загрязнений	В	П – III
Сооружения БХО: – аэротенки	биохимическая обработка стоков осветление стоков	Д	–
– вторичные отстойники		Д	–
Сооружения блока доочистки		Д	–
Метатенки	обработка осадка	А	В – Ia
<i>4. Канализационные очистные сооружения предприятий железнодорожного транспорта</i>			
<i>а) Очистные сооружения вагонных и локомотивных депо, вагоноремонтных и локомотиворемонтных заводов</i>			
Песколовки	очистка стоков от механических примесей	Д	–
Отстойники и нефтеловушки	очистка стоков от нефтепродуктов	Д	–
Флотаторы	удаление эмульгированных нефтепродуктов	Д	–
Сооружения БХО	биологическое окисление растворенных загрязнений	Д	–
<i>б) Очистные сооружения шпалопропиточного завода</i>			
Песколовки и нефтеловушки	очистка стоков от нефтепродуктов и механических примесей	В	П–III
Сооружения доочистки	доочистка стоков	Д	–
<i>в) Очистные сооружения промывочно-пропарочной станции</i>			
Песколовки и нефтеловушки	очистка стоков от механических примесей и нефтепродуктов	А	В–1г
Сооружения БХО	биоокисление растворенных загрязнений	Д	–

ЛИТЕРАТУРА

1. Обухов Е.С. Аварии канализационных коллекторов и борьба с ними / Е.С. Обухов. М.: Госстройиздат, 1939. 116 с.
2. 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.
3. 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.

4. Пчелинцев В.А. Взрыво- и пожароопасность канализационных очистных сооружений некоторых предприятий промышленности стройматериалов / В.А. Пчелинцев, С.А. Хаскин, Б.Н. Яковлев // Проектирование водоснабжения и канализации: реферативная информация / ЦИНИС Госстроя СССР. М., 1977. Вып. 4 (110). С. 1-4.

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. Саратов: СПИ, 1979. С. 38-43.

6. Хаскин С.А. Рекомендации для проектирования сооружений канализации предприятий нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности с учетом требований взрывной, взрывопожарной и пожарной безопасности / С.А. Хаскин, Б.Н. Яковлев // Инженерное обеспечение объектов строительства: экспресс-информация. М., 1983. Сер. 53, вып. 5. С. 13-17.

7. Яковлев Б.Н. Взрывная, пожарная и экологическая опасность канализационных очистных сооружений: монография / Б.Н. Яковлев. Саратов: СГТУ, 2001. 104 с.

8. Яковлев Б.Н. Методика оценки взрывной и пожарной опасности канализационных очистных сооружений / Б.Н. Яковлев // Вестник СГАУ. 2004. № 2. С. 27-28.

9. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. НПБ 105-95. М.: ГУГПС МВД России, 1995. 25 с.

10. Правила устройства электроустановок. 6-е изд., испр. и доп. СПб.: ДЕАН, 2001. 928 с. (Безопасность труда в России).

Яковлев Борис Николаевич –

кандидат технических наук, доцент,

заведующий кафедрой «Эргономика и безопасность жизнедеятельности»

Саратовского государственного технического университета

ГУМАНИТАРНЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА

УДК 65.01

Т.М. Баландина

РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ КУЛЬТУРЫ НА РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Проанализированы различные теоретические взгляды на организационную культуру, определены ее уровни и структура, раскрыты критерии ее развития, определены параметры оценки. Проводится диагностика организационной культуры в процессе внедрения социального проекта развития организации.

T.M. Balandina

RUSSIAN ENTERPRISES ORGANIZATIONAL CULTURE DEVELOPMENT

The article focuses on various theoretical and organizational culture of enterprises, analyses, determines its levels and structures, reveals the criteria of its development and estimation parameters. Organizational culture is studied during a social development of the organization project which shown here as well.

Современная социология представляет организационную культуру как важнейший фактор эффективного функционирования организации. Теоретики и практики отмечают, что культура организаций и их объединений становится важнейшим направлением целевого социального менеджмента и объектом исследования социологической науки в целом.

Сама концепция организационной культуры (Corporate Culture) была обобщена и систематизирована в США в 80-е годы XX века. Начиная с конца 70-х годов XX века, классические теории социального управления явно заходили в тупик. Преодоление кризисных явлений в практике управления организационными системами зарубежные социологи и менеджеры видели в становлении концепции организационной культуры, корпоративной культуры, культурных ценностей организации, культурного капитала организации.

Методология исследования культуры организации в научных источниках представляется по-разному. В самых общих чертах методологическая традиция анализа организационной культуры развивается в трех направлениях. Первое направление – символическое (О. Виханский, Е. Грофман, А. Кравченко, М. Магура, А. Наумов, В. Спивак, М.

Суховарова, И. Тюрина, Д. Шустерман, П. Шихерев). В рамках данного направления организационная культура – это специфический вид норм, ценностей, убеждений, обычаев, символов и манер поведения, характеризующих способ сотрудничества групп и индивидумов в рамках организаций. Общий методологический подход к организационной культуре здесь строится на положении, согласно которому организационная культура проявляется прежде всего в виде символов (идей, верований, ценностных моделей, стилей поведения и т.д.), опосредующих социальные отношения в организации. Культурная принадлежность организации в рамках данных теорий связана с усвоенными целями, нормами поведения, языком, идентификацией.

Второе направление – функциональное (С. Арджирис, А. Швейцер). В рамках данного направления организационная культура представляется в виде системных элементов, характеризующих историческое развитие организации как совокупности материальных, человеческих и духовных ценностей. Социальная оценка организационной культуры здесь осуществляется преимущественно исходя из соответствия ее параметров параметрам «нормального» состояния социальной системы организации. Параметры «нормального» состояния социальной системы организации разрабатываются исходя из достижения ее самодостаточности, равновесия, гармонического единства.

Третье направление адаптивное (С. Гиртц, М. Дуглас, Э. Шейн, Ю. Романова). В рамках данной парадигмы организационная культура определяется характеристиками деятельно-адаптивных процессов, происходящих внутри организации. Данные авторы подчеркивают, что организационная культура определяется совокупностью основных убеждений, сформированных самостоятельно, усвоенных или разработанных определенной группой по мере того, как она учится разрешать проблемы адаптации к внешней среде и внутренней интеграции. Они доказывают, что организационная культура разрешает два основных противоречия функционирования организации: агрессивность внешней среды и внутренней дезинтеграции. Поэтому, чтобы организация функционировала как единое целое, ей необходимо выполнять две основные функции – адаптация и выживание во внешней среде и внутренняя интеграция (интеграция рассматривается как процесс создания эффективных деловых отношений среди подразделений, групп и сотрудников организации, а также увеличение меры участия всех сотрудников в решении проблем функционирования организации).

Критически переосмысливая положения вышепредставленных научных школ, несложно заметить, что в современных условиях организационная культура представляет собой взаимообусловленный и взаимосвязанный системный элемент общественной культуры. Она проявляется в комплексе культурного пространства общества как совокупность материальных и социальных ценностей организации, специфического способа оценки окружающей действительности и стиля поведения членов организации.

Внешне организационная культура проявляется в виде коллективных базовых ценностей, норм, представлений, обретаемых группами организации в процессе формальных и неформальных отношений работников при выполнении профессиональной деятельности, обеспечения социальной внутренней интеграции организации, разрешении проблем адаптации к изменениям внешней социальной среды. В то же время глубинное социальное проявление организационной культуры предусматривает рассмотрение культурологического фундамента организации, то есть специфики деятельности человека как культурного феномена. В этой связи культура организации социально фиксируется в действии членов организации как первичных элементов социальной организационной системы. Социальное действие (независимо от того, носит ли оно внешний или внутренний характер, сводится ли к невмешательству или терпеливому приятию), имеет субъективный и объективный смысл. В то же время социальное действие проявляется прежде всего в виде символов (идей, верований, ценностных моделей, стилей поведения и т.д.), опосредующих социальные отношения в организации. Поэтому и социальные действия как организационная культура – это специфический вид норм,

ценностей, убеждений и манер поведения, характеризующих способ сотрудничества и действия групп и индивидуумов в рамках функционирования организаций. При этом организационная культура развивается исходя из системы социальных технологий и механизмов, стимулирующих, мотивирующих, планирующих и реализующих профессиональную деятельность работников организации.

Развитие организационной культуры уместно рассматривать в рамках многоуровневого ее проявления. Первооснова (поверхностное проявление) организационной культуры определяется артефактом организации – все не присущее природе, созданное человеком, и одновременно представляющее социальный или материальный элемент организации – все те феномены, которые можно увидеть, услышать и почувствовать при вхождении в организацию. Второй уровень организационной культуры: уровень потребностей, провозглашаемые ценности и идеалы – философия фирмы (девиз, мифы, символы), нормы и правила, лежащие в основе обыденных инструментальных принципов, которыми руководствуются члены организации [1].

Третий уровень организационной культуры: базовые ценности, принципы и представления, лежащие в основе конкретных действий членов организации, правила и нормы поведения сотрудников организации. Формирование ценностей, принципов, представлений и правил организационной жизни является прерогативой топ-менеджера в организации.

Четвертый уровень организационной культуры: мотивационные основы деятельности личностей и стиль поведения групп в организации (идентификация сотрудника с организацией, стремление и готовность к принятию идеалов организации, действовать в соответствии с ценностями организации). Данный уровень определяет рамки восприятия работником окружающей действительности, то, как он видит, воспринимает и реагирует на окружающую социальную среду, как считает правильным и неправильным поступать в различных ситуациях. В поведении выявляются изменения во внешних, наиболее видимых проявлениях культурных ценностей членов организации, раскрывается специфика стиля коллективной деятельности индивидов.

В практике инновационного управления организацией целевое развитие организационной культуры осуществляется в результате разработки и реализации внутриорганизационных социальных проектов культурного развития. Ведь именно социальное проектирование является средством инновационных социокультурных преобразований и культурной формой инновационных процессов в универсуме социальной системы.

Социальные проекты развития организационной культуры являются системными элементами кадровой политики организации, они представляют собой внутриорганизационную социальную технологию социокультурного развития организации. Разработка и реализация социальных проектов развития организационной культуры являются прерогативой топ-менеджеров организации. Одновременно здесь важна роль всего состава управляющих организации, состава службы управления персоналом организации. «Служба персонала фактически выступает в качестве своеобразного «мостика» между топ-менеджерами с их видением того, какие ценности следует поддерживать и укреплять в организации, и сотрудниками организации (в том числе линейными менеджерами), которые в своей деятельности уже усвоили для себя определенные стандарты поведения, взаимодействия, обучения» [2, с.56].

Развитие организационной культуры необходимо рассматривать в рамках ее вертикальных и горизонтальных параметров. Вертикальные параметры развития организационной культуры – это организационные ценности, нормы, представления, вырабатываемые руководством организации для осознания и обеспечения разделения их обобщенных представлений членами организации, достижения трансформаций и совершенства в различных проявлениях и сферах деятельности работников организации.

Горизонтальные параметры уровня развития организационной культуры характеризуют качество распространения, широту влияния и охвата вертикальных параметров. Гори-

горизонтальное проявление развития организационной культуры отражает воплощение вертикальных параметров организационной культуры в деятельности и поведении сотрудников в рамках организации, а также внутреннюю мотивацию сотрудников организации, побуждающую их к определенному стилю поведения. Развитие организационной культуры в конечном итоге проявляется в сфере организационного поведения членов организации, что, в свою очередь, может фиксироваться по нескольким направлениям: стиль управления организацией; поведение руководителя в организации; стиль группового поведения в организации; роль личного творческого потенциала в трудовой деятельности работника; возможности адаптации организации к изменениям внешней социальной среды; возможности внутренней социальной интеграции организации; эффективность деятельности организации.

Таким образом, основным движущим звеном развития организационной культуры является топ-менеджмент организации, который первоначально задумывает и разрабатывает новые вертикальные параметры субъективной культуры организации, а затем и внедряет данный проект, определяя горизонтальное обновление культурных ценностей. При этом конечным результатом развития организационной культуры являются прогрессивные изменения в системе коллективных базовых ценностей, норм, представлений работников, определяющих совершенствование их стиля поведения.

Рассмотрим проявление организационной культуры на российских предприятиях. В 2004 году группой социологов под руководством автора данной статьи проведено социологическое исследование организационной культуры на ряде предприятий Саратовской и Оренбургской областей. В ходе исследования применялся метод структурированного интервью (анкета «Организационная культура на российском предприятии»). Было проведено выборочное интервьюирование работников предприятий по городу Оренбургу (объем выборки 254 рабочих машиностроительного комплекса) и городу Саратову (объем выборки 338 рабочих строительного комплекса).

Более половины опрошенных не смогли четко раскрыть свою роль и место в организации. 19% по г. Оренбургу, 22% по г. Саратову связывают свою роль и место в организации с их обязанностью ежедневно выходить на работу. На вопрос о видении и миссии организации 86% опрошенных заявили о непонимании данных терминов, 12% подчеркнули знание данных терминов, но затруднились сформулировать видение и миссию предприятия, на котором они работают, 2% отождествили видение, миссию и цель своего предприятия. Больше половины общего состава опрошенных указывают на формальное отношение руководства к церемонии награждения сотрудников, внесших существенный вклад в ее развитие. Низкую удовлетворенность трудом усугубляет не только низкая оплата труда работников, но и излишняя директивность управления, отсутствие делегирования управленческих полномочий, а порой и некомпетентность управляющих среднего звена предприятий.

Анализируя результаты данного социологического исследования, несложно заметить, что за период реформ объективные условия для развития инновационной организационной культуры в России по-прежнему не созданы. Низкий уровень культуры в организациях отражает низкую заработную плату работников организации, социальную неэффективность функционирования общественного механизма инновационного развития, абсолютное отсутствие эффективных инструментов стимулирования инициативы, творчества, образовательного накопления человеческого капитала организаций.

Видение, миссия и стратегические цели организаций совершенно непонятны и неизвестны рядовым работникам организаций, а ряд целевых подходов известны сотрудникам организации из уже пройденного пути, в результате обсуждения проблем, недостатков, разрешения конфликтных ситуаций. Распределение ресурсов осуществляется вне консультаций с сотрудниками организаций, применяемые технологии не ясны и не осознаны работниками. В складывающихся социально-экономических условиях ни о каком эффективном стратегическом управлении и развитии организации не может идти речи. По причине отсутствия

единых ценностей, принципов, оценочных атрибутов, неясной технологии, отсутствия единого стиля поведения организации работали путем проб и ошибок, иногда обучаясь на них, а иногда повторяя снова и снова.

На большинстве предприятий управление развитием организационной культуры вообще не осуществляется, а там, где осуществляется, оно не имеет комплексного характера. В современных условиях необходимо внедрение новых принципов управления организацией как органической саморазвивающейся социальной системой, что определяют новые внутренние иерархические принципы: рост значения организационной культуры, общего специфического знания, умения и опыта; установление «реалистической» природы постановки индивидуальных задач работникам; предоставление права координации, уточнения и профессиональной доводки поставленных индивидуальных задач посредством взаимодействия с коллегами и партнерами; передача и оптимальное делегирование «ответственности» и управленческих прав в первичные организационные структуры; переход к сетевым управленческим структурам; введение принципа всеобщего участия в управлении; развитие горизонтальных управленческих связей за счет сужения вертикальных направлений коммуникации между людьми на разных должностях; новаторство, творчество, преданность организации, проявление высокой инновационной культуры труда; демократизация системного социального управления.

Сегодня нужен поиск демократичного стиля управления персоналом, который бы создавал условия раскрепощения, самостоятельности, творческой инициативы, интеллектуального новаторства. Современная система социального управления организацией должна базироваться на отрицании традиционного видения управления и контроля персоналом, которое характеризуется как управление, в основе которого заложена убежденность во врожденной человеческой склонности уклоняться от работы, принцип управленческой ориентации на необходимое принуждение и запугивание работников, жесткий внешний контроль за их трудовой деятельностью.

Общее социальное воздействие на развитие организационной культуры предприятий должно осуществляться государством через реализацию его управленческих функций. При этом процесс государственного воздействия на организационную культуру предприятий представляет собой многоуровневую сознательную и целенаправленную деятельность, связанную с реализацией властных полномочий, направленных как непосредственно на организацию, так и опосредованно через социальные механизмы, способствующие динамичному развитию культурных ценностей персонала отдельных организаций. Социализация как процесс передачи новым поколениям работников организации определенных ценностей, норм, правил поведения, знаний, стиля социальной профессиональной деятельности осуществляется в результате функционирования общественного механизма развития организационной культуры. На наш взгляд, непосредственный социальный механизм инновационного развития организационной культуры включает три взаимосвязанные и взаимообусловленные подсистемы: инновационно-образовательную подсистему внешней социальной среды; внутреннюю инновационно-образовательную подсистему целевого развития организационной культуры; конкретных работников организации, группы трудового коллектива, способные к творчеству, управленческой инновации, передаче положительного опыта трудового поведения.

Рассмотрим подробно компоненты механизма инновационного развития организационной культуры. *Первый компонент механизма* инновационного развития организационной культуры отражает культурно-образовательную подсистему внешней социальной среды организации. Данная система включает в себя: научную и образовательную системы общества; внешние центры социального и управленческого консалтинга; государственные инновационные компании. Первая подсистема данного компонента механизма – научная и образовательная системы общества. Научная и образовательная системы общества – наиболее динамичная сфера социальных общественных институтов, формирующая обще-

ственное, коллективное и индивидуальное сознание, она определяет на макроуровне ценности, нормы, стили поведения, исходя из общих целей и конкретных задач общественного развития. Общественные образовательно-воспитательные структуры воплощают идеи, генерирующиеся в научном общественном секторе, они являются базисом социализации населения, предопределяющим культурное развитие общества на далекую перспективу. По сути, образовательная система отображает общество и его организационные первичные звенья в миниатюре, выступая моделью социальной системы будущего, одновременно механизмом отбора, селекции, обучения статусным культурам. Вторая подсистема первого компонента механизма – независимые центры социального и управленческого консалтинга. В современных условиях уже обращение к внешней системе консультирования считается не последним средством в создании условий эффективного функционирования предприятия, а представляет собой фактор постоянного взаимодействия с целью повышения эффективности достижения социально-культурных стратегических целей. Постепенно, в целом на преуспевающих предприятиях с сильным руководством регулярное обращение к внешним консультантам по вопросам управления становится нормальной практикой. Опыт показывает, что даже сильные и крупные организации разрабатывают большинство социальных проектов и программ при помощи внешних менеджеров-консультантов. Высший менеджмент предприятия в условиях постоянного повышения изменчивости внешней и внутренней социальной среды организации вынужден все чаще сотрудничать с внешними консультантами. Данное сотрудничество может иметь различную конфигурацию отношений: договорные отношения на исправление ситуации (задача на исправление); договорные отношения на улучшение существующей ситуации (задача на усовершенствование); договорные отношения на разработку и внедрение инновационного проекта (задача на создание). Инновационное накопление управленческих идей консультативными организациями осуществляется как результат узкой управленческой специализации их деятельности. Реалистичность оценки организационной культуры, выявление проблем ее изменения внешними социологами-консультантами осуществляется в результате введения фактора независимости и беспристрастности. Внешние профессионалы-социологи не связаны существующими традициями, влиянием сложившейся корпоративной культуры, ее представлениями и предпочтениями. Внешний социолог-консультант независим от отношений исследуемой организации, он не подвержен влиянию специфики ее внутренних взаимоотношений. Данные условия позволяют говорить, что внешний социолог-консультант, как правило, является узким высокопрофессиональным специалистом в области развития организационной культуры, он может дать независимый свежий взгляд специалиста на оценку организационной культуры, остается беспристрастным в ситуациях конфликта и внутренних неурядиц в организации.

