

Труды

ISSN 1816-210X

Нижний Новгород (2010)

№ 3 (82)

Нижегородского
государственного
технического
университета
им. Р.Е. Алексеева



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА

ТРУДЫ
НИЖЕГОРОДСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА

№ 3 (82)

Нижний Новгород 2010

УДК 050(06)
ББК 9я54
Т 78

Т 78 Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2010. № 3 (82). – 330 с.

Выходит 4 раза в год

Главный редактор В.П. Кириенко

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А.Б. Лоскутов (зам. гл. редактора), Е.Г. Ивашкин (зам. гл. редактора),
В.В. Беляков (отв. секретарь), О.В. Пугина (отв. редактор),
Т.В. Третьякова (технич. секретарь), Т.П. Новикова (технич. редактор),
М.В. Ширяев (редактор электронного издания)

Члены редколлегии: О.М. Власова, В.Л. Башкатов, В.Г. Баранов,
В.П. Хранилов, А.А. Куркин, А.Ю. Панов, С.М. Дмитриев, В.К. Майстренко,
А.М. Грошев, С.Н. Хрунков, С.В. Хватов, И.О. Леушин, М.Г. Михаленко,
А.Н. Зайцев, Е.А. Зайцева, Е.А. Чернышов, О.С. Кошелев, В.В. Глебов,
В.Ф. Кулепов, Е.Н. Соснина

УДК 050(06)
ББК 9я54

Электронная версия журнала:
<http://www.nntu.nnov.ru>

© Нижегородский государственный
технический университет
им. Р.Е. Алексеева, 2010

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

**STATE EDUCATIONAL INSTITUTION
OF HIGHER PROFESSIONAL EDUCATION
NIZHNI NOVGOROD STATE TECHNICAL UNIVERSITY
n.a. R.Y. ALEXEEV**

TRANSACTIONS
of NIZHNI NOVGOROD STATE TECHNICAL
UNIVERSITY
n.a. R.Y. ALEXEEV

№3 (82)

Nizhni Novgorod 2010

Transactions of NIZHNI NOVGOROD STATE TECHNICAL UNIVERSITY n. a. R.Y. Alexeev
/ NSTU n.a. R.Y. Alexeev. - Nizhni Novgorod, 2010. № 3 (82). – 330 p.

The journal is issued 4 times a year

Editor-in-Chief V.P. Kiriyenko

EDITORIAL BOARD:

A.B. Loskutov (Deputy Editor-in-Chief), Y.G. Ivashkin (Deputy Editor-in-Chief),
V.V. Belyakov (Executive Secretary), O.V. Pugina (Executive Editor),
T.V. Tretyakova (Technical secretary), T.P. Novikova (Technical Editor),
M.V. Shiryaev (Editor of Electronic Edition)

Members of Editorial Board: O.M. Vlasova, V.L. Bashkatov, V.G. Baranov,
V.P. Khranilov, A.A. Kurkin, A.Y. Panov, S.M. Dmitriev, V.K. Maystrenko,
A.M. Groshev, S.N. Khrunkov, S.V. Khvatov, I.O. Leushin, M.G. Mikhaleiko,
A.N. Zaytsev, Y.A. Zaytseva, Y.A. Chernyshov, O.S. Koshelev, V.V. Glebov,
V.F. Kulepov, Y.N. Sosnina

Electronic version of the journal:
<http://www.nntu.nnov.ru>

СОДЕРЖАНИЕ

РАДИОТЕХНИКА, СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ, АНТЕННЫ И УСТРОЙСТВА СВЧ.....	11
Зимин В.В. Псевдоголографический способ помехоустойчивой передачи и приема цифровой информации	11
Второва И.А., Качалов О.Б., Плесовских К.Ю. Обработка многомерного сигнала на основе метода главных компонент.....	21
Мишин А.Ю., Фролова О.А., Исаев Ю.К., Кляпнев Д.А. Комплексная навигационная система летательного аппарата.....	27
МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ.....	34
Зайцев А.И., Костенко И.С., Чернов А.Г. Моделирование воздействия удалённого цунами на дальневосточное побережье России.....	34
Морозов Е.Г., Демидова Т.А., Нечволодов Л.В. Внутренние волны, генерированные около подводного хребта Мендосино (Западное побережье США).....	40
Кошелев О.С., Филипосян С.Е. Колебательное движение в вязкой среде.....	47
ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.....	58
Кондратьев В.В., Михайлов К.М. Реконfigurирование конечных автоматов.....	58
Утробин В.А. Информационные модели организации сетчатки глазного яблока.....	66
Кулясов П.С., Никулин Е.А. Алгоритм адаптивного разбиения сцены на фрагменты.....	75
Фейгин М.И. Исследование устойчивости диаграммы управляемости судна при ветре и ее критических точек.....	80
МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ.....	89
Букин П.Э., Фролова И.Н. Мониторинг промышленного оборудования.....	89
Галкин В.В., Кудрявцев С.А., Терещенко Е.Г., Дербенев А.А. Метод расчета деформированного состояния металла крепежных изделий, получаемых холодной высадкой.....	93
Гордеев Б.А., Голубева К.В., Горсков Г.В., Осмехин А.Н. Самосинхронизация источников вибрации, как причина возникновения низкочастотных биений.....	100
ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА.....	106
Бородин С.С., Дмитриев С.М., Легчанов М.А., Львов А.В., Солнцев Д.Н., Сорокин В.Д., Хробостов А.Е. Экспериментальные исследования локального массообмена теплоносителя в твс-квадрат реакторов типа рwt.....	106
Друмов И.В., Ходыкин А.В. Расчетные исследования разгона ротора турбомашин в электромагнитных подшипниках.....	113
Дмитриев С.М., Малышев В.А., Осипов М.С., Самусенков В.В. Научно-исследовательская установка для подготовки инженеров-физиков.....	119
Ермошин В.В., Кожевникова Т.В., Назаров А.В., Слестникова И.Д. Расчет коэффициента отражения от волноводной нагрузки методом коллокаций.....	124

НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ.....	133
Палутин Ю.И. Определение величины требуемого подпора давления воздуха в салонах автомобилей.....	133
Лавров Л.Г., Кузьмин Н.А. Моделирование и управление транспортными процессами	138
Песков В.И., Воронков О.В. Использование сэндвич-панелей в конструкции автобусных кузовов.....	148
Карташов А.Б. Применение композиционных материалов в конструкции ходовой части городского автомобиля.....	155
ПРОБЛЕМЫ КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ И ОКЕАНОТЕХНИКИ.....	160
Прокудин А.Н., Одинокое В.И. Исследование возможностей нового способа ликвидации заторообразований на реках.....	160
Ионов Б.П. Курсовая устойчивость судов во льдах.....	167
Косолапов Д.В., Химич В.Л. Исследование устойчивости работы форсунки дизельного двигателя	174
Лобастов В.П. Особенности проектирования транспортных систем смешанного (река-море) сообщения.....	180
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА.....	186
Татаров Е.В. Режимы работы трансформаторов тяговых электроподстанций железных дорог.....	186
Герман Л.А. Автоматизация электроснабжения в аварийных ситуациях тяговой сети железных дорог.....	196
Степанов С.Е. Вычислитель угла нагрузки для синхронных двигателей.....	204
МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.....	211
Стулов В.В., Севастьянов А.М. Получение полых алюминиевых отливок в футерованной форме.....	211
Стулов В.В., Горнаков А.И. Исследование гидродинамики жидкой стали в кристаллизаторе МНЛЗ.....	218
Коровин В.А., Леушин И.О., Героцкий В.А. Взаимосвязь процессов плавки и модифицирования высокопрочного чугуна.....	224
ХИМИЯ, ХИМИЧЕСКИЕ И БИОТЕХНОЛОГИИ.....	230
Суворов С.С., Козырев И.В. Моделирование процесса ректификации тетраоксида кремния.....	230
Плохов С.В., Велиева Ю.В., Корнев Р.А. Электрохимическое извлечение меди (II) из отработанных растворов химического меднения.....	238
Смыслова Т.Н., Ивин С.В., Орлов Л.К. Адсорбционные и кинетические характеристики молекул моносилана на ростовой поверхности Si(100) в условиях формирования двойных связей радикалов с поверхностью.....	243
Никандров М.И., Никандров И.С., Краснов Ю.В. Исследование кристаллизации одно-, двух- и трехзамещенных фосфатов натрия.....	249

ЭКОНОМИКА, ИННОВАЦИИ И МЕНЕДЖМЕНТ.....	255
Удалов Ф.Е., Алехина О.Ф. Удалов О.Ф., Воронов Н.А. Организационный аспект решения инновационно-стратегических проблем на промышленных предприятиях.....	255
Калугин Т.В., Гусева И.Б. Выработка принципов построения системы показателей эффективности промышленного предприятия на основе современных концепций стратегического управления.....	260
Корнилов Д.А. Тенденции и направления развития научно-инновационной политики в РФ.....	266
СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ, ИННОВАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ, PR-ТЕХНОЛОГИИ.....	276
Смирнова Н.В. Актуальные проблемы Интернет-коммуникаций: возможности и ограничения.....	276
Куликова А.В. Телевидение как техника конструирования повседневности: гендерный аспект	282
Казакова В.И. Маргинальность: опыт феноменологического анализа.....	289
Шimina М.А. Функциональное наполнение управленческой деятельности.....	296
МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.....	308
Вавилов В.Д., Волков В.Л., Улюшкин А.В. Оптимизация параметров микромеханического акселерометра.....	308
Юрманов С. Ю. Оптимизация упругого подвеса чувствительных элементов датчиков в системах навигации.....	315
Вавилов И.В. Математическая модель чувствительного элемента дус типа “линейный вибратор”.....	325