Третья подсистема первого компонента механизма – государственные инновационные компании, управляемые непосредственно государством. Государственное регулирование развития организационной культуры осуществляется также через непосредственное управление государственными инновационными компаниями, что определяет воздействие на развитие культуры через реализацию инновационной политики государства. Социальная государственная инновационная политика направлена, в том числе, и на формирование социальных правил (норм), нормативных структур, ценностей, общности интересов широких слоев населения, соответственных стилей поведения. По сути, социальная инновационная политика концентрирует в себе социальные механизмы и социальные технологии управления развитием социальной культуры во всех формах ее проявления. Социальная инновационная политика осуществляется с помощью различных инструментов управления, социальных технологий (социальных методов, принципов, функций) и, как правило, является результатом реализации программных механизмов и способов, посредством которых исполнительная власть,

центральное и региональные правительства, а также органы местной власти влияют на жизнь населения через разработку и внедрение социально значимых инноваций.

Субъект государственного социального управления призван обеспечить взаимопроникновение и обогащение научно-образовательной культуры различных общественных уровней. Необходимо учесть, что научно-образовательная культура региона и частных организаций, как правило, формируется за счет достижений и накоплений научно-образовательной культуры общества в целом. Поэтому практика реализации социального управления развитием научно-образовательной культуры показывает, что комплексное и динамичное самостоятельное осуществление развития организационной культуры на уровне отдельной фирмы осуществляется в ограниченном виде. Здесь, как правило, осуществляется только одна из основных функций социального управления культурным развитием – внутриорганизационное планирование и внедрение стратегий развития организационной культуры и внутриорганизационное образовательное культурное развитие. Представленные выше факты еще раз свидетельствуют, что локомотивом развития организационной культуры являются научная и образовательная системы общества и их результативные трансформации в форме общественных образовательных социализаций, направленных на формирование организационной культуры инновационного типа. Именно инновационная деятельность представляет собой источник роста всякого общественного богатства, а также повышения качества материального и человеческого капитала.

Второй компонент механизма инновационного развития организационной культуры отражает внутреннюю инновационно-образовательную подсистему целевого развития организации. Система управления развитием организационной культуры на уровне отдельной организации включает в себя внутреннюю инновационно-образовательную подсистему целевого развития организации. На наш взгляд, в современных условиях проявляются следующие общие черты внутриорганизационного управления развитием культуры: внутриорганизационная система управления развитием организационной культуры должна приспосабливаться к изменениям внешней социальной среды; внутренний менеджмент вынужден управлять изменениями в культурной среде организаций через создание условий систематической социализации новых знаний, умений, навыков, совершенствование норм, ценностей, принципов поведения, социального самовозрастания инноваций, деятельной инициативы и творчества на каждом рабочем месте; внутриорганизационный менеджмент вынужден стремиться к целевому предотвращению разрушительных компонентов в культурной среде организации; управление вынуждено целевым образом воздействовать на развитие организационной культуры каждого уровня социальной системы организации; работники организации вовлекаются в планирование и управление развитием организационной культуры.

Третий компонент механизма инновационного развития организационной культуры – конкретные работники организации, группы трудового коллектива, способные к творчеству, управленческой инновации, передаче положительного опыта трудового поведения. Данный элемент механизма развития организационной культуры представляется конкретными работниками организаций, группами трудового коллектива, способными к творчеству и управленческой инновации. Способность работников к инновации, обучению ценностным ориентирам, инновационному стилю поведения, творческие научно-инновационные способности имеют важное значение в деле развития культуры организации. Одновременно необходимо отметить, что для успешного развития культуры в рамках взаимной социализации культурных ценностей работников важно не только наличие интеллектуально-творческих способностей у работников, важно также создание условий выгоды передачи инновационного опыта, стимулирование коллективных разработок, внедрения результатов инновационного творчества на каждом рабочем месте, в отдельных подразделениях, в деятельности организации в целом. Социально-культурные инновации должны и могут внедряться в рамках общего инновационного процесса и выделяться в отдельную структуру как в рамках специализированного центра социально-культурного разви-

тия организации, так и вне его. Невозможно связывать содержательные моменты инновационного обновления системы управления предприятия с функциями только управленческого труда.

Таким образом, социальный механизм развития организационной культуры определяет непосредственную культурную социализацию работников организации. Он интегрируется с помощью социального управленческого воздействия на научные, культурно-образовательные и консультативные структуры общества и отдельные его подсистемы. Важнейшим компонентом систем управления развитием организационных культур является комплекс государственного социального планирования и реализации развития духовной культуры общества как системы, а также процессы планирования и внедрения культурно-образовательной программы общественного развития. Основным движущим фактором механизма управления культурного развития в современных условиях является стимулирование инновационного творчества как в рамках непосредственного труда целевых формальных управленческих структур организаций, так и в рамках культурно-образовательной социализации, формирование системы инновационных ценностей, норм поведения, направленных на аккумуляцию и внедрение новаций. В основе государственного и муниципального управления развитием организационной культуры лежит развитие инновационных процессов культурного обновления общества. Основным движущим фактором данного управления является стимулирование инновационного творчества, роста интеллектуальной, образовательной и физической культуры личности. Процесс государственного управления развитием организационной культуры представляет собой многоуровневую сознательную и целенаправленную деятельность, связанную с реализацией властных полномочий субъектами управления, регламентированную юридическими нормами, действующими в обществе, вследствие чего происходят количественные и качественные прогрессивные изменения в организационных культурах предприятий, повышение результативности их функционирования, определяющее непосредственное совершенствование общественных состояний, событий и явлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шейн Э.Х. Организационная культура и лидерство / Э.Х. Шейн; пер. с англ. под ред. В.А. Спивака. СПб.: Питер, 2002. 336 с.
2. Староверов О. «Обучающийся» подход к развитию культуры организации / О. Староверов, О. Алехина // Управление персоналом. 2001. № 7. С. 56-62.

Баландина Таисия Михайловна –

кандидат социологических наук,
старший научный сотрудник кафедры «Экономическая социология»
Саратовского государственного социально-экономического университета

УДК 330.5

А.А. Белоусов

О НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИКОЙ РОССИИ

Рассматривается национальная безопасность России и выбор эффективной системы управления ее социально-экономическим развитием; методология формирования концепции двухполюсной системы управления социально-

экономическим развитием, как естественного и необходимого условия эффективного развития и функционирования экономики страны как целого.

A.A. Belousov

NATIONAL SECURITY AND RUSSIAN ECONOMY EFFECTIVE MANAGEMENT SYSTEM

Russia's national security and effective control system choice of its social economic development; the methodology of formation of the concept of genesis of a bipolar control system by social economic development of Russia as natural and necessary condition of effective development and functioning of a national economy as a unique country is considered here.

Под национальной безопасностью, как известно, понимается состояние защищенности жизненно важных интересов государства, общества и граждан. Стержнем национальной безопасности любой страны всегда была и остается экономика, поскольку экономические условия, как бы сильно на них ни влияли политические и идеологические отношения, являются, в конечном счете, решающими и образующими ту красную нить, которая пронизывает все развитие общества. Россия, в силу своего исключительно особого геополитического и геоэкономического положения, всегда была и будет яблоком раздора для развивающихся стран мира, о чем свидетельствует вся история ее развития: в XIII веке, когда Русь остановила, обескровила татар, Западная Европа через несколько лет «поблагодарила» ее вторжением в Новгородские и Галицкие земли; в 1812-1815 гг. Россия спасла Европу от наполеоновского порабощения, а через сорок лет та ответила ей высадкой объединенных англо-франко-турецких войск в Крыму; в 1914-1917 гг. Россия спасла союзников по Антанте, но Европа до сих пор ей напоминает о долгах; в 1941-1945 гг. СССР спас Европу от гитлеровского порабощения, а уже на следующий год после Победы получил «приглашение» к мощной гонке вооружений и новой войне – «холодной». Дело совершенно не в строе нашей страны или людях у власти, а в том, что в рыночной экономике действует постоянно мощная конкуренция. Запад четко знает, что потенциал России сопоставим с потенциалом всех развитых государств Запада, вместе взятых, и при ее потенциале, развернутом в полную мощь, конкурировать с ней не только трудно, но практически невозможно. Поэтому Запад устраивает только слабая Россия, так как он получает огромный источник сырьевых ресурсов, причем по демпинговым ценам и рынок сбыта для своей продукции по завышенным. Учитывая это, Россия в течение нескольких веков формировалась и развивалась, опираясь, в основном, на собственные силы, выдвигая на первый план интересы общества в целом, их приоритет над индивидуальными и своекорыстными, а характерной закономерностью макроэкономических процессов ее развития всегда были обязательный учет «человеческого капитала» в экономике и участие государства в ее регулировании. Все это отражало своеобразие исторической реальности развития России и менталитет населяющих ее народов и народностей и определяло политико-экономическую структуру российского общества, которая во все времена была направлена на укрепление отечественной экономики и обеспечение независимости российского государства от более развитых стран.

Сегодня во взаимосвязанном мире рыночных отношений, который постоянно меняется, мы видим, что неизменным остается закон, по которому сильный всегда вытесняет слабого: ориентация рыночной экономики России на западную поддержку и помощь ошибочна. Поэтому современный этап развития экономики России должен характеризоваться возрастающим требованием к эффективности применяемой системы управления экономикой страны как целого. При отсутствии разумной системы и идеологии управления социально-

экономическим развитием страны в рыночных условиях, был допущен ряд ошибок в управлении экономикой и обществом и не учтены современные тенденции развития рынка: любая рыночная модель реализуется под воздействием как экономических, так и внеэкономических факторов. Неправильно выбранная система управления при осуществлении реформ уже привела к кризису российской экономики и общества, к игнорированию специфики российской экономической мысли, которая во многом являлась самобытной и отвергала возможность установления гармонии интересов различных классов в обществе путем только одной свободной конкуренции. Взгляды российских экономистов на особенности национальной политической экономики и проблему ее государственного регулирования подтверждаются и зарубежными экономистами: Дж. Кейнсом, Дж. Гелбрейтом, Й. Шумпетером, П. Самуэльсоном, М. Фридманом, Дж. Соросом и др. Справедливость этих взглядов подтверждается присуждением Нобелевской премии по экономике осенью 2001 г. трем американским ученым – Д. Стиглицу, Д. Акерлофу и М. Спенсу, выступающим «за активное участие государства в регулировании экономики, в том числе и в рыночных отношениях». Закономерности и опыт развития мировой и российской экономики позволяют сделать вывод, что чистый капитализм перестал быть формацией, несущей человечеству прогресс. Об этом свидетельствуют смешанные экономики: доли централизованных расходов в % ВВП стран Запада ежегодно увеличиваются (табл. 1).

Таблица 1

Доля централизованных расходов ВВП стран Запада
с наивысшим уровнем макроэкономической централизации (в %)

Страны	1870 г.	1913 г.	1960 г.	1998 г.	1999 г.
Бельгия	–	13,8	30,9	49,4	51,1
Франция	12,6	17,0	34,6	54,3	55,8
Германия	–	14,8	32,4	46,9	50,2
Италия	11,9	11,1	30,1	49,1	51,3
Япония	–	8,3	17,5	36,9	39,1
Нидерланды	9,1	9,0	33,7	47,2	49,7
Великобритания	9,4	12,7	32,2	40,2	41,6
США	7,3	7,5	27,0	32,8	33,7

Источник: Total outlays OECD Economic Outlook Paris: Organization for Economic Cooperation and Development, 2000.

Таблица 2

Отношение зарубежных государств к естественным монополиям и их доля
от всей государственной собственности (в %)

Страна	Отрасль					
	Почта	Железные дороги	Телеграфная связь	Электроэнергетика	Газоснабжение	Водоснабжение
США	10	25-75	ок. 25	25-75	ок. 25	ок. 25
Япония	100	25-75	ок. 25	ок. 25	ок. 25	100
Германия	100	25-75	80	ок. 25	ок. 25	25-75
Франция	100	100	100	100	100	25-75
Великобритания	100	25-75	ок. 25	25-75	ок. 25	ок. 25
Канада	100	25-75	25-75	100	ок. 25	100
Италия	100	100	100	100	100	25-75
Швеция	100	100	100	25-75	Незначит	100
Испания	100	100	ок. 25	25-75	25-75	100

Голландия	25-75	100	25-75	100	25-75	100
Австралия	100	100	100	100	25-75	100

Источник: Студентов В.Б. Государственное предпринимательство: теория и практика / В.Б. Студентов // Общество и экономика. Вып. 3-4. М., 1997. С. 27.

Данные табл. 1 и 2 свидетельствуют об интенсивном участии государств в управлении экономикой и внедрении ими смешанных систем в управление экономическими процессами. В России, после приватизации естественных монополий, была нарушена государственность и целостность экономики страны. Современное руководство России (концепция Г. Грефа) предлагает полностью исключить государственное вмешательство в экономику, идя на полную приватизацию естественных монополий. Такие экономические реформы противоречат тенденциям мирового развития экономических процессов и проводятся в России без учета опыта развития экономики своей страны. Из истории России известно, что доход от государственных регалий, казенных предприятий и имуществ госбюджета с 1885 по 1913 г. вырос (в текущих ценах) более чем в 24 раза, при расширении масштабов госсектора, который в 1913 г. составил 60% от всей российской экономики [1] (табл. 3).

Таблица 3

Доля государственного сектора в доходах госбюджета Российской империи
1885-1913 гг. (в %)

Годы	Доля госсектора в доходах бюджета (%)
1885	10
1900	32
1905	45-50
1913	60

Источник: Лапина С.Н. Государственное предпринимательство в России (начало XX века) / С.Н. Лапина, Н.Д. Лелюхина // Вопросы экономики. Вып. 8. 1985. С. 68.

Фактическое отсутствие в настоящее время структурной политики и уход государства от регулирования национальной экономики обусловили искусственный механизм выгоды только сырьевых производств, сориентированных на экспорт, ведущий к убыточности и разрушению обрабатывающей промышленности, в то время, как специфические закономерности современного развития российской экономики порождают необходимость государственного регулирования естественных монополий, которые в современной российской экономике на многих промышленных рынках превратились в частные и остаются крупнейшими корпорациями кланового типа с неясными границами и непрозрачной внутренней структурой, «погруженными» в сложные отношения с государством. Реструктуризация таких корпораций и четкое определение правил их взаимодействия с государством возможны в новой системе управления, которая обязательно учитывает следующие закономерности и особенности формирования национальной экономики и обеспечивает наилучшее распределение ресурсов и мотивацию участников рынка для преодоления неизбежного конфликта интересов:

Первая. Практически во всех сферах жизнедеятельности российского государства в период XVI-XX вв. наблюдались черты, отличные от западно-европейского пути развития, а своеобразная кодификация отношений собственности в России наряду с сформированным духовным укладом народа привели к стойкому оформлению приоритета общего над личным, государственной собственности над частной и государственного порядка над свободой самовыражения личности. Во все кризисные периоды правительство России выходило из тяжелых состояний путем максимальной централизации управления ресурсами страны, покровительствуя отечественной промышленности и сельскому хозяйству. Отрасли, которые были в тот или иной момент определяющими для судеб страны, всегда становились казенными или

жестко регламентировались государством (исключая период 1928-1987 гг.). Правительство позволяло создавать новые производства частным предпринимателям, помогало или субсидировало их, защищало от конкурентов и создавало льготный налоговый режим. Но практически никогда не продавало частным лицам готовые, хорошо работающие предприятия, за исключением подлежащих закрытию и ненужных государству фабрик и заводов. Как только ситуация менялась к лучшему, правительство в той или иной форме принимало участие в работе предприятия, не говоря уже о косвенном участии путем регламентации правил игры. Успех промышленного развития России во многом состоялся именно потому, что правительство проводило политику сосуществования двух секторов экономики при сохранении весьма жесткого контроля над частными компаниями: к 1913 г. в Российской империи доля госсектора составляла 60%, а доля ВВП на душу населения в процентах к среднемировому – 96,7% [1]. Кроме того, правительство строило налоговую, финансовую и таможенную политику таким образом, чтобы было выгодно больше производить и честно торговать. Конец XIX и начало XX веков ознаменовались созданием в России крупных монополий, в которые входили частные и казенные предприятия. Правительство продолжало обеспечивать симбиоз двух форм собственности на базе поддержания эффективности госсектора за счет предоставления льгот национальным производителям и контроля за частными предприятиями. Особого поощрения иностранных инвесторов не проводилось, хотя у них была заинтересованность во вложении денег в растущую быстрыми темпами российскую промышленность. Образование монополий еще более структурировало систему управления: правительство в основном работало с ними, а работу с предприятиями органы управления монополий взяли на себя [2].

Вторая. Россия – самобытнейшая страна с великими духовными и социально-экономическими традициями. Из-за уникальных условий человеческой жизни государство получилось совсем не таким, как западно-европейские, хотя и проделало путь, очень сходный с тем, который прошли они. Мы – разные, и ничего нет удивительного, что взаимная неприязнь между русскими и Западом прошла через историю Европы. От огромного славянского населения на территории современной Германии осталось лишь маленькое племя сербов-лужчан. Петр Первый и другие государи времен Российской империи стремились «войти в Европу», а она их постоянно отторгала, часто весьма унижительным способом. Национальные интересы России могут быть защищены только в рамках развития как евразийского государства. Задача состоит не в том, чтобы механически «войти в Европу». Следует разумно использовать особенности нашей цивилизации и наш природный, экономический и человеческий потенциалы и стать равными ей партнерами. «Входить в Европу» следует на условиях, исключительно экономически выгодных для России, соизмеримых с ее богатейшими ресурсами.

Третья. В состав России вошли более сотни народов и народностей. Взаимодействие этнических энергий созидания на основе равноправного сотрудничества дало России величайший взлет науки, культуры, экономики, искусства, литературы и техники. Несмотря на спорное создание Российской империи, история свидетельствует, что именно объединение народов выступало очагами оживления и распространения торговли, экономики, промышленности и т.д. Духовные, экономические и социальные корни исторического развития российских этносов были объективными потребностями и спецификой искренне заинтересованных в налаживании нормального человеческого сожительства народов. Этого нельзя не учитывать в развитии экономики России как целого, так как процесс происходил в стране непрерывно и чаще независимо от разного рода идеологических и политических режимов.

Четвертая. Как только в стране усиливалась прозападническая ориентация, Россия входила в полосу распада и гражданских конфликтов. И, напротив, – при возвращении к своей евразийской сути возрастала соборность России и ее земель, расширялось экономическое пространство, укреплялось ее единство и достаточно устойчиво развивалась экономика страны.

Перечисленные закономерности и особенности российского государства формировали менталитет русского народа, творческую русскую идею и крупный хозяйственный субъект, стремившийся реагировать на развитие необходимых отраслей хозяйства в разных регионах России. Опора на собственную экономику и силы не раз подтверждала эту истину и спасала Россию.

Анализ фактического состояния современной экономики России по данным МВФ и Центра развития за 10 лет показывает, что среднегодовые темпы развития экономики России намного ниже средних темпов развития экономик стран мира (табл. 4).

Таблица 4

Удельный вес стран в мировых показателях (в %)

Страны	ВВП в текущих ценах		ВВП по ППС		Экспорт		Импорт	
	1991 г.	2001 г.	1991 г.	2001 г.	1991 г.	2001 г.	1991 г.	2001 г.
США	25,18	32,88	20,93	21,31	12,04	12,35	14,04	19,33
ЕС, в том числе Португалия	30,14	25,40	22,14	19,82	42,52	35,28	43,62	34,32
Япония	14,65	13,36	8,89	7,28	8,98	7,58	6,55	5,83
Китай	1,71	3,73	6,42	12,03	2,05	3,94	1,76	3,17
Россия	3,38	1,00	5,26	2,62	1,32	1,66	1,20	0,76

Примечание: мировой объем внешней торговли не включает экспорт и импорт товаров внутри ЕС. Источник: World Economic Outlook UNCTAD, расчеты Центра развития 2002 г.

Из табл. 4 видно, что Россия по объему ВВП за 10 лет реформ не вышла на уровень 1990 г., а трансформационный кризис 1990-х качественно изменил место страны в мире, отбросив российскую экономику далеко назад при износе фондов основного вида деятельности промышленности по состоянию на конец 2001 г. более 60%.

По-прежнему и жизненный уровень населения России ниже допереходных значений и продолжает падать (табл. 5): относительный уровень ВВП страны на душу населения (США=100%) в текущих ценах составил: 1991 г. – 22,8%; 2001 – 5,8%. По паритету покупательной способности (ППС): 1991 г. – 42,8%; 2001 г. – 23,6%. Отношение ППС к обменному курсу в 1991 г. составляло 0,53%, а в 2001 г. – 0,25% [3].

Таблица 5

Среднегодовые темпы роста ВВП в 1991-2001 гг.

Страны	Среднегодовые темпы роста РВП
США	+ 3,2%
Новые индустр. страны Азии	+ 5,8%
Развивающиеся страны Азии	+ 7,2%
РОССИЯ	- 3,9%

Источник: World Indicators, WB, Центр развития. Июль. 2002 г.

Это реальные показатели, оценивающие реальную обстановку и тенденцию развития экономики стран мира и России за время реформирования (1991-2001 гг.). Трансформационный кризис 1990-х гг. качественно изменил и место России в мире, отбросив российскую экономику далеко назад: вклад России в мировой ВВП сократился с 3,4% в 1991 г. до **1%** в 2001 г.; по паритету покупательной способности (ППС) – с 5,3 до **2,6%**; уровень душевого дохода в России в 2001 г. составил **около 5,8%** от уровня в США и Россия заняла **78-е место**

среди 175 стран по статистике МВФ, пропустив вперед такие страны, как Бразилия и Польша. Падение продолжается. Динамика ВВП России на душу населения относительно ведущих стран мира в 1913-2003 гг. показана в табл. 6.

Исследование подтверждает, что только учет закономерностей, характерных для экономики России, в сочетании с регулируемой государством эффективной экономической политикой поэтапного вхождения в мировое хозяйство, направленной на формирование своего стабильного внутреннего рынка, прогрессивную структурную перестройку всего хозяйства страны, его технико-технологическую модернизацию и т.д., т.е. все, что составляет специфику российской экономики, позволит сохраниться России как великой державе.

Таблица 6

Динамика ВВП России на душу населения относительно ведущих стран мира (1913-2003 гг.)

Годы	Место России по ВВП на душу населения
1913	23
1985	5-6
1998	44
2001	78
На начало 2004	81-84
Прогноз: 2015	94-95

Источники: World Indicators, WB, июнь 2004 г. Мартынов В.А. Мир на рубеже тысячелетий (прогноз развития экономики до 2015 г.) / В.А. Мартынов, А.А. Дынкин. М.: Издат. дом «Новый век», 2001. 592 с.

С научной и практической точек зрения сегодня для России просматривается следующий стратегический выход из сложившегося положения: сочетание положительных опытов рыночной экономики капитализма (децентрализованной) и экономики социализма (централизованной), обеспечивающих эффективность новых механизмов хозяйствования, снимающих взрывоопасное напряжение в обществе и обеспечивающих эффективное развитие экономики России как целого с учетом ее природных богатств и специфических особенностей, присущих только ей. Такое сочетание обеспечивает двухполюсная система управления развитием экономики России как целого, состоящая из двух блоков (полюсов): блока развития (торговый капитал и социально ориентированная рыночная экономика) и блока жизнеобеспечения (естественные монополии, находящиеся в системе государственного управления). В этой системе естественные монополии, т.е. электроэнергетика, топливно-энергетический комплекс, железнодорожный, водный и воздушный транспорт, связь, газо-нефтепроводы, порты и воздушные линии сообщения, коммунальное и водное хозяйство, ВПК и т.д., по существу представляют федеральную экономическую инфраструктуру и составляют фундамент экономики государства [4]. Значение слова «полюс» здесь рассматривается как «что-либо одно, совершенно противоположное другому» [5], т.е. свободная (либеральная) экономика (один полюс) противоположна регулируемой (управляемой) экономике государством (другой полюс) (рис. 1).

Практическая реализация идеи двухполюсной системы управления социально-экономическим развитием была осуществлена в СССР во время НЭПа (1922-1928 гг.), в США во время Великой американской депрессии (1929-1933 гг.) и современном Китае, который за два с половиной десятилетия сумел увеличить в 20 раз объем производства, в 6 раз ВВП и в несколько раз уровень благосостояния своего народа (ВВП на душу населения увеличился в 4,4 раза) [6], а ВВП России за этот же период сократился более чем в два раза (рис. 1), требует научного обоснования целесообразности разработки концепции и ее внедрения в современное развитие экономики России как целого.

Все это подтверждает, что системы свободного рынка и директивной экономики на рассматриваемом этапе жизни изжили себя (убедительные доказательства тому – Великая депрессия 30-х годов в США и распад экономики СССР в начале 90-х годов XX столетия). На смену этим формам в большинстве стран мира пришла система экономического управления, разумно сочетающая полюса рыночных и государственных методов регулирования в смешанных экономических системах (СЭС).

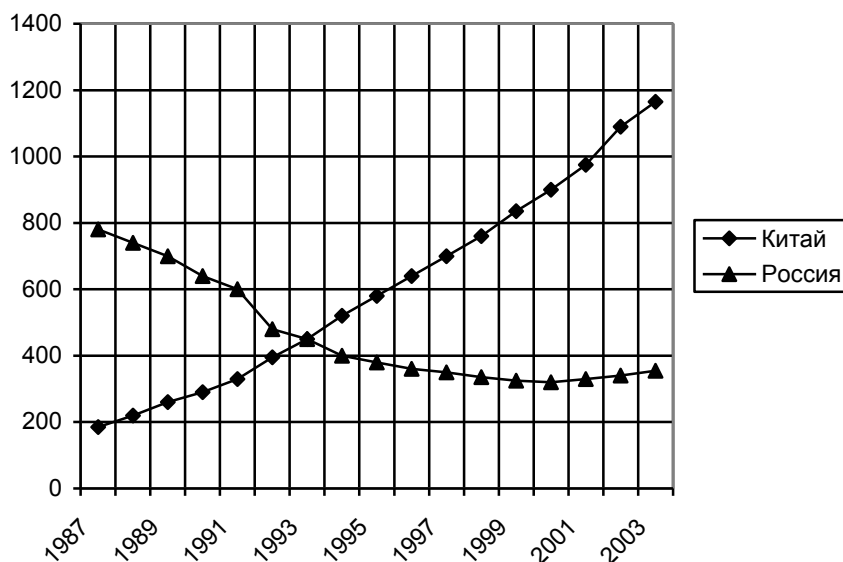


Рис. 1. Динамика ВВП России и Китая (млрд. долл. США в ценах 1987 г.)

Источник: Statistikal Information and Management Analysis (SIMA) database. 2004.
Использованы данные статьи Стиглица Дж. Куда ведут реформы? // Вопросы экономики. 1999. Вып. 7. С. 5.

В основу предлагаемой автором двухполюсной системы управления социально-экономическим развитием России положена научная методология, которая сформировалась в процессе перехода от познания сущности экономических законов к их использованию и разработки на этой основе принципов, методов и механизма управления, направленных на устранение противоречий, возникших в результате нарушения требований экономических законов соответствия развития производительных сил и производственных отношений; законов, регулирующих гармонию производства и распределения материальных благ, а также и других законов: конкуренции монопольного и антимонопольного регулирования, расширенного воспроизводства, экономии времени и опережающих темпов роста продуктов труда над заработной платой, социальной и правовой справедливости и др. Все это, в конечном счете, направлено на сбалансированность социально-экономического развития страны, развитие экономики страны как целого и преодоление антагонистических и неантагонистических противоречий по удовлетворению совокупных потребностей общества РФ в новой двухполюсной системе управления (рис. 2).

Рассматриваемая двухполюсная система управления социально-экономическим развитием России (ДСУ) удовлетворяет требованиям современных СЭС и представляет собой процесс целенаправленного и одновременного непрерывного воздействия на эффективное функционирование финансовых систем естественного монополизма (блок жизнеобеспечения) и торгового капитала (блок развития и социально ориентированная рыночная экономика), а также обеспечивает непрерывный рост благосостояния подавляющего большинства населения страны в условиях внешней и внутренней ее безопасности. **Целью внедрения но-**

вой системы является поворот от экономики и финансов, ориентированных на собственную прибыльность небольшой части населения страны, к экономике и финансам, обеспечивающим интересы природы и общества. В новой системе два эффективно работающих и конкурирующих полюса: государственный и рыночный, соотношение и влияние которых меняется в зависимости от состояния экономики, исключают идеологическое противостояние: либо частный, либо государственный. В соответствии с теорией проф. Г.К. Семина, в которой R – мера подавления неопределенности системы, и H – энтропия – мера бесструктурности системы, существует закон сохранения: $H+R=\text{const}$, как частный случай закона сохранения энергии. В более широком смысле в природе действует закон сохранения субстанции: $A+B=1$ или $A+B=100\%$, где A и B – бинарные (двухполюсные) компоненты некоего единства. Если принять: $R=1-H$ и $R=H^{P+1}$, где P – числа натурального ряда, то после некоторых преобразований получим: $H^{P+1}+H-1=0$ или $R^{P+1}+R-1=0$, что соответствует двум видам структурных связей – детерминированным и стохастическим [7]. Поэтому влияние конкурирующих полюсов – государственного и рыночного, для эффективного регулирования государством экономики страны, должно находиться, по расчетам проф. Г.К. Семина, в пределах от 60 до 30%. Учитывая опыт развития нашей страны, которая в 1913 году на пике своего экономического развития имела соотношение: 60% государственного (централизованного) и 40% рыночного (децентрализованного), автор считает, что это соотношение является наиболее оптимальным на первом этапе формирования ДСУ.



Рис. 2. Методология формирования новой двухполюсной системы управления развитием экономики России как целого

Исследования российских ученых подтверждают, что, несмотря на огромные разрушения экономики за годы реформ, Россия пока еще остается богатой страной. Ее природно-ресурсный

потенциал примерно в 2 раза больше США, в 5-6 раз – Германии и в 18-20 раз – Японии. Чистая ежегодная народно-хозяйственная прибыль в России сегодня составляет более 80 млрд. долл. [8]. Совокупный доход общества является функцией трех обобщающих параметров: труд, капитал, рента. Расчеты показывают, что, в отличие от многих других стран, основной вклад в прирост непосредственной (чистой) народно-хозяйственной прибыли в России вносит не труд и не капитал, а **рента**. И это главная особенность российской экономики (табл. 7).

Таблица 7

Вклад факторов производства в прирост дохода России и объем налоговых поступлений в государственный бюджет

Факторы производства	Вклад в прирост дохода России, %	Доля в налоговых изъятиях, %
Труд	5	70
Капитал	20	15
Рента	75	15

Источник: Расчеты академика Д. Львова // Экономика. 2000. Вып. 2. С. 51-55.

По расчетам и прогнозу автора, в двухполюсной системе управления экономикой России по факторам производства можно сбалансировать, как показано в табл. 8.

Таблица 8

Вклад факторов производства в прирост дохода России и объем налоговых поступлений в государственный бюджет страны в новой ДСУ (в %)

Факторы производства	Вклад в прирост дохода России, %	Доля в налоговых изъятиях, %
Труд	10	10
Капитал	40 40	40
Рента	50	50

Источник: Расчеты и прогноз автора.

Вывод: необходима национализация ренты, которая не противоречит принципу частной собственности, но без реализации которой переход страны к рынку невозможен. Двухполюсная система управления устраним такое несправедливое распределение и предусматривает баланс эффективного регулирования конкурирующих полюсов – государственного и рыночного в пределах 60 и 40% соответственно.

Для выхода из критического состояния необходимо выполнить следующее:

1. Руководству страны особое внимание акцентировать на экономической безопасности страны как на огромной ценности и важнейшей характеристике состояния общества и государства: направить природные ресурсы на удовлетворение, прежде всего, внутренних нужд государства, которому следует рассчитывать в основном на свои собственные силы и ресурсы.

2. Ввести налог в пользу малоимущих и бедных с лиц, получающих доход свыше определенных сумм, учитывая, что чем выше доходы, тем больше людей участвуют в их производстве. Для этого принять закон о дифференциации подоходного налога в соответствии с общепризнанным в мире назначением – выравнивать разрыв между богатством и бедностью, перераспределять доход от богатых к бедным и сделать его прогрессивным.

3. В кратчайшие сроки осуществить внедрение двухполюсной системы управления социально-экономическим развитием России, являющейся в настоящее время единственной, по мнению автора, и самой эффективной системой социально-экономического развития страны. Это не компромиссный выбор между капитализмом и социализмом. Это их синтез,

открывающий новые пути для развития государства, человека, общества, культуры и реальной свободы. У России, не раз спасавшей мировую цивилизацию, нет другого пути. Она **обязана встать** на этот путь развития, чтобы не потерять своей исключительности и целостности.

4. Восстановить престиж, величие и уважение страны в мире, подчинив решение первостепенных задач развитию российской экономики как целого и преодолению кризиса, используя собственные ресурсы и возможности страны, которых, при разумно организованном управлении, достаточно для независимого автономного развития.

5. Восстановить престиж труда: если Россия – социальное государство, как записано в Конституции, то рост качества жизни, в первую очередь тех, кто трудится, должен стать критерием профессионализма власти, критерием эффективности системы управления и курса дальнейшего ее развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лапина С.Н. Государственное предпринимательство в России (начало XX века) / С.Н. Лапина, Н.Д. Лелюхина // Вопросы экономики. 1985. Вып. 8. С. 64-68.
2. Соколин Б. Кризис экономики России: рубеж тысячелетий / Б. Соколин. СПб.: Лики России, 1997. 350 с.
3. Клепач А. Экономический рост России: амбиции и реальные перспективы / А. Клепач // Вопросы экономики. 2002. Вып. 8. С. 4-20.
4. Скрышник В.И. Философия российской двухполюсной социально-экономической системы целостного гармоничного развития общества / В.И. Скрышник. М.: ВНИИЦ, 1997. 49 с.
5. Словарь русского языка. Т. 3. Изд. третье. М.: Русский язык, 1987. 748 с.
6. Илларионов А. Как тащить страну из «болота»? / А. Илларионов // Аргументы и факты. 2004. № 10. С. 3.
7. Скурлягин А. Великие экономисты у нас есть! / А. Скурлягин // Экономические стратегии. 2001. Вып. 6. С. 72-77.
8. Львов Д. Два образа экономики России / Д. Львов // Экономика. 2000. Вып. 2. С. 51-55.

Белоусов Алексей Арсентьевич –

кандидат исторических наук, профессор, проректор по учебно-методической работе Дальневосточного государственного технического университета

УДК 658.512:502.35

А.И. Бородин

ЭКОЛОГИЗАЦИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА КАК ОСНОВА СБАЛАНСИРОВАННОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИИ

Изложены подходы к экологизации общественного производства и экономического потенциала территории. Обоснован вывод о необходимости комплексной экологизации воспроизводственных процессов в регионе.

A.I. Borodin

ECOLOGIZATION THE SOCIAL PRODUCTION AS THE BASIS OF BALANCED DEVELOPMENT OF TERRITORY

The approaches to make public production and economic potential of a territory ecologically friendly were made in this article. The necessity in potation reduction is strongly motivated in this article.

Достижение экологически сбалансированного устойчивого развития в России и ее регионах обеспечивается проведением эколого-экономической политики, включающей: экологизацию общественного производства; формирование сбалансированной производственной структуры; включение экологического императива в инвестиционную политику, формирование рынка экотехнологий и экоуслуг; экологизацию институциональных образований; развитие экономических инструментов регулирования природопользования.

Целью работы является обоснование возможных путей экологизации общественного производства, исследование взаимосвязи между экологически сбалансированным развитием территории и экологизацией социально-экономических процессов.

Реализация на практике концепции экологически сбалансированного экономического развития предполагает преобразование существующих общественно-экономических отношений путем их экологизации. Большинство ученых экологизацию связывают с общественным производством. Так, в работе [1] под экологизацией экономики понимается «целенаправленный процесс преобразования экономики, направленный на снижение интегрального экодеструктивного воздействия процессов производства и потребления товаров и услуг в расчете на единицу совокупного общественного продукта».

Экологизацию общественного производства следует рассматривать через экологизацию составляющих его элементов – производительных сил и производственных отношений. Экологизация производительных сил предусматривает экологизацию основных факторов общественного производства – личного фактора, предметов и средств труда и экологизацию процессов взаимодействия этих факторов, – применяемых технологий, способов и методов организации производства, системы управления общественным производством и информационной системы.

Экологизация производственных отношений предусматривает экологизацию отношений человека с природой и экологизацию организационно-экономических отношений. Экологизация отношений человека с природой проявляется в процессах потребления и воспроизводства природных ресурсов, размещения отходов производства и потребления в природной среде.