CONTENTS

RADIO ENGINEERING, TELECOMMUNICATION SYSTEMS, AERIALS AND SHF DEVICES.....	11
Zimin V.V. Pseudo-holographic way of noiseproof transfer and reception of the digital information.....	11
Vtorova I.A., Kachalov O. B, Plesovskikh K.Y. Processing of a multi-dimensional signal on the basis of a method of the main things a component.....	21
Mishin A.Yu., Frolova O.A., Isaev Yu.K., Klyapnev D.A. Aircraft integrated navigation system.....	27
MECHANICS OF FLUID, GAS AND PLASMA	34
Zaytsev A.I., Kostenko I.S., Chernov A.G. Modeling of influence from removed tsunami a far east coast of Russia.....	34
Morozov E.G., Demidova T.A., Nechvolodov L.V. Internal waves generated near the Mendocino ridge (western coast of USA).....	40
Koshelev O.S., Piliposian S.E. Vibratory motion in viscous medium.....	47
INFORMATION SCIENCE AND CONTROL SYSTEMS.....	58
Kondratev V.V., Michailov K.M. Reconfiguring finite automations	58
Utrobin V.A. Information models of the eyeball retina organisation.....	66
Kulyasov P.S., Nikulin E.A. Algorithm of adaptive scene subdivision.....	75
Feigin M.I. Investigation of stability of ship controllability diagram and its bifurcation points upon the wind.....	80
MECHANICAL ENGINEERING AND AUTOMATION	89
Bukin P.E., Frolova I.N. Monitoring of industrial equipment.....	89
Galkin V.V., Kudryavtsev S.A., Tereshchenko E.G., Derbenev A.A. A method for calculating the strain state of the metal fasteners in multistage cold upsetting process.....	93
Gordeev B.A., Golubeva K.V., Gorskov V.P., Osmekhin A.N. Self-synchronisation of vibrating sources is the reason of occurrence low-frequency palpations.....	100
NUCLEAR POWER ENGINEERING AND APPLIED PHYSICS	106
Borodin S.S., Dmitriev S.M., Legchanov M.A., Lvov A.V., Solntsev D.N., Sorokin V.D., Khrobostov A.E. Local mass exchange experimental researches of the heat carrier in fuel assembly of pwr reactors.....	106
Drumov I.V., Hodykin A.V. Analytical studies of tm rotor acceleration in electromagnetic bearings.....	113
Dmitriev S.M., Malichev V.A., Osipov M.S., Samusenkov V.V. Research facility for training of engineers-physicists.....	119
Ermoshin V.V., Kozhevnikova T.V., Nazarov A.V., Slastnikova I.D. Calculation reflection coefficient from waveguide load by collocation method.....	124

LAND-BASED TRANSPORT SYSTEMS	133
Palutin Yu. I. Determination of the required air pressure quantity in an automobile salon....	133
Lavrov L.G., Kuzmin N.A. Simulation and control of transport processes.....	138
Peskov V.I., Voronkov O.V. Ing sandwich-panels in body bus construction.....	148
Kartashov A.B. Pplication of composite materials in the construction of chassis vehicles....	155
PROBLEMS OF SHIPBUILDING AND OCEAN TECHNOLOGY	160
Prokudin A.N., Odionokov V.I. Investigation of possibilities of new ice jams removing method.....	160
Ionov B.P. Course stability of vessels in ice.....	167
Kosolapov D.V., Khimich V.L. Study of nozzle stability of diesel engine.....	174
Lobastov V.P. The design features of transport systems of mixed (river-sea) communications...	180
ELECTRICAL ENGINEERING AND POWER INDUSTRY	186
Tatarov E.I. Modes work of transformers on traction substation railways.....	186
German L.A. Automation of electric supply in emergency of railways contact networks.	196
Stepanov S.E. The calculator of a comer of loading of synchronous engines.....	204
METALLURGY AND SCIENCE MATERIALS	211
Stulov V.V., Sevastyanov A.M. Getting hollow aluminum castings in lined form.....	211
Stulov V.V., Gornakov A.I. Study of hydrodynamics of liquid steel in the mold continuous caster.....	218
Korovin V.A, Leushin I.O., Gerotsky V.A. Interrelation of smelting processes and modifyings of high-tensile pig-iron.....	224
CHEMISTRY, CHEMICAL AND BIOTECHNOLOGIES	230
Suvorov S.S., Kozyrev I.V. The process modeling of silicon tetrahloriude Rectification.....	230
Plohov S. V., Velieva Yu. V., Kornev R. A. Electrochemical recovery of copper from the spent electroless copper plating solutions.....	238
Smislova T.N., Ivin S.V., Orlov L.K. Adsorption and kinetic characteristics of monosilame molecules on growing surface si (100) at double bounding formation between radicals and serface.....	243
Nikandrov M.I., Nikandrov I.S., Krasnov J.V. Study of crystallization of one-, two - and trehzameschennyh sodium phosphate.....	249
ECONOMICS, INNOVATIONS AND MANAGEMENT	255
Udalov F.E., Alekhina O.F., Udalov O.F., Voronov N.A. Organizational aspect of the decision of is innovative-strategic problems at the industrial enterprises.....	255
Kalugina T.V., Guseva I.B. The development of principles for constructing a system of efficiency parameters for industrial enterprises on the basis of modern concepts of strategic management.....	260
Kornilov D.A. Tendencies and directions of development of the scientifically-innovative policy in the Russian Federation.....	266