Экологизация организационно-экономических отношений предусматривает экологизацию структуры общественного производства на данной территории и форм общественной организации труда – разделения и кооперации труда, специализации, концентрации и размещения производства. Экологизация социально-экономических отношений затрагивает отношения собственности по поводу владения, распоряжения и использования средств и результатов производства (см. рисунок).

Под экологизацией экономической системы территории понимается процесс целенаправленных преобразований в производительных силах и производственных отношениях территории, обеспечивающих снижение интегральной экологической нагрузки на природную среду региона и поддержание экологического равновесия. Экологизация экономической системы территории включает: экологизацию структуры потребления в регионе, экологизацию структуры территориального производства, экологизацию экономического потенциала территории; экологизацию территориальной системы управления и социальной инфраструктуры.

В рыночной экономике потребности человека являются главной движущей силой общественного развития и в первую очередь производственной системы. Все расширяющиеся потребности человека стимулируют развитие производства, но его результатом в конечном итоге являются отходы производства и потребления, истощение природных ресурсов и загрязнение природной среды. Поэтому анализ структуры потребления в регионе на предмет её экологичности является начальным этапом экологизации экономики региона в целом. Потребности человека объективны, они определяют необходимость в материальных и духовных благах для обеспечения его жизнедеятельности. При этом потребности подразделяются на два вида: производственные, реализующиеся в виде средств производства, и личные, удовлетворяющиеся через предметы потребления. Потребность в средствах производства определяется потребностью в предметах потребления. Поэтому под экологизацией структуры потребления понимается отказ от тех товаров и услуг, использование которых нарушает экологическое равновесие на данной территории и является экодеструктивным фактором для смежных территорий.



Структурно-логическая схема экологизации общественного производства

Экологизация потребления может осуществляться в следующих формах:

а) потребление экологически чистых товаров, не оказывающих вредного воздействия на человека и объекты его хозяйствования. Например, потребление экологически чистых видов сельскохозяйственной продукции способствует повышению спроса на них, увеличивает предложение, уменьшает потребность в минеральных удобрениях и средствах защиты, это снижает экологическую нагрузку при производстве этих веществ и их использовании;

б) отказ или уменьшение потребления товаров и услуг, производство которых по всей цепи связано с экодеструктивным воздействием, при этом сам товар или услуга не являются экологически опасными для человека и природной среды;

в) отказ или уменьшение потребления товаров и услуг, использование которых оказывает негативное воздействие на природную среду. Например, отказ от применения инертного газа фреона, т.к. он способствует уменьшению озонового слоя, отказ от применения пестицидов и инсектицидов, которые загрязняют почву и являются угрозой для животного мира и т.д.;

г) отказ от использования товаров, производство которых повышает экологическую нагрузку в регионе сверх допустимого уровня;

д) формирование экологических потребностей, которые в свою очередь можно разделить на три группы:

- создание средств защиты окружающей природной среды от техногенного воздействия;
- создание технологий, обеспечивающих снижение потребления природных ресурсов и образования отходов производства;
- создание новых видов продукции, обеспечивающих экологизацию всех стадий жизненного цикла изделия.

В то же время экологизация потребностей на данном этапе общественного развития не может полностью решить проблему эколого-экономической сбалансированности, т.к. производство экологически чистых товаров прямо или косвенно будет связано с потреблением природных ресурсов, средств труда и предметов труда и образованием отходов. Кроме того, производство экологически чистых товаров не всегда может быть обеспечено действующими мощностями. Поэтому на сегодня актуальной задачей является экологизация самой производственной системы территории.

Объектом экологизации в производственной системе являются факторы, оказывающие прямое или косвенное влияние на процессы потребления природных ресурсов, образование отходов и поступление их в окружающую среду. К таким объектам можно отнести:

- научно-техническую информацию, производимую или используемую на предприятиях, которая содержит сведения об экологических последствиях тех или иных научных идей, изобретений, рациональных предложений и т.п.;
- технологические решения, в наибольшей степени влияющие на решение задач экологизации, т.к. именно от технологии зависят потребление природных ресурсов, образование отходов, возможности их утилизации;
- средства труда: машины, оборудование, инструменты, которые влияют на потребление природных ресурсов, возникновение и улавливание отходов производства. В частности, рабочие и силовые машины и оборудование, технические средства для защиты природных систем и человека, повышения их устойчивости к воздействию экодеструктивных факторов;

– производимую продукцию основного и вспомогательного производств. Экологизация продукции производится в направлении снижения природоемкости и отходоемкости при её производстве, эксплуатации и утилизации;

– организацию производства, в частности, способы и методы организации взаимодействия рабочей силы, предметов и средств труда во времени и пространстве. От этих факторов зависят ресурсоемкость производства, возникновение отходов, соблюдение технологической дисциплины;

– систему управления производством, которая является одним из основных объектов экологизации, т.к. от нее зависят экологизация всех перечисленных факторов, формирование экологически ориентированного отношения к труду и его мотивации. Экологизация системы управления осуществляется путем интеграции природоохранных функций и функций системы территориального управления.

В качестве форм экологизации производственных систем территории, обеспечивающих сбалансированное функционирование природной и экологической подсистем, можно предложить следующие:

1) создание и внедрение технических средств и технологий средозащитного характера, которые предотвращают попадание вредных веществ в окружающую среду или уменьшают их вредное воздействие на элементы природной среды. Экологизация на основе принципа «конца трубы» неперспективна, хотя и остается наиболее распространенным направлением в настоящее время. По мере повышения коэффициентов очистки выбросов и стоков затраты возрастают в геометрической прогрессии. Кроме того, данное направление не обеспечивает снижения ресурсоемкости производимой продукции;

2) создание средств и технологий, уменьшающих потребление природных ресурсов и образование отходов производства. Это наиболее перспективное направление экологизации производственных систем, в то же время оно не затрагивает показателей природоемкости и отходоемкости таких стадий жизненного цикла, как потребление и утилизация;

3) экологизация жизненного цикла изделия, охватывающая в комплексе этапы разработки, производства, эксплуатации и утилизации по аналогии с циклами кругооборота вещества и энергии в природе.

Значительные резервы обеспечения сбалансированности в развитии экономики и сохранении природной среды связаны с экологизацией экономического потенциала территории.

Можно предложить следующее определение экономического потенциала территории как «совокупной возможности экономических субъектов определять, формировать и максимально удовлетворять потребности в процессе рационального использования производственных ресурсов и сбалансированного взаимодействия с окружающей природной средой». В этом определении увязываются три характерные черты экономического потенциала – ресурсы, условия их использования и получаемые результаты. В то же время экономический потенциал не может рассматриваться абстрактно, он должен относиться к тому или иному экономическому субъекту или уровню управления. Отсюда можно выделить экономический потенциал предприятия, объединения, промышленного узла или территориально-производственного комплекса, административной территории, региона, экономического района или страны в целом [1].

В общем случае величина экономического потенциала данной территории определяется особенностями размещения природных ресурсов, объектов производства, производственной и социальной инфраструктуры, расселением населения, географическим расположением территории и системой её внешних связей.

Реализация экономического потенциала в значительной степени зависит от оптимального сочетания отдельных видов экономических ресурсов, вовлеченных в общественное производство, уровня организации производства и труда, эффективности системы управления территориями.

Экономический потенциал территории представляет собой сложную иерархическую и по характеру взаимосвязей во многом стохастическую систему. Исходя из системного подхода, можно выделить следующие структурные элементы экономического потенциала, которые формируют потенциалы более низкого уровня.

Производными природного потенциала являются природно-ресурсный, природно-климатический и экологический потенциалы территории. Природно-ресурсный потенциал территории представлен разведанными и учтенными запасами минерально-сырьевых и энергетических ресурсов, почвенно-земельными, водными, биологическими ресурсами, которые вовлечены или могут быть вовлечены в хозяйственную деятельность региона. Экологизация этого вида потенциала заключается в:

а) ограничении экстенсивного использования природных ресурсов. Для невозобновимых природных ресурсов (нефть, газ, уголь и т.д.) это ограничение определяется соотношением темпов их вовлечения в хозяйственный оборот с темпами роста валового регионального продукта. Для возобновимых природных ресурсов это ограничение определяется соотношением темпов использования их с темпами воспроизводства в количестве и качестве;

б) увеличении интенсивного использования природных ресурсов (повышение ресурсоотдачи). Это достигается путем повышения плодородия почв, увеличением продуктивности лесного, рыбного хозяйства и т.д. Данное направление экологизации позволит уменьшить экстенсивное использование природно-ресурсного потенциала при сохранении уровня потребности в природных ресурсах;

в) замене невозобновимых природных ресурсов на возобновимые, а также в восстановлении и рекультивации ранее нарушенных природных ресурсов, их увеличении для обеспечения потребностей будущих поколений.

Природно-климатический потенциал территории определяется природными условиями и рельефом местности. Учитывая естественный характер природно-климатического потенциала, возможности его экологизации ограничены.

Экологический потенциал территории определяется возможностями окружающей природной среды ассимилировать, нейтрализовать вредные вещества, самовосстанавливать количественные и качественные характеристики элементов природной среды, обеспечивать биоразнообразие и поддержание экологического равновесия. Экологический потенциал территории в наибольшей степени определяет возможности наращивания экономического потенциала территории без нарушения сбалансированности эколого-экономических взаимодействий. Экологизация данного вида природного потенциала заключается в поддержании естественных процессов ассимиляции, самоочищения и самовосстановления и их интенсификации.

Производственный потенциал территории представлен элементами материально-технической базы производственной и непроизводственной сфер деятельности. Его величина характеризуется овеществленным капиталом отраслей экономики, уровнем территориального разделения труда, условиями, обеспечивающими эффективное функционирование производственных ресурсов территории.

Материально-технический и технологический потенциалы территории оказывают двойственное влияние на создание и поддержание экологически сбалансированного состояния экономики региона. С одной стороны, высокий уровень развития этих потенциалов способствует увеличению экологической нагрузки – увеличивается потребление природных ресурсов, возрастает количество отходов, размещаемых в окружающей среде, нарушается экологическое равновесие. С другой стороны, эти потенциалы способствуют созданию и внедрению экологичных видов сырья, материалов, топлива, энергии, машин и оборудования, ресурсосберегающих, малоотходных технологий и безотходных производств. В совокупности с научно-техническим, материально-техническим и технологическим потенциалы обеспечивают экологизацию всей экономики региона, одновременно экологизируя самих себя.

Для обеспечения сбалансированности необходимо экологизировать инвестиционный потенциал. Экологизация инвестиционного потенциала - это разработка и осуществление инвестиционных решений, обеспечивающих эколого-экономическую сбалансированность на данной территории. Экологизация инвестиционного потенциала может проводиться в двух направлениях: первое – это экологизация источников привлечения инвестиций в экономику региона, второе – это поиск путей и направлений осуществления экологических инвестиций.

Экологизация направлений инвестирования возможна в нескольких вариантах:

а) обязательное выделение в составе инвестиционного проекта средств на мероприятия по предотвращению роста экологической нагрузки или нарушений эколого-экономической сбалансированности на данной территории;

б) инвестиции в экологическое предпринимательство: разработку и производство товаров и услуг экологического назначения с определенным уровнем рентабельности;

в) инвестиции в мероприятия по сохранению и увеличению ассимиляционного потенциала, самоочищающей и самовосстанавливающей способности окружающей среды. Рентабельность этих инвестиций обеспечивается соответствующим экономическим механизмом.

Существенное влияние на обеспечение эколого-экономической сбалансированности оказывает экспортно-импортный потенциал территории. Осуществление экспорта природных ресурсов истощает природно-ресурсный потенциал территории, увеличивает экологическую нагрузку через возникновение отходов первичной переработки природных ресурсов, нарушает эколого-экономическую сбалансированность в регионе. Осуществление импорта экологически несовершенной продукции, техники, технологий, сырья и материалов увеличивает отходы производства и размещение их в окружающей среде, что повышает уровень эколого-экономической несбалансированности. Импорт экологически чистой продукции вытесняет с территориального рынка экологически несовершенную продукцию, что уменьшает её производство на данной территории. Таким образом, экологизация экспортно-импортного потенциала обеспечивается сокращением ресурсно-экспортных операций и увеличением импорта экологически чистой продукции.

Структурный потенциал территории оказывает влияние на уровень эколого-экономической сбалансированности через удельный вес природоемких и отходоемких производств, сосредоточенных на данной территории. Экологизация структурного потенциала территории заключается в снижении удельного веса природоемких и экологически опасных и повышении доли природо- и ресурсосберегающих производств. Экологизировать структуру общественного производства в рыночных условиях хозяйствования возможно через экологическое лицензирование и систему экономических мер, делающих экологоемкие и природоемкие производства низкорентабельными.

Трудовой потенциал территории одновременно является средством экологизации экономики региона и объектом экологизации. Как средство экологизации трудовой потенциал реализуется через его производные потенциалы: этнокультурный, общеобразовательный, профессиональный, интеллектуальный. Как объект экологизации трудовой потенциал территории экологизируется на всех фазах его воспроизводственного цикла:

– в фазе формирования и развития – посредством экологически ориентированного воспитания, формирования мировоззрения, передачи широкого спектра знаний в области природопользования, убеждений в необходимости экологизации общественного производства, пояснении выгод экологизации и негативных последствий её отсутствия;

– в фазе использования трудового потенциала – посредством способности персонала предприятий интегрировать основную деятельность с природоохранной, внедрять экологические инновации, извлекать выгоду от производства и продажи экологичной продукции, формировать системы материального поощрения с учетом результатов экологизации производства.

В целях сбалансированного функционирования эколого-экономической системы региона следует осуществить экологизацию процессов взаимодействия структурных составляющих экономического потенциала. В этом случае экологизация экономического потенциала

будет не разовым мероприятием, а непрерывным процессом, обеспечивающим сбалансированное эколого-экономическое развитие территории.

Основой обеспечения экологически сбалансированного развития территории является экологизация её экономической системы. Экологизация экономической системы территории предусматривает экологизацию: территориальных потребностей и связанных с ними товаров и услуг; общественного производства; системы территориального управления экономикой. Экологизация общественного производства предусматривает экологизацию производительных сил и производственных отношений. Экологизация производительных сил обеспечивается посредством экологизации личного фактора, средств и предметов труда; процессов взаимодействия факторов производства – технологии, информации, организации и управления производством. Экологизация производственных отношений предусматривает экологизацию: отношений человека с природой (потребление природных благ, размещение отходов), организационно-экономических отношений через эколого-ориентированную структуру территориального производства, форм общественной организации производства, социально-экономических отношений через экологизацию отношений собственности на средства и результаты производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорошенко Ю.А. Экономический потенциал территории / Ю.А. Дорошенко. СПб.: Химия, 1997. 237 с.

Бородин Александр Иванович –

кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и финансы фирмы» государственного университета «Высшая школа экономики», г. Москва

УДК 339.137.22:637.1/.3

Н.П. Драгун, Е.М. Карпенко

ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬЮ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Описаны алгоритм и методическая база технологии управления конкурентоспособностью промышленного предприятия, построенной на основе концепции целевого управления. Предлагаемая технология управления конкурентоспособностью апробирована на примере предприятий молочной промышленности Гомельской области Республики Беларусь.

N.P. Dragun, E.M. Karpenko

INDUSTRIAL ENTERPRISE COMPETITIVE ABILITY MANAGEMENT TECHNOLOGY

The article states the algorithm and the methodical basis of management technology of industrial enterprise competitive ability based on conception of ven-

ture management. The suggested technology of management of competitive ability is approved in dairy product enterprises situated in Gomel region of the Republic of Belarus.

Введение

Процессы, происходящие в трансформирующихся экономиках постсоциалистических стран, приводят к возникновению острого конкурентного соперничества между её субъектами хозяйствования как на внешнем, так и на внутреннем рынке. В то же время отечественные предприятия оказались не готовы к эффективному его ведению вследствие фактического отсутствия теоретической и методической основы данной деятельности. Это приводит к снижению уровня их конкурентоспособности и утрате конкурентных преимуществ на рынке. В этой связи важнейшей задачей является разработка технологии управления конкурентоспособностью промышленного предприятия, реализация которого позволила бы избежать негативных последствий усиления конкурентного противодействия на рынке.

Предлагаемая технология управления конкурентоспособностью построена на основе концепции целевого управления [1, 9], которая позволяет связать процессы планирования и контроля (что важно для отечественных бюрократических систем управления, активно использующих стандартизацию результатов деятельности как механизм координации), повысить мотивацию и производительность труда персонала, формализовать процесс управления. Однако для практического применения данная концепция должна быть конкретизирована с учётом особенностей объекта управления – конкурентоспособности промышленного предприятия. Прежде всего, это касается целей управления и факторов конкурентоспособности [2].

Общая характеристика алгоритма и методической базы технологии управления конкурентоспособностью промышленного предприятия

Управление конкурентоспособностью промышленного предприятия представляет собой частную функцию управления, реализуемую посредством замкнутой последовательности операций и процедур, в своей совокупности представляющих технологию управления.

Технология управления конкурентоспособностью промышленного предприятия включает в себя следующие этапы:

1. Анализ результатного уровня конкурентоспособности, достигнутого предприятием в предшествующем планируемому периоде, постановка целей управления конкурентоспособностью [4, 5].

2. Определение внешних и внутренних факторов результатного уровня конкурентоспособности предприятия – объектов управленческого воздействия. Включает следующие подэтапы:

2.1. Оценка величины конкурентных преимуществ предприятия и анализ их влияния на результатный уровень его конкурентоспособности [6].

2.2. Оценка ретроспективного уровня интенсивности конкурентного противодействия деятельности предприятия на рынке и анализ его влияния на результатный уровень конкурентоспособности предприятия [6].

2.3. Оценка факторного уровня конкурентоспособности предприятия (то есть его потенциала) [7, 8].

3. Разработка конкурентной стратегии предприятия, мероприятий, направленных на её реализацию, и оценка эффективности их реализации. Включает следующие подэтапы:

3.1. Оценка степени опасности конкурентной ситуации на рынке (например, с использованием матрицы конкурентных ситуаций [3]).

3.2. Разработка конкурентной стратегии предприятия на планируемый период.

3.3. Разработка мероприятий, направленных на реализацию конкурентной стратегии.

3.4. Реализация конкурентной стратегии и контроль над ней.

Создание технологии управления конкурентоспособностью промышленного предприятия требует разработки методического обеспечения реализации её отдельных процедур.

Методика оценки результатного уровня конкурентоспособности предприятия направлена на оценку величины результатов реализации её факторов, которые представляют собой результаты достижения предприятием преследуемых целей деятельности в существующих условиях конкурентного противодействия и при существующих внутренних целевых установках. Реализация методики предполагает последовательное осуществление следующих этапов:

1. Определение задач оценки и в зависимости от них баз оценки – частных показателей уровня достижения целей деятельности хозяйствующими субъектами, имеющими их структуру, аналогичную структуре целей деятельности оцениваемого предприятия: одноотраслевым предприятием, совокупностью одноотраслевых предприятий (отраслью оцениваемого предприятия).

2. Определение субъектов оценки (ими могут являться работники предприятия, его менеджмент, собственники имущества, поставщики, потребители, государство, само предприятие как производственная система) и в зависимости от них используемых для оценки частных показателей уровня достижения целей деятельности оцениваемым предприятием и его базой оценки.

3. Расчёт значений указанных частных показателей для базы оценки и оцениваемого предприятия.

4. Расчёт частных показателей результатного уровня конкурентоспособности оцениваемого предприятия как отношения его значения для оцениваемого предприятия к соответствующему частному показателю базы оценки.

5. Расчёт частных интегральных (по формуле среднеарифметической взвешенной) для каждого субъекта оценки и общего интегрального (по формуле среднегеометрической взвешенной) показателей результатного уровня конкурентоспособности оцениваемого предприятия. Интерпретация результатов оценки (их сравнение с единицей).

Методика оценки величины и значимости конкурентных преимуществ предприятия предназначена для комплексной оценки его внутренних факторов, определяющих способность предприятия эффективно использовать различные методы ведения конкурентной борьбы на рынке. Реализация методики предполагает последовательное осуществление следующих этапов:

1. Расчёт значений частных показателей величины конкурентных преимуществ оцениваемого предприятия: эффективности использования производственных ресурсов; адаптивности деятельности; конкурентоспособности продукции; рыночной власти; способности удовлетворять цели заинтересованных групп.

2. Расчёт значений величины конкурентных преимуществ баз оценки результатного уровня конкурентоспособности оцениваемого предприятия.

3. Расчёт относительных значений частных показателей величины конкурентных преимуществ оцениваемого предприятия как их отношения к соответствующему частному показателю базы оценки.

4. Оценка при помощи корреляционно-регрессионного анализа значимости конкурентных преимуществ оцениваемого предприятия в имеющихся для него место отраслевых условиях конкуренции с точки зрения определения ими его результатного уровня конкурентоспособности. Интерпретация полученных регрессионных уравнений.

Методика оценки ретроспективного уровня интенсивности конкурентного противодействия деятельности промышленного предприятия на рынке предназначена для осуществления комплексной оценки наблюдаемого в анализируемом периоде уровня интенсивности использования конкурентами предприятия прямых методов конкуренции по отно-

шению к его аналогичному показателю. Реализация методики предполагает последовательное осуществление следующих этапов:

1. Определение решаемых при помощи методики задач и выбор в зависимости от них оцениваемых конкурентов предприятия, которыми могут быть одноотраслевые предприятия, производители товаров-заменителей, потенциальные конкуренты, поставщики и потребители.

2. Определение баз оценки частных показателей интенсивности использования оцениваемым предприятием методов конкуренции. Базами оценки являются частные показатели интенсивности использования конкурентами предприятия методов конкуренции.

3. Определение значений частных показателей интенсивности использования оцениваемым предприятием и его конкурентами методов конкуренции.

4. Определение значений частных показателей ретроспективного уровня интенсивности конкурентного противодействия деятельности рассматриваемого предприятия со стороны его конкурентов как отношения интенсивности использования базой оценки прямых методов конкурентной борьбы к интенсивности их использования оцениваемым предприятием.

5. Расчёт частных и общего интегральных (по формуле среднеарифметической взвешенной) показателей ретроспективного уровня интенсивности конкурентного противодействия деятельности предприятия со стороны его конкурентов. Интерпретация результатов оценки (сравнение с единицей).

Апробация предлагаемой технологии управления конкурентоспособностью на примере предприятий молочной отрасли Гомельской области Республики Беларусь

Реализация предлагаемой технологии управления конкурентоспособностью на примере предприятий молочной отрасли Гомельской области Республики Беларусь позволила получить следующие результаты:

Этап 1. Оценка результатного уровня конкурентоспособности исследуемых предприятий (по показателю – отношение рентабельности активов предприятия к среднеотраслевому показателю) и его динамики в период 1999-2003 гг. показала, что наблюдаемая динамика результатного уровня конкурентоспособности исследуемых предприятий и его вариации могут быть объяснены влиянием как имеющихся у них конкурентных преимуществ (факторного уровня конкурентоспособности), так и условий конкуренции на рынке.

Этап 2. Оценка влияния в краткосрочном периоде величины конкурентных преимуществ исследуемых предприятий на результатный уровень их конкурентоспособности в период 1999-2003 гг. показала, что: а) в краткосрочном периоде только конкурентоспособность продукции (работ, услуг) и рыночная власть являются значимыми внутренними факторами результатного уровня конкурентоспособности исследуемых предприятий (формула (1)):

$$R^{рез} = 172,9355 \cdot Km^{2,8569} \cdot Вл^{1,7987}, \quad (1)$$

где $R^{рез}$ – расчётное значение результатного уровня конкурентоспособности исследуемых предприятий; Km , $Вл$ – величина конкурентоспособности продукции (работ, услуг) и рыночной власти соответственно; б) проведённый регрессионный анализ (1) позволил утверждать о наличии неучтённых факторов, определяющих величину изучаемого свойства. Это потребовало проведения анализа влияния конкуренции как внешнего фактора уровня конкурентоспособности исследуемых предприятий.

Этап 3. Оценка влияния в краткосрочном периоде ретроспективного уровня интенсивности конкурентного противодействия деятельности исследуемых предприятий на результатный уровень их конкурентоспособности в период 1999-2003 гг. показала, что: а) среди частных показателей интенсивности конкурентного противодействия со стороны одноотраслевых предприятий значимыми оказались только два – темп снижения цен на продукцию и темп роста цен на продукцию предприятия по отношению к отрицательной дина-

мике темпов роста объёма её производства. Это говорит о том, что в исследуемый период значимыми с точки зрения влияния на результатный уровень конкурентоспособности были интенсивность ценовой конкуренции и использования рыночной власти; б) значимость интенсивности конкуренции со стороны потребителей и одноотраслевых предприятий примерно одинакова (0,4215 и 0,5785 соответственно). Большая значимость интенсивности конкуренции со стороны одноотраслевых предприятий в исследуемом периоде объясняется наличием в начале периода (1999-2001 гг.) у исследуемых предприятий существенной рыночной власти по отношению к потребителям, что подавляло их конкурентную активность и снижало угрозу переключения на продукцию конкурентов; в) между величиной интенсивности конкурентного противодействия и результатным уровнем конкурентоспособности исследуемых предприятий существует обратная зависимость степенной формы.

Включение в модель (1) интенсивности конкуренции как внешнего фактора результатного уровня конкурентоспособности исследуемых предприятий позволило получить следующую регрессионную зависимость (2):

$$P^{pez} = 37,9150 \cdot Km^{2,2903} \cdot Vl^{1,5247} \cdot I_{ки}^{pem-0,9718}, \quad (2)$$

где P^{pez} – расчётное значение результатного уровня конкурентоспособности исследуемых предприятий; Km , Vl , $I_{ки}^{pem}$ – величина конкурентоспособности продукции, рыночной власти и интенсивности конкурентного противодействия соответственно.

Предсказательная сила зависимости (2) выше, чем зависимости (1) ($R^2 = 0,5583$). Значение статистики Дарбина-Уотсона показывает, что все значимые факторы в регрессионное уравнение (2) включены. Величина влияния интенсивности конкурентного противодействия позволяет говорить о том, что в рассматриваемой отрасли оно достаточно велико, так как предприятия интенсивно используют такие методы конкуренции, как ценовая и рыночная власть.

Этап 4. Оценка влияния в долгосрочном периоде величины конкурентных преимуществ исследуемых предприятий на результатный уровень их конкурентоспособности в период 1999-2003 гг. показала, что: а) большое значение для роста результатного уровня конкурентоспособности исследуемых предприятий в долгосрочном периоде имеет их способность удовлетворять цели потребителей относительно цены и качества продукции, формировать в их сознании соответствующий имидж, а также способность удовлетворять цели государства, связанные с исполнением предприятиями социальных функций. При этом воздействие потребителей на результатный уровень конкурентоспособности гораздо сильнее воздействия государства; б) степень удовлетворения целей потребителей и государства и результатный уровень конкурентоспособности исследуемых предприятий связаны линейной зависимостью с временным лагом один год (формула (3)):

$$P_t^{pez} = -1,7177 + 3,2887 \cdot СУЦ_{nom,t-1}^{on} + 0,5226 \cdot СУЦ_{soc,t-1}^{on}, \quad (3)$$

где P_t^{pez} – расчётное значение результатного уровня конкурентоспособности исследуемых предприятий в период времени t ; $СУЦ_{nom,t-1}^{on}$, $СУЦ_{soc,t-1}^{on}$ – величина способности предприятия удовлетворять цели потребителей и государства в период времени $t-1$ соответственно.

Этап 5. Разработка мероприятий по повышению уровня конкурентоспособности исследуемых предприятий. Реализация аналитических этапов предлагаемой технологии управления конкурентоспособностью позволяет сделать следующие выводы о содержании оптимальной для молочных предприятий Гомельской области стратегии повышения конкурентоспособности и конкуренции на рынке:

1. В краткосрочном периоде конкурентная стратегия должна быть направлена на повышение уровня значимых в существующих условиях на рынке конкурентных преимуществ – конкурентоспособности продукции (работ, услуг) и рыночной власти. При этом для

региональных предприятий рыночная власть имеет сегодня в условиях недостатка инвестиций гораздо большее значение. Рост рыночной власти на рынке в существующих условиях для региональных предприятий возможен только за счёт установления особых отношений с торговой сетью и региональными органами государственной власти.

2. В долгосрочном периоде конкурентная стратегия должна быть направлена на повышение степени удовлетворения потребителей и государства. Рост первого из этих конкурентных преимуществ должен происходить на основе постоянно растущего качества товара и недопустимости его колебаний, а также проведении мероприятий стимулирующего потребления характера. Рост степени удовлетворения интересов государства должен основываться на полном выполнении возложенных на предприятие социальных функций: сохранение и создание рабочих мест, уплата налогов, финансирование социальной сферы. Партнёрские отношения с органами государственной власти важны с точки зрения поддержания власти на рынке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блинов А.Ю. Внедрение системы управления по целям в российских условиях / А.Ю. Блинов // Проблемы теории и практики управления. 2004. № 1. С. 103-106.
2. Драгун Н.П. Алгоритм управления конкурентоспособностью промышленного предприятия / Н.П. Драгун // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. 2004. № 1. С. 69-76.
3. Драгун Н.П. Матричный метод анализа конкурентной ситуации в отрасли / Н.П. Драгун // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. 2004. № 4. С. 77-86.
4. Драгун Н.П. Методика оценки результатного уровня конкурентоспособности предприятия / Н.П. Драгун // Проблемы создания механизма конкурентоспособного менеджмента: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. / РУП «Гипросвязь». Минск, 2004. С. 118-120.
5. Драгун Н.П. Особенности оценки результатного уровня конкурентоспособности предприятия в социально ориентированной экономике Республики Беларусь / Н.П. Драгун // Менталитет славян и интеграционные процессы: история, современность, перспективы: материалы IV Междунар. науч. конф. / ГГТУ им. П.О. Сухого. Гомель, 2005. С. 88-90.
6. Драгун Н.П. Оценка интенсивности конкурентного противодействия деятельности предприятия как фактора его конкурентоспособности / Н.П. Драгун // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. 2003. № 4. С. 99-108.
7. Драгун Н.П. Факторы конкурентоспособности промышленных предприятий Республики Беларусь / Н.П. Драгун // Социальное партнёрство в условиях социально-правового государства: региональный аспект: материалы IX межвуз. науч.-практ. конф.: В 2 ч. Ч. 1 / ФПБ «МИТСО». Гомель, 2005. С. 222-224.
8. Карпенко Е.М. Потенциал производственной системы: сущность, методика оценки, процесс актуализации / Е.М. Карпенко. Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2003. 377 с.
9. Управление по результатам / пер. с финск.; общ. ред. и предисл. Я.А. Леймана. М.: Прогресс, 1988. 320 с.

Драгун Николай Павлович –
старший преподаватель кафедры «Менеджмент»
Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого

Карпенко Елена Михайловна –
кандидат экономических наук, доцент, заведующая кафедрой «Менеджмент»
Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого

С.Г. Землянухина

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ГОСБЮДЖЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СГТУ

В статье показывается развитие госбюджетных экономических исследований в Саратовском государственном техническом университете, отражающее специфику развития нашего общества и профиль профессиональной подготовки кафедр. Дается характеристика основных результатов проведенных исследований по проблеме теоретических основ обеспечения устойчивого экономического развития и направления исследований по проблеме экономического роста.

S.G. Zemljanukhina

STATE-RUN ECONOMICS STUDIES IN SSTU

The article reveals the development of the state-run economics researches in the SSTU, reflecting specifics of our society's development and type of professional preparation of our departments. And the major results of the theoretical bases provision of the stable economical development research.

Тематика научной работы кафедр, ведущих подготовку кадров для экономической деятельности, в СГТУ отражает специфику того или иного этапа развития нашего общества и профиль профессиональной подготовки кафедр. Рыночное реформирование российской экономики исследовалось во второй половине девяностых годов в рамках внутривузовской научно-технической программы по направлению 15В «Теоретические проблемы развития рыночной экономики» под руководством профессора М.Е. Залмановой. Соответственно профилю преподавательской направленности кафедр исследовались организационно-экономические основы управления инвестициями – кафедра экономики и управления в строительстве (ЭУС), инновациями и инновационными проектами в вузе – кафедра экономики и организации производства (ЭОП), кафедра экономики и управления в машиностроении (ЭУМ), трансформация системы воспроизводства рабочей силы в условиях переходной экономики – кафедра экономической теории и учений (ЭТУ), проблемы развития рыночной инфраструктуры региона и его внешне-экономических связей – кафедра организации внешнеэкономических связей (ОВМ), процессы функционирования автотранспортных предприятий в рыночных условиях – кафедра экономики и управления на автомобильном транспорте (ЭУТ) и другие. По результатам исследований были разработаны модели исследуемых процессов, предложены рекомендации, методики и методы управления, что позволило как активизировать и оптимизировать эти процессы, так и использовать материалы в учебном процессе при преподавании различных экономических дисциплин, а также в курсовом и дипломном проектировании.

Тогда же произошло преобразование программы научных исследований инженерно-экономического факультета в межфакультетскую программу, в которой в настоящее время участвуют факультет управления производственными системами (ФУПС) – все кафедры, факультет управления социальными системами (ФУСС) – кафедра информационных систем в гуманитарной области (ИФС), Технологический институт (г. Энгельс – кафедра экономики и менеджмента (ЭиМ), Институт техники, технологии и управления (г. Балаково – кафедра экономики и организации управления на предприятиях (ЭОУ). Трансформация российской экономиче-

ской системы и принятие Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию, утвержденной Указом Президента РФ от 01.04.1996 г., обусловили необходимость разработки теоретических основ обеспечения устойчивого экономического развития, что явилось темой исследования экономического направления уже в третьем тысячелетии.

Устойчивое развитие выступает как объективное требование времени для всего человечества, но особую актуальность имеет для России. Для реализации реальной возможности формирования в России социально-экономической системы, способной осуществить переход к устойчивому развитию, важнейшее значение имеет создание методологической и технологической основы преобразований. В связи с комплексным характером перехода, затрагивающего все сферы жизни общества и предполагающего решение беспрецедентных по масштабу социальных, экономических и экологических задач, научные исследования проблемы устойчивого развития должны носить комплексный характер. Это достигнуто в результате объединения усилий в научных исследованиях различных кафедр экономического профиля, что позволило рассмотреть самые разные аспекты обеспечения устойчивого развития – от теоретико-методологических до сугубо практических.

В теоретико-методологическом плане представляет интерес применение к рассмотрению проблемы теории диалектики, системного подхода, современной эволюционно-институциональной теории. Данная в исследованиях ученых-экономистов технического университета трактовка устойчивости социально-экономических систем подчеркивает роль в ее обеспечении преемственности и сохранения инвариантного аспекта структуры экономической системы. Проведенный с этих позиций анализ развития российской социально-экономической системы показал, к каким последствиям приводит игнорирование этого важнейшего методологического принципа преобразований.

Концепция устойчивого развития соответствует сути нового эколого-экономического мышления, выраженного в решениях конференции ООН по окружающей среде в Рио-де-Жанейро и состоящего в том, что как экономика, так и экология в равной мере касаются улучшения судьбы человечества. Соответственно этому в научном исследовании был сделан упор на обеспечение устойчивого развития человеческих ресурсов и с точки зрения формирования институтов рынка труда и сохранения российских хозяйственных традиций, и с точки зрения социальной политики как на федеральном, так и на региональном уровне. Особое внимание было обращено на рассмотрение экологических аспектов обеспечения устойчивого воспроизводства рабочей силы, где в трактовку эколого-экономической системы введена в качестве дополнительного элемента сфера воспроизводства рабочей силы.

Кафедра экономической теории и учений в соответствии с целью научной работы разработала организационно-экономический механизм развития трудовых ресурсов как фактора обеспечения устойчивости экономических систем и выработала рекомендации по оптимизации организационно-экономического механизма развития трудовых ресурсов Саратовской области с учетом региональной специфики, по решению проблемы сбалансированности спроса и предложения на федеральном и региональном рынке труда.

В процессе работы разрабатывались проблемы инновационного типа занятости, определялись динамика и структура занятых с учетом социально-демографических характеристик развития трудовых ресурсов, предлагались механизмы социальной защиты населения и формирования институтов труда как элементов организационно-экономического механизма развития трудовых ресурсов.

В результате работы была предложена методология исследования организационно-экономического механизма развития трудового потенциала в контексте концепции создания регионального производственного комплекса; разработаны Концепция и программа содействия развитию персонала на предприятиях Саратовской области, положенная в основу деятельности правительства Саратовской области в этом аспекте.

Устойчивое развитие предполагает достижение сбалансированности социально-экономического развития организации и окружающей среды и заключается в организации деятельности таким образом, чтобы не наносить необратимого ущерба природной среде. Кафедрой менеджмента, коммерции и права (МКП) разработаны основные элементы эколого-экономического механизма охраны окружающей среды от теплового загрязнения, заключающиеся в платности энергетического загрязнения, учитывающего степень негативного воздействия на экономику и окружающую среду, включая глобальные изменения климата. Предложен методический подход, позволяющий выполнить экономическую оценку теплового загрязнения окружающей среды, сформировать соответствующие платежи за тепловое загрязнение и обосновать использование полученных финансовых средств на снижение негативного воздействия на окружающую среду, экономию и воспроизводство природных ресурсов, а также предупреждение глобального изменения климата. Разработан метод определения базового регионально-норматива платы за энергетическое загрязнение окружающей среды.

В современных условиях все большее значение придается логистике, как науке организации рациональных материальных, информационных и финансовых потоков, осуществляемых хозяйствующими субъектами всех уровней управления экономическими системами в целях повышения эффективности их деятельности. Считается, что нормальное функционирование предприятия возможно лишь в том случае, если его материальные, информационные и финансовые потоки синхронизированы и осуществляются непрерывно и своевременно.