SOCIAL SCIENCES, EDUCATIONAL INNOVATIONS, PR-TECHNOLOGIES.....	276
Smirnova N.V. Actual problems of internet communications: opportunities and limitations...	276
Kulikova A.V. TV as designing daily occurrence techniques: gender aspect.....	282
Kazakova V.I. Marginality: phenomenological analysis attempt.....	289
Shimina M.A. Functional filling of governing activity.....	296
MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS.....	308
Vavilov V.D., Volkov V.L., Ulyushkin A.V. Optimization parameter of micromechanical accelerometer.....	308
Yurmanov S. Yu. Optimization springy support of sensitive elements for sensors by navigation systems.....	315
Vavilov I.V. Mathematical model of the detector element dus type "linear vibrator".....	325

РАДИОТЕХНИКА, СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ, АНТЕННЫ И УСТРОЙСТВА СВЧ

УДК: 621.396.669.8

В.В. Зимин

ПСЕВДОГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЙ ПЕРЕДАЧИ И ПРИЕМА ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Дзержинский политехнический институт (филиал) НГТУ им. Р.Е. Алексеева

Исследовано воздействие помехи на работу системы передачи и приема цифровой информации, использующей каналный переносчик в виде функций Уолша и реализующей псевдоголографический способ кодирования. Проведено моделирование работы системы в среде разработки лабораторных виртуальных приборов LabVIEW 7.1 фирмы NATIONAL INSTRUMENTS при различных значениях помеха/сигнал (П/С). Показано, что система работает без потери и искажения передаваемой информации при отношении П/С=1250 (по мощности), что позволяет создавать системы передачи и приема цифровой информации с меньшим потреблением мощности, улучшенными весогабаритными характеристиками, меньшим уровнем излучения, а, следовательно, большей скрытностью передачи, повышенной дальностью действия в условиях сильных помех.

Ключевые слова: помехоустойчивость, цифровая информация, системы радиосвязи, моделирование, виртуальные приборы, отношение помеха/сигнал.

Введение

Современные системы радиосвязи и передачи данных часто работают в условиях воздействия сильных естественных помех, а также активных помех искусственного происхождения. Иногда принципиально важным является сокрытие самого факта передачи данных. Скрытность передачи, в частности, можно обеспечить, если уровень входного сигнала будет намного меньше уровня собственных шумов первого каскада приемного устройства, поскольку в этом случае отношение сигнал/помеха на выходе приемника станет ещё меньше и обнаружить сигнал, скрытый мощной помехой, обычными средствами будет невозможно. Однако для такой передачи система должна обладать весьма высокой помехоустойчивостью и способностью обнаруживать наличие сигнала в смеси при очень большом отношении помеха/сигнал.

1. Псевдоголографическое кодирование

В радиолокации широкое распространение получил голографический способ обработки информации. Сначала получают радиоголограмму объекта, для чего передатчик формирует опорный радиосигнал, используемый для облучения цели. Радиосигнал, отраженный от цели, взаимодействует на приемной стороне с опорным сигналом и обеспечивает формирование радиоголограммы, которую затем превращают в оптическую, после чего производят восстановление изображения путем облучения голограммы плоской когерентной оптической волной. Вследствие этого происходит дифракция падающей волны на интерференционной картине голограммы и образуются мнимое и действительное изображение объекта, которое

фиксируют для дальнейшего использования [1]. Голографическая обработка радиосигналов с использованием высокой разрешающей способности в сочетании с вторичной обработкой позволяет осуществлять эффективную фильтрацию имитирующих помех. Голографические системы обеспечивают лучшую фильтрацию пассивных помех по сравнению с радиолокационными станциями, работающими с непрерывными сигналами. Существуют голографические радиолокационные станции, где реализован указанный принцип [2].