Не меньшее значение придается инновационной деятельности, как стратегическому условию обеспечения должной конкурентоспособности любой экономической системы. Под инновационной деятельностью в сложившейся к настоящему моменту практике понимаются такие действия, которые связаны с использованием хозяйствующими субъектами нововведений различного рода, обеспечивающих повышение эффективности их функционирования. Соответственно, успешного функционирования любого предприятия следует ожидать только в случае непрерывного осуществления инновационной деятельности.

Таким образом, современная парадигма экономической деятельности основывается на двух существенных моментах: логистике и инноватике, в свою очередь каждый из названных моментов представляет сложную совокупность действий и элементов, реализация каждой из которых представляет их взаимное пересечение и невозможна одна без другой. Исходя из значимости логистики и инноватики, в рамках экономического направления научных исследований эти проблемы особенно активно разрабатываются кафедрами ЭУТ и ЭУМ.

Сотрудники кафедры ЭУТ занимались исследованиями теоретических основ логистической концепции управления предприятиями транспорта в современных условиях. В рамках данной проблемы рассматривались вопросы повышения конкурентоспособности диверсификационной деятельности автотранспорта, логистики информационных потоков о спросе на транспортные услуги, составления рекомендаций по совершенствованию закупок, согласования интересов участников транспортного обслуживания населения города. Разработка и применение кафедрой ЭУТ теоретических и методологических положений логистики в сфере городских пассажирских перевозок с целью организации работы автотранспорта в соответствии со спросом на его услуги, их конкретизация и адаптация к конкретным отраслевым условиям позволяют усовершенствовать работу городского пассажирского транспорта в современных условиях, а значит, улучшить условия жизни городского населения в связи с решением транспортных проблем доступности мест приложения труда и культурного досуга. В целом для города это означает расширение возможностей для экономического роста и сдерживание эскалации социальной напряженности.

С целью решения двуединой задачи государства в области экономики: общей активизации применения инноваций, обеспечения структурной перестройки и повышения конкурентоспособности реальных секторов экономики кафедрой МКП разработаны и предложены

следующие рекомендации по стимулированию инновационной деятельности для устойчивого экономического развития: полное или частичное освобождение инновационных «точек роста» от федеральных и местных налогов; предоставление им инвестиционно-налоговых кредитов на срок до пяти лет; освобождение от НДС и ввозных таможенных пошлин импортируемого оборудования, сырья, материалов, лицензий, ноу-хау, не конкурирующих с отечественными; введение ускоренной амортизации научного и технологического оборудования; исключение из налогооблагаемой базы промышленных предприятий оборудования, опытных образцов, передаваемых ученым; освобождение научных организаций от налога на имущество; сохранение за научными организациями права на бессрочное безвозмездное пользование земель; минимизация земельного налога или стоимости земельной аренды для коммерческих научно-технических организаций, занимающихся инновационной деятельностью; законодательное предоставление возможности вклада интеллектуальной собственности в уставный капитал коммерческих организаций.

Кафедра ЭУС разработала методические принципы и положения по созданию организационно-экономического механизма управления инвестиционно-строительным комплексом, раскрыла содержание и установила взаимодействие отдельных блоков и элементов этого механизма, что создает условия для повышения инновационной активности инвестиционно-строительного комплекса и повышения эффективности управления инвестициями в региональной инвестиционной политике.

Кафедра ИФС принимает участие в рамках данного направления в разработке новых математических моделей и методов, используемых при поиске информации и организации данных о производственных ситуациях, возникающих при управлении сложными человеко-машинными системами производственного назначения.

Преподавателями кафедры ЭОУ проведено исследование по проблеме «Разработка теоретических основ эффективного функционирования и устойчивого развития социально-экономического потенциала г. Балаково». Работа явилась продолжением исследования по проблеме «Совершенствование методики и методологии оценки социально-экономической деятельности предприятия», проводимого кафедрой в 1999-2001 гг.

Разработанные практические рекомендации по совершенствованию механизмов воздействия региональных факторов на устойчивое развитие социально-экономического потенциала г. Балаково могут быть использованы на предприятиях всех форм собственности для более эффективного функционирования и устойчивого развития социально-экономического потенциала г. Балаково в условиях рынка. Результаты исследования представляют определенный интерес и для органов местного самоуправления, т.к. содержат элементы нового подхода к предприятию как звену воспроизводственного процесса в рамках территории. Использование этого подхода создает условия для разработки модели управления единым производственно-хозяйственным комплексом, который представлен совокупностью предприятий и других хозяйствующих субъектов, осуществляющих свою деятельность на базе разнообразных форм собственности.

Результаты проведенного исследования по обеспечению устойчивости экономического развития положены в основу дальнейшей работы преподавателей кафедр по научному направлению 15В на 2005-2009 годы «Разработка теоретических основ и перспектив обеспечения экономического роста современного общества». Следует подчеркнуть, что если раньше экономические исследования в СГТУ классифицировались в качестве проблемы в рамках программы по разработке социальных, гуманитарных и экономических проблем развития современного общества, включающей все гуманитарные кафедры, то с 2005 года эти исследования выделились в отдельное самостоятельное направление.

В связи с тем, что экономический рост – многофакторный процесс, решающее значение для обеспечения экономического роста имеет взаимодействие и взаимодополнение факторов роста. Реальный экономический рост и переход из стадии оживления, в которой нахо-

дится сейчас экономика России, в стадию подъема возможен только за счет развития реального сектора экономики, кадры для которого готовит наш университет. Преодоление последствий экономического кризиса и обеспечение последующего экономического роста предполагает инновационную деятельность, переход на качественно новый уровень развития производительных сил, в том числе и человеческого фактора. Именно на обеспечение этих условий направлено научное исследование.

В соответствии с сформулированными проблемами кафедры, входящие в данное научное направление, проводят исследования факторов и резервов обеспечения экономического роста применительно к своему профилю. Это и развитие человеческих ресурсов, и организационно-финансовое конструирование инвестиционно-строительного комплекса, и инновационно-логистические резервы в инфраструктуре региона, и факторы роста на уровне муниципального образования. Обеспечение экономического роста и повышение эффективности экономических и социальных систем ставятся в качестве цели исследования теоретических основ организации управления инновационной деятельностью.

Длительное время экономическое развитие отождествлялось с таким экономическим ростом, который сопровождается расширением его ресурсных слагаемых и выражается в природных величинах (продукции, дохода, выработки). Однако интенсивное наращивание промышленного потенциала нанесло огромный ущерб окружающей природной среде, привело к резкой дифференциации уровня жизни. В таком виде экономический рост включает в себе нерациональность развития производительных сил (как взаимодействия человека с природой) и формирующихся на их основе общественных потребностей. Природа сегодня ставит предел росту производства, не выдерживая больше последствий производственной деятельности человека, сопровождающейся экологическим загрязнением и истощением сырьевой базы. В связи с этим особую актуальность приобретают исследования теоретических основ управления развитием эколого-экономических систем, проводимые на кафедре МКП.

Результаты научных исследований находят отражение в индивидуальных и коллективных монографиях, сборниках статей, в кандидатских и докторских диссертациях, защищаемых преподавателями, аспирантами и соискателями экономических кафедр СГТУ. Свидетельством активизации и результативности научной деятельности в области экономики в нашем университете явилось открытие с 1997 года диссертационного совета по защите диссертаций по экономическим наукам. Вначале совет имел право защит кандидатских диссертаций по двум специальностям: «Экономика труда» и «Логистика», с 2003 года совет преобразован в докторский. Разработки ученых технического университета в области инновационной деятельности выразились в защите докторских диссертаций по этой проблематике В.Р. Атояном, Г.И. Жицем (кафедра ЭУТ), А.Н. Плотниковым и Н.В. Казаковой (кафедра ЭУС), В.Ю. Тюриной и введении в диссертационный совет новой области исследования. Сейчас защиты ведутся по специальности 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством» по трем областям исследования: не только «Экономика труда» и «Логистика», но и «Управление инновациями и инвестиционной деятельностью». В связи с повышением статуса диссертационного совета вуз получил право на открытие докторантуры по экономической проблематике и на кафедрах активно ведется работа над докторскими диссертациями, издаются индивидуальные монографии (так, на кафедре ЭТУ в 2004 году подготовлены докторантами и изданы 4 индивидуальные монографии).

Ежегодно в совете рассматриваются и защищаются более 20 кандидатских и докторских диссертаций. Аспирантская и докторантская подготовка и работа диссертационного совета позволяют формировать научно-педагогический потенциал вуза, улучшать уровень «остепенности» преподавательского состава экономистов, повышать качество преподавания и рейтинг экономической подготовки СГТУ. Около трети защищаемых диссертаций – из других городов и вузов, а это способствует развитию и укреплению научных связей ученых-экономистов нашего университета со своими коллегами из других вузов.

Одной из форм сотрудничества в области научной работы является проведение международных, всероссийских и региональных научно-практических конференций, организуемых, как руководством ИСПМ, так и на уровне отдельных кафедр. Так, с 1995 года стало традицией ежегодное проведение кафедрой ЭТУ в ноябре научных конференций по проблематике экономики труда (система и структура трудовых отношений, трудовые ресурсы региона, воспроизводство человеческих ресурсов, социально-экономическая политика и т.п.). Несмотря на финансовые трудности и недостаток средств для оплаты командировочных расходов иногородних участников конференций, все-таки формируемые и издаваемые по итогам конференции материалы охватывают достаточно обширную географию российских регионов. Признанием научной общественностью заслуг саратовских ученых в области экономики труда стало открытие регионального отделения Академии труда и занятости и получение дипломов действительных членов этой академии учеными технического университета.

Эффективность научной работы, конечно, определяется тем, насколько предлагаемые концепции и рекомендации ученых-экономистов реализуются на практике, востребованы правительственными структурами. На региональном уровне сложились прочные связи с правительством Саратовской области и ученые СГТУ принимают самое непосредственное участие в разработке Стратегической концепции развития Саратовской области и других документов. В связи с этим особо следует отметить Закон об инновационной деятельности, подготовленный учеными СГТУ и принятый Областной думой.

Землянухина Светлана Георгиевна –

доктор экономических наук, профессор,
заведующая кафедрой «Экономическая теория и учения»
Саратовского государственного технического университета

УДК 316.6

В.Г. Печерский

ПРОБЛЕМЫ СОЦИАЛИЗАЦИИ ЛИЦ С ПСИХИЧЕСКИМ НЕДОРАЗВИТИЕМ

Уточняются представления о роли органических, личностных и социальных факторов в формировании способностей к межличностному и социальному взаимодействию подростков и юношества с психическим недоразвитием в контексте повышения качества процессов социализации и социальной адаптации.

V.G. Pecherskiy

SOCIALIZATION PROBLEMS OF THE PEOPLE WITH MENTAL DEFICIENCY

The concepts concerning the role of organic, personal and social factors in the formation of abilities for interpersonal and social interaction of teenagers and young people with mental deficiency in the context of improving socialization and social adaptation processes are specified in the article.

Одной из серьёзных проблем современного общества является широкая распространённость состояний психического недоразвития, которые являются следствием действия неблагоприятных биологических факторов (органические нарушения ЦНС), или следствием нарушения процесса онтогенетической социализации. Возможности социальной адаптации и интеграции лиц с признаками психического недоразвития в обществе во многом зависят от эффективности функционирования системы специализированной помощи детям с различными формами психического недоразвития, способствующей формированию адаптивного потенциала личности как сложнейшего образования, обеспечивающего становление модуса социального поведения.

В этой связи на актуальный уровень выводятся проблемы социализации детей, подростков и юношества с нарушениями психического развития, основной сферой протекания которой является процесс межличностного взаимодействия.

При несомненном приоритете отечественной психологической науки в формировании фундаментальных теоретических позиций по проблеме психического недоразвития от глобальных методологических построений до конкретных принципов диагностики и коррекции нарушений психического развития, разработка практических её аспектов долгое время сводилась лишь к коррекции нарушений когнитивной сферы и гораздо в меньшей степени уделялось внимание изучению генезиса и специфики собственно личностных проблем, неизбежно возникающих у этой категории детей в процессе социализации. Данное состояние системы научных знаний в области специальной психологии создаёт прецедент, связанный с упрощением понимания структуры психического недоразвития, механизмов взаимодействия индивидуальных и социальных факторов в процессе онтогенетической социализации данной категории детей, что не может не вызывать возражений с общетеоретических психологических позиций. Ещё Л.С. Выготский высказывал мнение о неразрывности интеллекта и аффекта, подчёркивая их «внутреннюю связь и единство» [6, т.5. с.256]. Этот методологический принцип выступает и в качестве основы для понимания своеобразия развития детей с психическим дизонтогенезом, и как исходное положение для построения коррекционной работы в условиях образовательной среды.

Специфические особенности психического развития аномальных детей на концептуальном уровне представлены в трудах Л.С. Выготского, который наряду с интеллектуальным дефектом, уделял огромное внимание вопросам социального становления, личностного развития аномального и, прежде всего, умственно отсталого ребёнка.

Дальнейшая эволюция психологических и педагогических взглядов на проблему психического недоразвития происходила, главным образом, в рамках клинко-психологического (Б.В. Зейгарник, А.Я. Иванов, Д.Н. Исаев, К.С. Лебединская, В.В. Лебединский, М.С. Певзнер, С.Я. Рубинштейн, Г.Е. Сухарева и др.) и психолого-педагогического (А.Н. Грабаров, Г.М. Дульнев, Л.В. Занков, В.И. Лубовский, Н.Н. Малофеев, В.Г. Петрова, Б.И. Пинский, И.М. Соловьёв, Ж.И. Шиф и др.) подходов, каждый из которых, имея определённую специфику содержания, преследовал решение одних и тех же проблем – упорядочение многообразия феноменологии нарушений развития; достижение единства в понимании основных проявлений умственной отсталости; разработка оптимальных путей помощи ребёнку с признаками психического недоразвития, обеспечивающих успешное решение задач современной психолого-педагогической практики, главной из которых является социальная адаптация данной категории детей.

Многочисленные исследования, проведённые в рамках указанных подходов, отражают процесс последовательного и глубокого проникновения в закономерности формирования и функционирования психической деятельности у детей с психическим недоразвитием. На основе этих закономерностей получили серьёзное теоретическое обоснование критерии диагностики психического недоразвития, были сформулированы принципы организации ответственной помощи детям с признаками психического недоразвития, разработана целостная

концепция коррекционного обучения детей в соответствии с характером и степенью выраженности выявляемых у них нарушений психического развития.

Признавая несомненно высокий уровень достижений отечественных исследователей в области изучения особенностей психической деятельности детей с признаками психического недоразвития, разработки психолого-педагогического обеспечения учебно-воспитательного воздействия в процессе коррекционного обучения, необходимо отметить недостаточность внимания к изучению специфических проблем становления личности, диагностики и коррекции личностного развития этой категории детей.

В этой связи становятся актуальными задачи теоретического анализа проблемы социализации детей с нарушениями психического развития, условий и факторов, определяющих процесс становления личности, формирования её адаптационного потенциала.

Процесс социального становления личности впервые выделился как самостоятельный объект исследования в трудах американских социальных психологов. Последующая теоретическая разработка проблем социализации находит своё отражение в исследованиях западных психологических школ различных теоретических направлений – бихевиоризма, психоанализа, когнитивизма, ролевой теории, гуманистической психологии, каждая из которых выделяет ключевую детерминанту, определяющую социальное развитие индивида.

В нашей стране социализация как предмет психологических исследований прочно утверждается, начиная с 60-х годов, чему во многом способствовали работы Б.Г. Ананьева, Г.М. Андреевой, И.С. Кона, Б.Ф. Ломова, В.С. Мерлина, Б.Д. Парыгина и др. В структуре общепсихологического подхода к изучению социализации наиболее значительные достижения и глубокие традиции связаны с проблемой соотношения биологического и социального в генезисе становления личности, пониманием сущности и механизмов самодетерминации. Эта важнейшая методологическая проблема психологии занимает центральное место в работах известных отечественных психологов Б.Г. Ананьева, Л.И. Божович, Л.С. Выготского, А.В. Запорожца, А.Н. Леонтьева, А.Р. Лурии, А.В. Петровского, К.К. Платонова, С.Л. Рубинштейна и др., которые определили общие принципы рассмотрения процессов становления и развития личности, анализа её структурных изменений, основанные на единстве, взаимосвязанности и взаимообусловленности социального и природного в личности.

Эти принципы отчётливо проиллюстрированы Л.С. Выготским посредством предложенного им понятия «социальная ситуация развития», под которым он понимал «то особое сочетание внутренних процессов развития и внешних условий, которое является типичным для каждого возрастного этапа и обуславливает динамику психического развития на протяжении соответствующего возрастного периода и новые, качественно своеобразные психологические образования, возникающие к его концу» [6, т.3, с.152].

Ключом к пониманию диалектики внутренних и внешних условий в генезисе становления личности служат фундаментальные положения С.Л. Рубинштейна о том, что внешние влияния действуют через внутренние условия, которые, в свою очередь, сформировались под воздействием предшествующих влияний. По мере развития личности возрастает значение её внутренних условий, которые сами становятся субъектом собственного развития [14].

Это означает, что внутренние условия представляют собой динамичную совокупность индивидуальных свойств, которые лишь на ранних этапах онтогенеза имеют относительно автономное значение, выступая в качестве предпосылок, основы для формирования личности. В процессе усвоения индивидом социального опыта формируются качественно новые психологические образования, определяющие целостный облик личности, обладающей индивидуально-неповторимыми свойствами. Эти психические образования, возникая как результат процесса социализации, по мере формирования, структурного и содержательного усложнения все больше начинают определять избирательность, своеобразие усвоения и воспроизводства социального опыта, постепенно приобретая функции внутренних регуляторов социаль-

ного поведения, активно влияющих на процессы социогенеза, обуславливающих типы и направленность поведения, деятельности, социальный статус человека. В этом активном взаимодействии, которое носит избирательный характер, и заключаются механизмы самоизменения, саморазвития, названные Б.Ф. Ломовым самодетерминацией.

Активное усвоение индивидом социального опыта, которое происходит в процессах общения с окружающими людьми и выполнения совместной с ними деятельности, рассматривается в работах Л.С. Выготского, А.Н. Леонтьева, С.Л. Рубинштейна и многих их последователей как важнейший механизм социального развития ребёнка.

Из приведённого выше теоретического анализа можно заключить, что изучение особенностей социального развития подростков и юношества с признаками психического недоразвития должно основываться на определении тех его факторов, которые обуславливают своеобразие усвоения социального опыта, своеобразие формирования системы внутренней регуляции поведения.

Одним из таких факторов является особый режим функционирования психических процессов, обусловленный структурой дефекта при органическом поражении мозга. Проблемы трансформации внешнесредовых влияний через сферу индивидуального при психическом недоразвитии рассматриваются Л.С. Выготским посредством представлений о первичном, «ядерном» дефекте и вторичных нарушениях развития. Слабая активность корковых процессов, их инертность и стереотипность, нарушения пространственной организации деятельности мозга, обусловленные органическим поражением, имеют своим следствием недоразвитие познавательных процессов, наиболее выраженными симптомами которого являются низкий уровень продуктивности мыслительных процессов анализа и синтеза, обобщения и абстрагирования. Указанные нарушения не только снижают продуктивность познавательной деятельности, но и обуславливают своеобразие взаимодействия индивида с социальной средой. Это своеобразие проявляется в упрощённости социальной перцепции, склонности удовлетворяться недостаточной информацией, низкой эффективности усвоения социальных понятий, знаний, норм, от которых зависит социальное качество поведения человека [6,8,13,15].

Анализируя процесс социального развития аномального ребёнка, Л.С. Выготский выдвигает положение о том, что ребёнок, развитие которого осложнено дефектом, не есть просто менее развитой, чем его сверстники, но иначе развитой. Аномальное развитие не отменяет самых общих закономерностей нормального психического развития детей, хотя временные сроки в случае аномального развития могут быть сдвинуты, а темп развития и некоторые количественные характеристики изменены [6]. Кроме того, в работах А. Адлера, Л.С. Выготского утверждается важное методологическое положение, согласно которому своеобразие аномального развития и возможные отклонения от нормы нельзя характеризовать однозначно только как отрицательные явления. Они содержат и положительные элементы компенсации, обеспечивающие приспособление ребёнка к разным видам деятельности, к жизни [2,6].

Именно потому, что дефект создаёт трудности в деятельности, в социальных отношениях, он стимулирует повышенное, усиленное движение вперёд. Л.С. Выготский по этому поводу писал: «Центральное положение современной дефектологии следующее: всякий дефект создаёт стимулы для выработки компенсации. Поэтому динамическое изучение дефективного ребёнка не может ограничиваться установлением степени и тяжести недостатка, но непременно включает учёт тех компенсаторных – замещающих, надстраивающихся механизмов, выравнивающих процессов в развитии и поведении ребёнка... Реакция организма и личности на дефект есть центральный и основной факт, единственная реальность, с которой имеет дело дефектология» [6, т.3, с. 9].

А. Адлер и его школа считают основой своей психологической системы учение о неполноценных органах и функциях, недостаточность которых постоянно стимулирует развитие психики. По словам А. Адлера, центральная нервная система и психический аппарат создают над малоценным органом или функцией надстройку, стремящуюся обеспечить орга-

низм в его слабом, представляющем угрозу пункте. При неполноценности функций организма возникает конфликт, стимулирующий к компенсации и сверхкомпенсации [2].

Учение о компенсациях открывает творческий характер развития, направленного по этому пути, хотя Л.С. Выготский понимал сложность, многофакторность и специфичность процесса компенсации. «Было бы ошибкой полагать – писал он, – что процесс компенсации всегда непременно кончается удачей, успехом, всегда приводит к формированию таланта из дефекта». Компенсация, по его мнению, возможна лишь в том случае, когда организм и психика индивида обладают достаточным компенсаторным фондом и, если у индивида уже сформированы все необходимые для этого предпосылки: воля, мотивы, основные структуры личности. «Как всякий процесс преодоления и борьбы компенсация может иметь два крайних исхода – победу и поражение, между которыми располагаются все возможные степени перехода от одного полюса к другому... Но какой бы исход ни ожидал процесс компенсации, всегда и при всех обстоятельствах развитие, осложнённое дефектом, представляет творческий процесс созидания и пересозидания личности ребёнка на основе перестроек всех функций, приспособления, образования новых и прокладывания новых обходных путей развития» [6, т.3., с.11]. В этом, по мнению Л.С. Выготского, и заключаются особенности механизмов развития аномального ребёнка.

Перестроечные изменения, обусловленные факторами органического поражения головного мозга, определяют своеобразие социального развития умственно отсталых детей. Это своеобразие проявляется как в области познания и усвоения социального опыта, так и в области социального, межличностного взаимодействия. Дефект модифицирует социальную ситуацию развития, изменяет социальный статус умственно отсталого ребёнка. Согласно С.Л. Березину (1982), в процессе социального развития индивида формируются внутренние движущие силы личности, создаётся его субъективный мир, причём, вместе с его постепенным усложнением возникают противоречия субъективного и объективного, внутреннего и внешнего, что обуславливает напряжение в психической жизни личности вообще и в ее моральном развитии в особенности. В значительной мере возникновение данных противоречий зависит от отношения общества в целом и микросоциального окружения, в частности, к ребёнку с психическим недоразвитием, а также от индивидуальных особенностей конкретного человека.

Особенности взаимодействия внешних и внутренних условий в процессе онтогенетической социализации и, как следствие, специфичность формирования психических новообразований личности у подростков и юношества с психическим недоразвитием отмечены в работах Л. Пожара. В частности, приводятся данные об особенностях их самосознания, которое формируется в условиях ограничения возможностей выбора референтной группы. Развитие самосознания и неразрывно связанная с ним потребность самоутверждения обуславливают динамику социального становления личности. Состояние неудовлетворённости самоутверждения является в определённом смысле критической точкой в моральном развитии личности умственно отсталых подростков, юношества и может привести к различным линиям социальных отношений, деформациям социального развития этой категории молодых людей [13].

Несмотря на компенсаторный характер многих психических явлений в социальном развитии подростков и юношества с психическим дизонтогенезом, определяющих своеобразную линию их поведения, изучение особенностей этого процесса осуществлялось преимущественно с точки зрения их обусловленности теми отрицательными индивидуальными факторами, которые составляют структуру дефекта при органическом поражении мозга.

Так, например, в исследованиях Б.В. Зейгарник, Б.С. Братуся (1980), Д.И. Исаева (1982), Е.С. Иванова, Л.М. Шипицыной (1989), В.Н. Кузьминой (1973), К.С. Лебединской (1981) ведущее значение в возникновении нарушений социального развития умственно отсталых детей и, как следствие, – отклонений в их поведении придаётся неполноценности нервной системы и интеллектуальному недоразвитию, связывая эти нарушения с недостаточностью представлений, неясностью понятий, слабостью критичности, отсутствием интел-

лектуального контроля над аффектом, трудностями адаптации к переменам, требующим интеллектуальной гибкости.

Наряду с интеллектуальным недоразвитием значительная часть исследователей связывает нарушения социогенеза при психическом недоразвитии с органической неполноценностью самой нервной системы, а именно, с повреждением её подкорковых областей. В работах К.С. Лебединской (1981), М.С. Певзнер (1959), Г.Е. Сухаревой (1965) приводятся данные, свидетельствующие о том, что нарушения эмоционально-волевой сферы и поведения у умственно отсталых детей обусловлены как недоразвитием молодых, менее зрелых корковых образований, так и повреждением более зрелых подкорковых структур.

Одним из существенных факторов, обуславливающих возникновение нарушения онтогенетической социализации детей с психическим недоразвитием, считается дисгармоничность протекания критических возрастных периодов, особенно подросткового. При этом отмечается опасность декомпенсации поведения, особенно при осложнённых формах олигофрении, при которых повреждённость подкорковых отделов мозга обуславливает в подростковом возрасте ликвородинамические нарушения, явления вегетативной дистонии, нарушения эндокринной обменной функции (Е.С. Иванов, Л.М. Шипицына, 1989; К.С. Лебединская, М.М. Райская, Г.В. Грибанова, 1988).

Особого внимания, на наш взгляд, заслуживает точка зрения ряда авторов, согласно которой особенности процесса онтогенетической социализации подростков и юношества с психическим недоразвитием обусловлены сложными и многофакторными механизмами формирования жизненно важных отношений субъекта (Л.С. Выготский, 1983, Э.Я. Альбрехт, 1976; Г.М. Миньковский, 1968; Ж.И. Намазбаева, 1986, В.Г. Печерский, 1999; Л.И. Поперечная, 1974; Л.М. Шипицына, Е.С. Иванов, 1992). Недоразвитие высших форм познавательной деятельности, эмоционально-волевой сферы, свойственное этой категории молодых людей, изменяет качественные характеристики функциональных систем личности, что приводит к деформации системы отношений к явлениям социальной жизни, к деформациям в системе жизненно важных взаимодействий, в поведении.

Подобного рода деформации не могут не повлиять на процесс присвоения социального опыта, социальных ценностей, на формирование высших потребностей личности – интеллектуальных, морально-нравственных, этических, трудовых и т.п. В связи с недоразвитием воли и недоразвитием высших потребностей не обеспечивается торможение низших потребностей. Поэтому в регуляции поведения у подростков с умственной отсталостью большую роль приобретают природно-психические уровни (Ж.И. Намазбаева, 1986; В.А. Худик, 1993; Л.М. Шипицына, Е.С. Иванов, 1992 и др.). Поведение во многом становится зависимым от действия случайных факторов окружающей среды, играющих роль непосредственных раздражителей. В случае отрицательного социального знака этих факторов у умственно отсталых детей формируются соответствующие им социальные установки, личностные ценности, направленность деятельности и поведения. Возможные в условиях социального и межличностного взаимодействия психотравмирующие ситуации, состояния фрустрации способствуют возникновению психических отклонений, наиболее частыми проявлениями которых являются аффективная неустойчивость, возбудимость, склонность к примитивным истероидным реакциям, повышенная агрессивность и т.п. (К.С. Лебединская, 1981, 1988; В.В. Лебединский, 1985; Л.М. Шипицына, Е.С. Иванов, 1992 и др.). Аффективно-возбудимые и истероидные черты личности, по мнению Е.М. Мастюковой (1989), особенно дезорганизуют поведение молодых людей, нарушают контакты с окружающими, когда они проявляются на фоне сниженного интеллекта. Поэтому часто у подростков и юношества с психическим недоразвитием наблюдаются нарушения поведения в виде повышенного возбуждения, агрессии, отказов, разрушительных действий, побегов и бродяжничества, воровства, преступлений на сексуальной почве и др. (В.Н. Кузьмина, К.С. Лебединская, М.М. Райская, Г.В. Грибанова и др.).

В работах ряда авторов указывается на то, что в условиях обеднения психики усиливается роль влечений как недифференцированных и недостаточно осознанных потребностей, детерминирующих поведение подростков (Э.Я. Альбрехт, 1976; А.П. Гозова и др., 1983; Е.С. Иванов, Л.М. Шипицына, 1989; В.В. Лебединский; Л.М. Шипицына, Е.С. Иванов, 1992 и др.). Приводятся примеры, когда недостаточно осознанное удовольствие, полученное ребёнком во время случайного отсутствия в школе, может привести к систематическим побегам из школы, бродяжничеству, случайное употребление алкоголя или другого наркотического вещества с возникающими при этом приятными ощущениями, эйфорией может быть одной из предпосылок развития пристрастия к алкоголю или психоактивным веществам.

Стремление к удовлетворению ближайших побуждений препятствует использованию в качестве целеполагающих и мотивообразующих факторов влияние общечеловеческих нравственных принципов и устойчивых социальных установок. Повышенная эмотивность мышления часто не обеспечивает должного контроля за формированием стремления, чем сокращает стадию борьбы мотивов, где наиболее важными являются операции анализа, сопоставления, прогнозирования, повышая тем самым вероятность импульсивной, необдуманной реализации побуждения.

Особенно острые проблемы социализации возникают у данной категории детей на микросоциальном уровне – в процессе семейного воспитания, межличностного взаимодействия с ближайшим окружением сверстников и взрослых в школе и вне ее. Именно отношения к умственно отсталым детям, возникающие на разных социальных уровнях, по мнению большинства исследователей, играют важную роль в том, проявятся ли в развитии личности этих детей какие-либо отклонения от нормы или нет.

Методологической основой, позволяющей сделать конкретные шаги к пониманию особенностей межличностного взаимодействия подростков и юношества с психическим дизонтогенезом с ближайшим социальным окружением, анализу формирующейся в результате этого взаимодействия системы отношений, определению роли данных факторов в развитии личностных свойств, может служить теория психического развития Л.С. Выготского. Одним из положений теории является обусловленность свойств личностных образований, их функциональных особенностей влиянием факторов социальной среды. Особую роль в социальном становлении аномального ребёнка Л.С. Выготский отводил семейному воспитанию, подчёркивая, что особенности личности аномального ребёнка во многом детерминированы его положением в семье [6, т.3]. Основой для понимания механизмов социального развития детей с психическим дизонтогенезом может служить также теория потребностей А. Маслоу, согласно которой отношения ребёнка на различных этапах онтогенеза соотносятся с такими базовыми и актуальными потребностями, как потребности в безопасности, самоутверждении, любви, самореализации, самоактуализации, самоуважении. Эти базовые потребности, при всей специфичности их проявлений, безусловно, свойственны и лицам с психическим недоразвитием. Данные теоретические позиции дают нам основания для понимания факторов, обуславливающих нормативный или отклоняющийся характер социального развития подростков и юношества с психическим дизонтогенезом, среди которых необходимо выделить систему отношений индивида, которые формируются в различных социальных средах: в семье, в школе, на улице в группе сверстников, и степень удовлетворения его актуальных потребностей.

Необходимо сказать, что проблема семейного воспитания ребёнка с признаками психического недоразвития пока не получила серьёзной теоретической разработки. Некоторым аспектам семейного воспитания детей с признаками психического недоразвития посвящены работы А. Борич (1979), Т.З. Волковой, М.Г. Лиленко (1989), Г.В. Грибановой (1988, 1990), И.А. Коробейникова (1995), В.Г. Печерского (2000), А.И. Раку (1977), А.А. Сагдулаева (1990), Л.М. Шипицыной (1992) и др. По данным этих авторов, значительная часть детей с психическим недоразвитием, проживает в дисгармоничных и проблемных семьях, члены которых ведут асоциальный образ жизни и в подавляющем большинстве имеют низкий интел-

лектуальный и культурный уровень, психические расстройства. Воспитание в таких семьях обычно происходит по типу гипопротекции, в условиях безнадзорности, отчуждения или противоречивых, непоследовательных требований, жестких и даже жестоких отношений, дефицита общения с родителями и под влиянием стихийного «воспитания» соседей, товарищей по двору, улице, нередко лиц с асоциальными и криминальными установками. Часто в таких семьях отмечаются алкогольные традиции, драки, циничность взрослых. Встречается даже определенная асоциальная преемственность. Так, например, кражи, совершаемые подростками, не только не осуждаются, но, в ряде случаев, одобряются и подстрекаются. Поскольку у умственно отсталых подростков и юношества длительное время преобладают неосознаваемые механизмы социализации – внушение, подражание, то асоциальные формы отношений и поведения в семье фиксируются в виде психопатологических черт, которые подкрепляются и закрепляются.

В результате деструктивных влияний асоциальной семьи у детей с психическим недоразвитием часто отмечается неумение взаимодействовать с окружающими, высокая конфликтность, нередко переходящая в зависимость от ближайшего окружения, неустойчивость нравственных ценностей, неадекватность самооценки, недостаточность самоконтроля. Все это снижает адаптивные возможности этой категории детей, делает их социально уязвимыми, социально отчужденными, «собираемыми психических травм».

В то же время, в ряде исследований указывается на наличие не менее значимой проблемы онтогенетической социализации детей и подростков с психическим недоразвитием, которая заключается в явлениях школьной дезадаптации. При этом указывается, что факторами школьной дезадаптации могут быть не только психофизические особенности школьника, но и неблагополучные школы, «трудные учителя», т.е. факторы, в совокупности составляющие параметры социальной ситуации развития конкретной личности.

В нашей стране, как известно, дети с психическим недоразвитием обучаются и воспитываются в специальных коррекционных образовательных учреждениях или классах коррекции, где процесс обучения имеет коррекционно-развивающий характер, что способствует компенсации дефекта умственного развития и повышает возможности гармоничного развития личности. Однако, деструктивность социально-психологических механизмов социального развития личности умственно отсталого подростка, на наш взгляд, существует и здесь, в школе, что требует специального изучения.

Нами уже отмечалась роль группы сверстников в социальном развитии подростков и юношества с психическим дизонтогенезом. В психолого-педагогической, юридической литературе имеется достаточно большое количество данных о том, что подростки и юноши с психическим дизонтогенезом занимают изолированно-отчужденное положение среди сверстников, а если и включаются в неформальные подростковые группы, то чаще им отводятся пассивно-подчиненные роли [3, 5, 8, 13].

Данное положение связано с тем, что подростки и юноши с психическим недоразвитием с присущей им недостаточностью адаптивных возможностей, как правило, сталкиваются с проблемами общения и в неформальной группе сверстников. Не умея строить отношения на основе групповых и коллективных установок, норм, они постоянно попадают в положение отвергаемых или дискриминируемых. Переживаемое подростком неприятное состояние, которое формируется в процессе деятельности, общения, если результат этой деятельности и общения не соответствует предъявляемым социальным окружением требованиям, снижает уровень его самоуважения, самооценку. Как известно, умственно отсталые подростки, юношество постоянно испытывают неудачи в ведущих видах деятельности – учебной, игровой, трудовой, часто не способны к конструктивному общению не только в неформальных, но и в формальных условиях. Поэтому дефицит самоуважения для них является обычным явлением, отсюда и потребность в самоуважении, признании себя, положительной

оценке себя другими людьми для данной категории детей может быть особенно сильной, или резко сниженной в зависимости от структуры дефекта, индивидуальных особенностей ребёнка.

В ряде работ зарубежных и отечественных авторов указывается на наличие корреляционных связей между пониженным самоуважением и девиантным поведением. Самоуважение, по интерпретации И.С. Кона, связано со стремлением каждого человека к положительному образу «Я», к признанию себя другими людьми – сверстниками и взрослыми, с потребностью в самоутверждении, самореализации. Часто, не имея возможности удовлетворить данную потребность социально приемлемыми способами, подросток обращается к девиантным формам поведения, которые являются компенсаторными, направленными на «восстановление» сниженного статуса, самоуважения. Формы компенсаторного поведения находятся в прямой зависимости от индивидуальных особенностей молодого человека, особенностей характера и ситуации. Так, описываются варианты компенсаторного поведения по типу гиперкомпенсации, с использованием физической силы и агрессивности, при наличии психопатоподобного склада характера подростков. Характерологически слабые приспосабливаются с помощью резкого снижения самооценки, усиления конформизма и унижительной подчиняемости лидерам группы. Естественно, что такие примитивные формы самоутверждения в социальной микросреде задерживают формирование и закрепление социальных ориентаций более высокого порядка. «Срабатывание» данных механизмов компенсации состояния пониженного уровня самоуважения происходит только в том случае, если такое поведение принято в соответствующей субкультуре сверстников, в случае же смены субкультуры такое поведение теряет смысл [7].