Недостатками голографического способа обработки информации являются большая сложность реализации и высокая стоимость системы. Использование данного способа для передачи и обработки информации требует решения ряда сложных задач. Получение и оцифровка голограммы передаваемого сообщения (например, голограммы документа на бумажном носителе) – многоэтапный и достаточно сложный технический процесс, который занимает много времени. При этом передаваемое сообщение после оцифровки будет иметь большой объем из-за высокого разрешения, которое требуется для получения голограммы. Частота интерференционной картины соизмерима с длиной световой волны, поэтому разрешающая способность фотоматериала должна быть не менее 6000 линий на миллиметр, что составляет более 150000 точек на дюйм. Не меньшее разрешение должно быть и при сканировании голограммы при превращении её в цифровой образ. Изготовление сканирующего устройства с таким разрешением представляет серьезные трудности.

На приемной стороне для восстановления информации требуется получение из цифрового образа аналогового варианта голограммы, физической регистрации голограммы на пластине, восстановления с голограммы изображения и фиксации его на твердом носителе. Система получается сложной и дорогостоящей, однако применяется на практике как у нас в стране, так и за рубежом в голографических РЛС, хотя не для целей передачи информации, а только для её обработки.

Использование уникальных свойств голограммы для передачи цифровой информации представляется перспективным. Отличительной особенностью голограммы является то, что при частичном её разрушении изображение можно восстановить даже из осколка голографической пластины, хотя и с некоторой потерей качества. При голографической передаче цифровых данных это означает, что частичное поражение голограммы помехой не должно приводить к серьезной потере информации. Голограмма обладает высокой помехоустойчивостью. Основой высокой помехоустойчивости голограммы является то, что даже фрагмент голограммы содержит значительную часть информации и поэтому поражение помехой части цифрового образа голограммы почти не приводит к потере информации, поскольку эта информация в неповрежденном виде содержится в других фрагментах цифрового образа и может быть оттуда извлечена.

Однако, учитывая сложности реализации голографического способа передачи и приема цифровой информации, более перспективным представляется использование псевдоголографического способа, сохраняющего положительные качества аналога, но значительно более простого в реализации. Псевдоголографический способ сохраняет удивительные свойства восстановления объекта из осколка голограммы.

Голограмма точечной цели представляет собой зонную решетку Френеля, состоящую из темных и светлых колец. Темные кольца соответствуют пучностям (максимумам) интенсивности интерференционной картины радиоволн, светлые – узлам (минимумам). Голограмму от сложных предметов рассматривают как суперпозицию зонных решеток Френеля, образованных каждой точкой предмета.

Предлагаемый способ передачи и приема цифровой информации не накладывает никаких ограничений на передатчик и приемник, поэтому может применяться с любыми цифровыми приемо-передающими системами. Способ осуществляет дополнительное кодирование информации на передающей стороне, обеспечивающее самовосстановление данных на приемной стороне при её разрушении помехой во время прохождения сигнала по каналу связи. Наибольшая помехоустойчивость получается в том случае, когда передача информации

осуществляется с использованием канального носителя на базе ортогональной системы функций Уолша [3, 4]. Поэтому в дальнейшем, для конкретизации рассмотрения, а также при экспериментальной проверке предлагаемого способа передачи и приема цифровой информации в качестве канального переносчика будет применяться система функций Уолша.

Элементарным информационным объектом будем считать логическую единицу и поэтому для каждой «1» будем строить псевдоголограмму в виде набора колец разного диаметра. Передаваемую цифровую информацию преобразуем в исходную двумерную матрицу, затем введем вспомогательную входную двумерную матрицу одинакового с исходной размера, в которой для каждой «1» исходной матрицы построим набор окружностей с центром в ячейке, где находится рассматриваемая «1». В элементы вспомогательной входной матрицы, по которым проходят окружности, запишем «1», а остальную часть массива обнулим, полученную вспомогательную входную матрицу преобразуем в одномерный массив, который разобьем на цифровые группы и заменим каждую цифровую группу своей гармоникой функции Уолша. На приемной стороне, на интервале продолжительностью в период в смеси сигнал плюс шум определим амплитуды гармоник функций Уолша, найдем максимальную из них и произведем преобразование функции Уолша с максимальной амплитудой в соответствующую цифровую группу, а затем повторим процедуру для последующих временных интервалов. Построим и заполним принятыми данными вспомогательную выходную двумерную матрицу, одинаковую с исходной по размеру. По окружностям из «1» определим их центры, построим выходную двумерную, предварительно обнуленную матрицу, одинаковую с исходной по размеру и запишем в найденные центры «1», а затем преобразуем выходную матрицу в одномерный двоичный массив.