Таким образом, модусы поведения подростков и юношей с психическим недоразвитием во многом определяются как структурными новообразованиями их личности, обусловленными особенностями психофизиологического развития, так и своеобразием отношений, возникающих в условиях межличностного взаимодействия в микросоциальных группах. Направленность поведенческих реакций, их внутренняя регуляция во многих случаях носят компенсаторный характер, обусловленный фрустрацией базовых актуальных потребностей индивида.

Данное умозаключение позволяет сделать вывод о том, что многие ситуации социального и межличностного взаимодействия оказываются для подростков и юношества с психическим недоразвитием проблемными или даже конфликтными, поскольку выбор необходимых способов поведения и средств достижения результата в силу когнитивной ограниченности и обеднённости психики вызывает серьёзные затруднения. В отечественной психологической литературе очень мало работ, посвящённых изучению межличностного взаимодействия подростков и юношей с психическим недоразвитием в ближайшей социальной среде, особенностей поведения в проблемных и конфликтных ситуациях. Между тем, знание этих особенностей необходимо для понимания механизмов адаптогенеза и интеграционных возможностей этой категории молодых людей.

В зарубежной психологической науке, при отсутствии чётких методологических подходов к исследованию проблемы психического недоразвития, отчётливо просматривается прагматическое направление, связанное с организацией педагогической и социальной помощи детям с отклонениями в развитии. Анализ зарубежной литературы по данной проблематике выявляет устойчивый интерес авторов к проблеме развития личности ребёнка исходя из реальных жизненных условий, реальных трудностей, возникающих у ребёнка с психическим дизонтогенезом в процессе обучения, воспитания, в условиях социального взаимодействия.

Особое значение в формировании личности ребёнка с отклонениями в развитии придаётся характеру его раннего семейного воспитания, а также условиям социальной ситуации развития (условиям образовательного учреждения, ближайшего окружения). Так, например, в работах С. Гольдберга (1988), К. Райдера (1989), Б. Хартупа (1987) исследуются особенности межличностных отношений ребёнка с признаками психического дизонтогенеза с родителями. Авторы

приводят данные, свидетельствующие о том, что специфика отношений между ребёнком и родителями, особенно с матерью, на ранних этапах онтогенеза во многом обуславливает особенности его дальнейшего социального развития, характер его поведенческих реакций.

В работах М. Аронсона и др. (1985), Б. Гибелла (1983), П. Иннерхофера (1974), Х. Костева и др. (1983), С. Каммингса (1976), М. Симона (1978) негативные факторы семейного воспитания рассматриваются как факторы, способные привести к лёгким формам психического недоразвития, нарушениям поведения и социальной адаптации в целом, и потому, по мнению авторов, должны являться важным звеном в системе любой коррекционной программы.

Особое внимание в зарубежных исследованиях уделяется изучению влияния организованных форм обучения и воспитания на личностное и интеллектуальное развитие детей с признаками психического дизонтогенеза. В частности, в работах Д.Холмса, И. Рейха, И. Риффа (1988) отмечалось, что именно с началом организованного воспитания в условиях детского сада у детей с психическим дизонтогенезом фиксируются заметное замедление темпа интеллектуального развития и возникновение поведенческих отклонений. Сходное по направленности исследование, но уже в условиях школьного обучения было проведено М. Бурлие (1990), которым были отмечены существование затруднений адаптации в образовательной среде, высокая напряжённость и конфликтность отношений, складывающихся у педагогически запущенных детей, детей с аффективными расстройствами, с их нормально развивающимися сверстниками.

Интерес зарубежных исследователей к проблеме школьной адаптации и влиянию психолого-педагогических условий образовательной среды на личность и интеллектуальное развитие детей с психическим дизонтогенезом, по-видимому, связан с наметившимися в 70-е годы тенденциями в области специального образования, суть которых составляет переход от дифференциации образовательного пространства общего и специального образования к его интеграции. В этот период во многих странах Европы, в США возникают первые прецеденты закрытия специальных школ и перевода учащихся в общеобразовательные учреждения. Эти перемены в системе специального образования стали следствием либерально-демократических реформ, происходящих в странах Западной Европы, и обусловлены сменой отношения общества и государства к детям с отклонениями в развитии, новым пониманием их прав и, соответственно, новым пониманием обязанностей общества и государства в отношении этих детей.

Согласно опросу, проведённому ЮНЕСКО в 1986/87 годах, в котором участвовало 58 стран, три четверти из них считали интеграцию стратегическим направлением государственной политики в области специального образования [11]. Но уже в начале 90-х годов под влиянием научных исследований и накопленного практического опыта интегрированного обучения детей с проблемами в развитии в общеобразовательных школах возникли критические взгляды в осмыслении интегративных подходов к школьному образованию, связанные в первую очередь с тем, что государство, образовательные учреждения не могут создать систему условий, обеспечивающих необходимые для проблемного ребёнка темпы развития. В результате проблемный ребёнок в условиях массовой школы фактически часто не достигает уровня общего психофизического развития, которого он мог бы достичь при условии организации специального коррекционно-развивающего обучения.

Заключение

Результаты исследований, отражённые в данном теоретическом анализе работ, как отечественных, так и зарубежных авторов, создают достаточно чёткое представление о том, что факторы социального ряда, связанные с негативными чертами межличностных и социальных взаимодействий в семье, в ближайшей социальной, в том числе образовательной среде, нередко являются причиной ещё большего отставания аномального ребёнка в развитии, усугубляют проблемы его социальной адаптации.

Таким образом, проблемы социализации и социальной адаптации подростков и юношества с психическим недоразвитием необходимо рассматривать в контексте их межличностного взаимодействия в ближайшей социальной среде – основной сферы протекания этих процессов.

Данное видение функциональной значимости межличностного взаимодействия свидетельствует о необходимости более детального изучения детерминант и механизмов этого процесса в контексте определения их специфичности, обусловленной нарушениями психического развития у изучаемой нами категории подростков и юношества. Результаты такого изучения, на наш взгляд, необходимы для развития системы специального, коррекционного образования, определения наиболее эффективных средств и направлений социальной, воспитательной и коррекционной работы, обеспечивающей социальную адаптацию и интеграцию лиц с психическим недоразвитием в обществе.

Литература

1. Андреева Г.М. Социальная психология / Г.М. Андреева. М.: Аспект-Пресс, 1996. 375 с.
2. Адлер А. Теория и практика индивидуальной психологии / А. Адлер. М.: Наука, 1993. 346 с.
3. Беличева С.А. Основы превентивной психологии / С.А. Беличева. М.: Просвещение, 1993. 196 с.
4. Березин С.Л. Диалектика внешнего и внутреннего в нравственном развитии личности / С.Л. Березин // Философские науки. 1982. № 3. С. 32-37.
5. Божович Л.И. Личность и её формирование в детском возрасте / Л.И. Божович. М.: Просвещение, 1968. 258 с.
6. Выготский Л.С. Сочинения: В 6 т. / Л.С. Выготский. М.: Педагогика, 1982-1984.
7. Кон И.С. Психология ранней юности / И.С. Кон. М.: Просвещение, 1989. 254 с.
8. Коробейников И.А. Нарушения развития и социальная адаптация / И.А. Коробейников. М.: ПЕР СЭ, 2002. 192 с.
9. Левкович В.П. Моральные нормы – регуляторы поведения личности / В.П. Левкович // Педагогика. 1976. № 3. С. 30-33.
10. Ломов Б.Ф. Теоретические и методологические проблемы современной психологии / Б.Ф. Ломов. М.: Наука, 1984. 444 с.
11. Малофеев Н.Н. Специальное образование за рубежом / Н.Н. Малофеев. М.: Просвещение, 2000. 296 с.
12. Петровский А.В. Развитие личности. Возрастная периодизация / А.В. Петровский // Психология развивающейся личности. М.: Наука, 1987. С. 79-96.
13. Пожар Л. Психология аномальных детей и подростков – патопсихология / Л. Пожар. М.–Воронеж: Аспект-Пресс, 1996. 260 с.
14. Рубинштейн С.Л. Проблемы общей психологии / С.Л. Рубинштейн. М.: Наука, 1973. 348 с.
15. Специальная педагогика / под ред. Н.М. Назаровой. М.: Академия, 2000. 400 с.
16. Эльконин Д.Б. Детская психология / Д.Б. Эльконин. М.: Просвещение, 1960. 328 с.
17. Bourlier M. Bilan des intégrations des enfants et adolescents suivis dans un service de pédopsychiatrie / M. Bourlier // *Neyropsychiat. Enhance et adolescence*. 1990. № 3. P. 38-41.
18. Holmes D.L. Kindergarten performances of children born at risk / D.L. Holmes, J.N. Reich, M.L. Rieff // *Can. J. Psychol.* 1988. № 2. P. 42-47.
19. Gibello B. Variés et fosses de déviances mentales chez l'enfant / B. Gibello // *Vie med.* 1983. № 5. P. 64-69.
20. Goldberg S. Risk factors in infant-mother attachment / S. Goldberg // *Can. J. Psychol.* 1988. № 2. P. 42-48.

21. Reider C. Organizational perspective on cognitive control functioning and cognitive-affective balance in maltreated children / C. Reider // Dev. Psychol. 1989. № 3. P. 25-28.

Печерский Владимир Григорьевич –
кандидат психологических наук, доцент, заведующий кафедрой «Психология и педагогика»
Саратовского государственного социально-экономического университета

КАФЕДРЕ «АВТОМОБИЛИ И АВТОМОБИЛЬНОЕ ХОЗЯЙСТВО» – 75 ЛЕТ

28 декабря 1930 г. в соответствии с приказом № 123а по Саратовскому автомобильно-дорожному институту была открыта кафедра «Эксплуатация автотранспорта», которая после объединения в 1991 году с кафедрой «Производство и ремонт машин», получила одноименное название со специальностью 150200 «Автомобили и автомобильное хозяйство», по которой ведется подготовка инженерных кадров.

Первым руководителем кафедры был доцент П.В. Каниовский. Лекционные занятия проводились преподавателями кафедры Ф.И. Маковкиным, А.В. Грибковым, Х.Н. Казовским, а также ведущими учеными г. Москвы профессорами Н.Н. Тихомировым, И.М. Лениным, Б.С. Фалькевичем и другими. Для практических занятий было оборудовано помещение в гараже института площадью 100 м², а также использовалась производственная база автохозяйств города.

Несколько позже, как самостоятельное структурное подразделение была образована кафедра «Авторемонта», затем «Ремонт автомобилей» и впоследствии «Производство и ремонт машин» (ПРМ).

В разные годы кафедры «Эксплуатация автотранспорта» и «Производство и ремонт машин» возглавляли известные ученые профессора Е.И. Милославский (кафедра ЭАТ 1939-1943 гг.), К.Т. Кошкин (ПРМ 1942-1945 гг.), И.И. Прокофьев (ПРМ 1947-1949 гг.), впоследствии ставший ректором САДИ, М.П. Мелков (1949-1964 гг.), В.А. Наливкин (ПРМ 1964-1976 гг.), В.А. Бабенко (ПРМ, 1976-1986 и 1988-1997 гг.), А.В. Митряков (ПРМ, 1986-1988 гг.), Ф.Н. Авдонькин (ЭАТ 1971-1991 гг.)

Широкую признательность среди автомобилистов России заслужили к.т.н., доцент А.И. Клочкин, который заведовал кафедрой «Эксплуатация автотранспорта» с 1946 по 1971 годы, к.т.н., доцент В.П. Карташов, книги по технологическому проектированию АТП которого особенно популярны среди студентов и специалистов.

На кафедре созданы научные школы по теоретическим основам технической эксплуатации, у истоков которой находился заведующий кафедрой ЭАТ Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, д.т.н., профессор Ф.Н. Авдонькин, а ныне возглавляет заведующий кафедрой ААХ д.т.н., профессор А.С. Денисов; по восстановлению и упрочнению деталей машин (руководители д.т.н., профессор М.П. Мелков, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, профессор В.А. Наливкин и профессор В.А. Бабенко); по бесстендовым методам диагностирования технического состояния автомобилей (руководитель – Заслуженный изобретатель РСФСР А.А. Отставнов, впоследствии заведовавший кафедрой «Автомобили и двигатели»).

В 1930-1935 гг. была заложена лабораторная база кафедры в гараже института 60 м². В 1935 году состоялся первый выпуск инженеров автомобилистов – 137 человек. Среди них были: Н.А. Стояков – председатель Саратовского горисполкома; А.В. Руненков – генерал-майор, начальник АБТУ Москвы; А.В. Грибков – доцент кафедры «Автомобили и двигатели» СПИ.

С 1936 по 1941 годы кафедра размещалась в учебном корпусе и в гараже, а также частично в автохозяйствах, по заявкам кафедры поступало лабораторное оборудование. В годы Великой Отечественной войны коллектив кафедры сосредоточил усилия в помощь фронту. Было организовано серийное производство газогенераторных автомобилей и учебных танков (руководитель А.И. Клочкин). В 1943 году им была защищена первая на кафедре кандидатская диссертация. Под руководством К.Т. Кошкина сотрудники кафедры оказали существенную помощь в организации и создании Саратовского авторемзавода, а также ремонтной базы на территории гаража института, ремонтировавших автомобили для воинских частей.

С 1946 по 1960 годы кафедрой выпущено 748 специалистов автомобильного транспорта, расширялась лабораторная база кафедры. С 1946 по 1980 годы кафедра выпустила 1551 автомобилиста, а также было защищено 19 кандидатских диссертаций и одна докторская, сформировались научные направления, работы вышли на международный уровень. Площадь лабораторий возросла до 550 м². В 1976 году на кафедре началась подготовка по еще одной специальности – «Эксплуатация

автомобильного транспорта». Кафедра оснащалась современным автосервисным оборудованием и вычислительной техникой, рос объем хозяйственных научных работ. Укрепились научно-технические связи с Ярославским моторным заводом, с КамАЗом. Практика студентов проходила в передовых предприятиях всей страны.

С 1980 по 2005 годы на кафедре защищено 22 кандидатских диссертаций и 4 докторских, получено 80 авторских свидетельств, издано 18 монографий, 20 учебных пособий в центральных издательствах, 143 учебно-методических пособия и более 40 сборников научных статей.

За 75 лет сотрудниками кафедры защищено 7 докторских (Ф.Н. Авдонькин, В.А. Наливкин, А.С. Денисов, М.П. Мелков, А.С. Гребенников, В.Н. Басков, И.К. Данилов) и более 60 кандидатских диссертаций, получено свыше 85 патентов и авторских свидетельств на изобретения, издано 76 монографий и учебных пособий.

Шесть преподавателей награждены знаками «Изобретатель СССР», 5 – знаками «Почетный автотранспортник России», 1 – «Почетный транспортник РФ», 1 – «Почетный работник высшего профессионального образования РФ».

За эти годы кафедрой подготовлено свыше шести тысяч инженеров-механиков автомобильного транспорта. Студенты А.И. Ханин, А.А. Мажидов, А.В. Тезиков, А.В. Поляков, С.М. Пыжов получили золотые медали победителей смотра-конкурса научных студенческих работ, а А.И. Бугрей – бронзовую медаль ВДНХ СССР, 42 студента награждены дипломами Министерства высшего и среднего образования СССР.

Профессора Ф.Н. Авдонькин, В.А. Бабенко и А.С. Денисов вели подготовку специалистов автомобильного транспорта в ведущих вузах Монголии, Кубы, Чехословакии.

Гордостью кафедры стали ее выпускники: Н.В. Никаноров – первый зам. министра и Н.С. Акулинушкин – зам. министра автомобильного транспорта РСФСР, зам. министра автомобильного транспорта Латвии А.Д. Клесарев, В.П. Поспелов, Эстонии – О.П. Каерлепп, Молдавии – В.Р. Зленко, зам. генерального директора А.И. Малышев, начальник управления ТО и запасных частей В.И. Лагутин, зам. главного инженера АО «Камский автомобильный завод» А.Т. Кулаков, почетный гражданин г. Саратова Генеральный директор ОАО «Нефтемаш» Ф.С. Шимчук, Генеральный директор ОАО «Корпус» В.А. Берестовский, Генеральный директор приборомеханического завода Е.А. Левшин, генерал-лейтенант, д.т.н., профессор В.Ф. Платонов – зам. генерального директора НАТИ, начальник Приволжского территориально-транспортного управления, к.т.н., профессор А.А. Кокушкин, проректора Саратовского политехнического института профессор А.П. Анисимов и доцент В.М. Каракозов, министр транспорта и связи правительства Саратовской области В.М. Васильев.

В годы Великой Отечественной войны на полях сражений участвовали доценты В.Н. Афанасьев, Г.Д. Жедяевская, В.П. Карташов, В.М. Каракозов, А.П. Окулов, А.П. Лисицкий, профессор В.А. Наливкин, лаборанты А.А. Коровкин, В.В. Тараканов, П.А. Трущелев, А.Д. Казеннов. В Сталинградской битве участвовал В.М. Каракозов, а А.П. Окулов защищал блокадный Ленинград.

При кафедре функционирует Поволжский научный центр Российской академии транспорта, научно-технологический центр «Механик-Т»; она является головной организацией среди вузов РФ по проблеме восстановления и упрочнения деталей автомобильной техники.

В настоящее время сотрудниками кафедры являются:

Профессора: Денисов Александр Сергеевич (зав. каф.), Бабенко Виктор Андреевич, Митряков Алексей Васильевич, Наливкин Владимир Алексеевич, Гребенников Александр Сергеевич.

Доценты: Асоян Артур Рафикович, Боровиков Герман Александрович, Карпенков Владимир Ефимович, Консетов Виталий Евгеньевич, Кокушкин Арсений Борисович, Тугушев Борис Федорович, Родионов Вячеслав Викторович, Трефилов Михаил Анатольевич, Виноградов Александр Николаевич, Бузов Анатолий Викторович, Куверин Игорь Юрьевич, Романцов Роман Викторович.

Ассистенты: Смольков Сергей Владимирович, Грунин Евгений Васильевич, Видинеев Александр Александрович, Абушаев Равиль Джеферович, Дамзен Виктор Александрович.



Профессор П.В. Каниовский
1930-1937



Преподаватель Ф.И. Маковкин
1937-1939



Профессор Е.И. Милославский
1939-1943



Доцент А.Н. Никитин
1943-1946



Доцент А.И. Клочков
1946-1971



Профессор Ф.Н. Авдонькин
1971-1991

Заведующие кафедрой «Эксплуатация автотранспорта»



Доцент В.Г. Шунков
1930-1940



Доцент Н.С. Решетников
1940-1942



Профессор И.Г. Кошкин
1942-1947



Профессор И.И. Прокофьев
1947-1949



Профессор М.П. Мелков
1949-1964



Профессор В.А. Наливкин
1964-1976



Профессор В.А. Бабенко
1976-1986 и 1988-1998



Профессор А.В. Митряков
1986-1988



Профессор А.С. Денисов
с 1998

**Заведующие кафедрой «Производство и ремонт машин»
и «Автомобили и автомобильное хозяйство»**

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

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.

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.