Даже если некоторые цифровые группы будут определены неправильно, что возможно при очень высоком уровне помех, это не приведет к потере передаваемой информации, поскольку данные в предлагаемом способе передачи и приема цифровой информации организованы таким образом, что обладают способностью к самовосстановлению.

Предлагаемое преобразование назовем псевдоголографическим кодированием. Такое кодирование придает информации способность к самовосстановлению. Мы будем определять наличие «1» в той или иной точке выходной матрицы по наличию колец из единиц во вспомогательной выходной матрице с центром в точке расположения искомого бита. С помощью программы распознавания образа окружности, на приемной стороне во вспомогательной выходной матрице определяется наличие окружности определенного радиуса для каждого элемента исходной информационной матрицы. Критерием наличия «1» в передаваемом сообщении в заданной точке исходной матрицы является порог в $D\%$ отношения единиц на заданной окружности к общему количеству двоичных разрядов, расположенных на этой окружности (или её фрагменте, в случае, когда окружность помещается в матрице лишь частично).

Если на указанной окружности находится не менее $D\%$ единиц от общего количества двоичных разрядов на ней, то принимается решение о наличии «1» в той ячейке выходной матрицы, где находится центр окружности. Следовательно, если часть единиц в кольце будет заменена помехой нулями, но оставшееся количество «1» в процентах от общего количества двоичных разрядов в кольце будет больше порога в $D\%$, то будет принято решение о передаче «1». С целью повышения помехоустойчивости для каждой единицы исходного сообщения может быть создано несколько колец разного радиуса с центром в точке расположения передаваемого бита, при этом желательно, чтобы они пересекали все четыре квадранта информационной матрицы. В этом случае, несмотря на поражение одного кольца помехой, остается возможность правильно распознать передаваемую единицу по фрагментам оставшихся колец. Поскольку большинство колец располагается во всех четырех квадрантах матрицы, то даже 100% поражение помехой части переданной матрицы позволит полностью и без ошибок восстановить исходное сообщение по фрагментам колец в других частях матрицы.

Изменение порога $D\%$ позволяет регулировать вероятность правильного обнаружения

распознаваемого бита и определять при этом предельную помехоустойчивость для заданного значения вероятности правильного обнаружения сигнала. Снижение порога $D\%$ приводит к уменьшению вероятности правильного приема, но увеличивает отношение помеха/сигнал, при котором этот порог достигается. Объем передаваемой по каналу вспомогательной матрицы зависит от объема передаваемого сообщения и требуемой помехоустойчивости.

2. Принцип работы системы

Функциональная схема, иллюстрирующая псевдоголографический способ помехоустойчивой передачи и приема цифровой информации, приведена на рис. 1.

Принцип работы системы можно описать следующим образом. В передатчике 1 входной сигнал от источника двоичного сообщения 2 поступает на формирователь исходной матрицы 3, преобразующий цифровое сообщение в исходную двумерную матрицу.

Формирователь вспомогательной входной матрицы 4 для каждого единичного элемента исходной матрицы строит набор окружностей во вспомогательной входной двумерной матрице одинакового с исходной размера с центром в ячейке, где расположена данная «1». При этом в элементы вспомогательной матрицы, по которым проходят окружности, он записывает единицы, а остальную часть массива обнуляет.

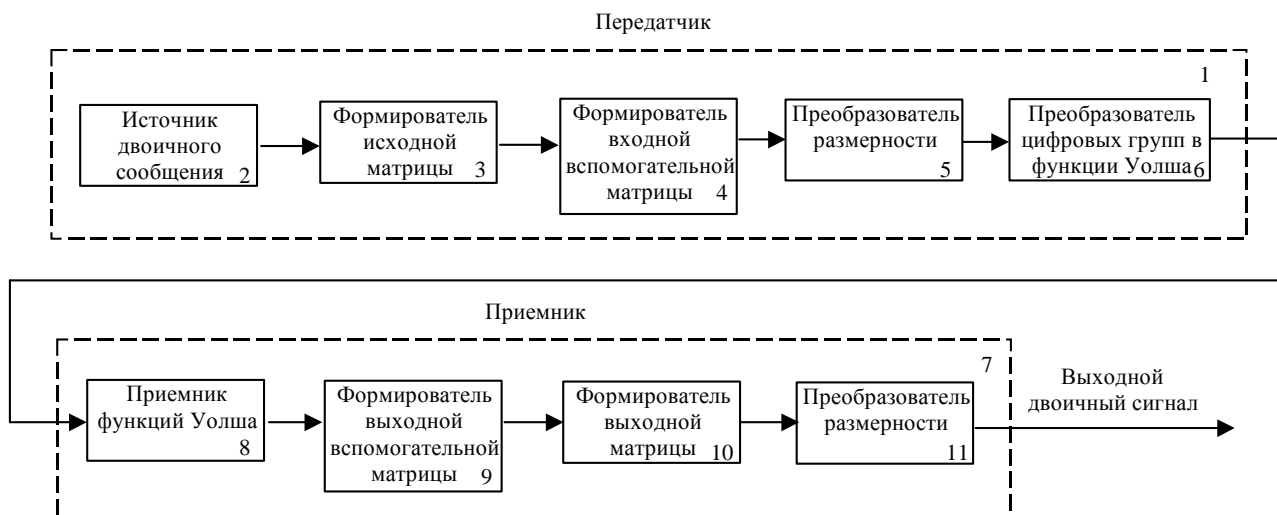


Рис. 1. Функциональная схема системы передачи и приема информации

Преобразователь размерности 5 преобразует полученную матрицу в одномерный массив, поступающий на преобразователь цифровых групп в функции Уолша 6, который делит передаваемое сообщение на двоичные группы и заменяет каждую цифровую группу соответствующей функцией Уолша. В зависимости от режима работы, выходной сигнал в преобразователе цифровых групп в функции Уолша 6 может быть зашумлен с помощью встроенного в него генератора шума. Такой режим может потребоваться для сокрытия самого факта передачи, при этом эффективное значение напряжения смеси может быть меньше уровня собственных шумов первого каскада приемного устройства 7. Большой запас по помехоустойчивости предлагаемого способа позволяет это сделать. Если скрывать факт передачи не требуется, минимизация уровня передаваемого сигнала позволяет уменьшить мощность передатчика и уровень излучения. Генератор шума при этом не используется.

На приемной стороне в приемнике 7 входной сигнал в смеси с шумом поступает на приемник функций Уолша 8, который распознает гармоники функций Уолша и производит преобразование принятых функций Уолша в соответствующие цифровые группы. Цифровые группы поступают на формирователь вспомогательной выходной матрицы 9, который из них строит вспомогательную выходную двумерную матрицу, одинаковую по размеру с исход-

ной. По окружностям из логических «1» формирователь определяет их центры, а затем с помощью формирователя выходной матрицы 10 формирует выходную, предварительно обнуленную двумерную матрицу, одинаковую с исходной по размеру, записывая в найденные центры единицы. Преобразователь размерности 11 преобразует двумерную выходную матрицу в одномерный двоичный массив, который поступает на выход устройства.

Пример формирования псевдоголограммы по исходному цифровому сообщению приведен на рис. 2. Передаваемое сообщение содержит 1024 бита двоичной информации, представленной в виде двумерного массива размерностью 32 на 32 бита. В массиве две единицы, а остальные – нули, которые в методических целях не изображены. Координаты единиц: $A(21,12)$ и $B(12,21)$. Такой массив был выбран сознательно, чтобы не усложнять чертежи дополнительными линиями, затрудняющими изучение работы системы, но не вносящими ничего принципиально нового.

На рис. 2 относительно точек A и B проведены окружности $A1, A2, B1, B2$. Данные окружности представляют псевдоголограмму точек A и B . Окружности проходят по всем квадратам матрицы, позволяя восстановить исходное сообщение даже из фрагмента псевдоголограммы. Окружностей вокруг каждой точки было взято по две для повышения помехоустойчивости системы передачи и приема данных и иллюстрации зависимости помехоустойчивости от количества окружностей.

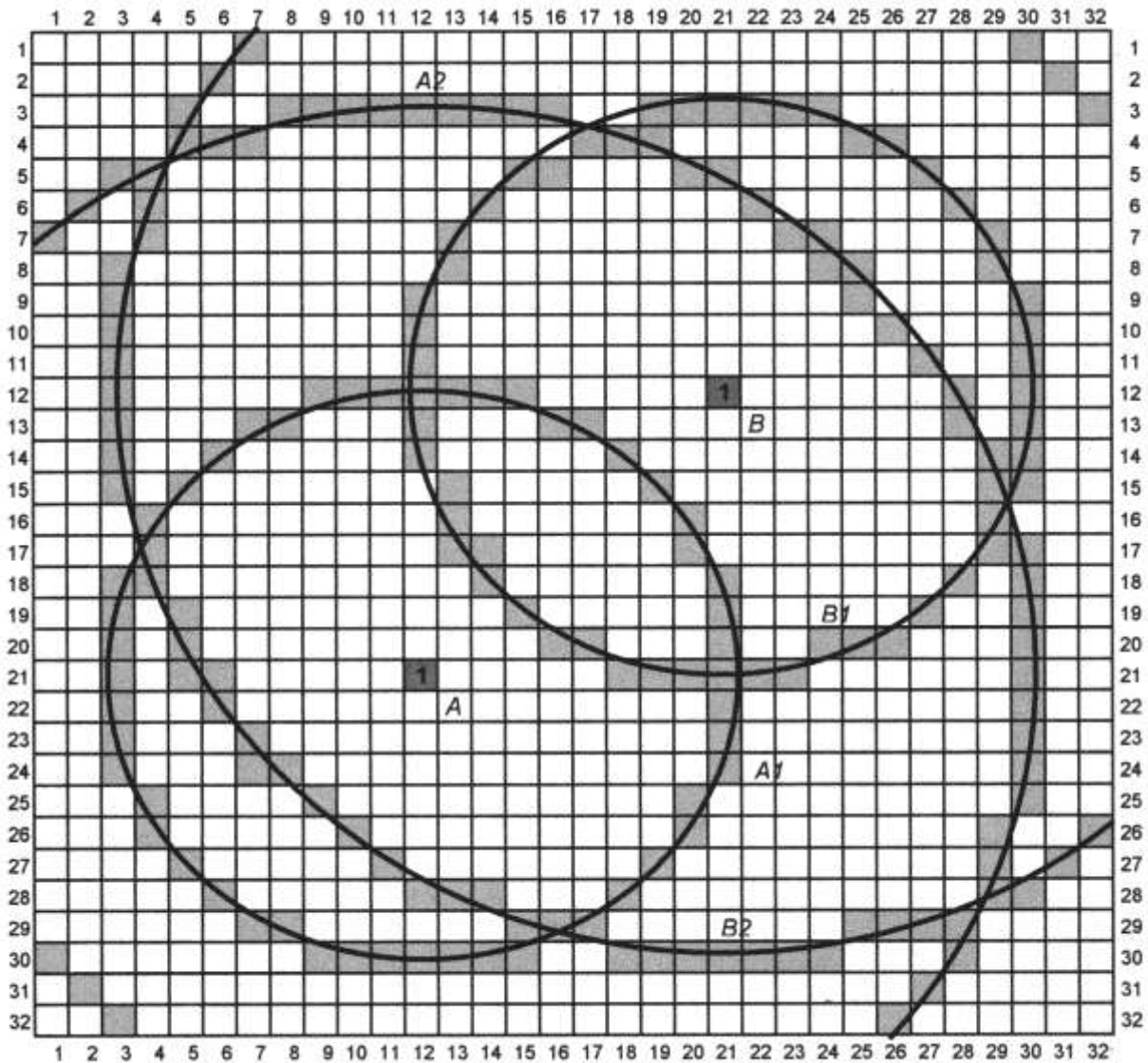


Рис. 2. Формирование псевдоголограммы по исходному цифровому сообщению

Ячейки матрицы, по которым проходят окружности, на рис. 2 выделены серым цветом, что поможет в дальнейшем нагляднее продемонстрировать результаты работы системы при воздействии на неё помехи.

Вспомогательная входная матрица передаваемого сообщения размером 32 на 32 бита изображена на рис. 3. В ячейках, по которым проходят кольца псевдоголограммы, записаны «1», а остальная часть матрицы обнулена. Так строится вспомогательная матрица, совпадающая по размерности с исходной.

При передаче данных по каналу вспомогательная матрица преобразуется в одномерный массив, который разбивается на цифровые группы и каждая цифровая группа преобразуется в соответствующую функцию Уолша. На приемной стороне в смеси сигнал плюс шум определяются гармоники функций Уолша и производится преобразование обнаруженных функций Уолша в соответствующие цифровые группы, которыми и заполняется вспомогательная выходная матрица.

После соответствующей математической обработки вспомогательной выходной матрицы строится выходная матрица, соответствующая передаваемому сообщению. Для удобства дальнейшего использования её превращают в одномерный массив.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32		
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	
2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	
3	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	
4	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	4	
5	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	
6	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	6	
7	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	7	
8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	8		
9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	9		
10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	10		
11	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	11		
12	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	12	
13	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	13		
14	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	14		
15	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	15		
16	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	16	
17	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	17	
18	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	18	
19	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	19	
20	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	20	
21	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	21	
22	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	22	
23	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	23	
24	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	24	
25	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	25	
26	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	26
27	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	27
28	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	28
29	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	29
30	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	30	
31	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	31	
32	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	32	

Рис. 3. Вспомогательная входная матрица передаваемого сообщения

При большом количестве идущих подряд единиц в исходной матрице возможно полное заполнение единицами значительной части вспомогательной матрицы, что при декодировании может привести к неправильным результатам. Не следует допускать длинных последовательностей единиц, например, путем скремблирования сообщения. Предлагаемый способ передачи и приема цифровых сообщений предполагает передачу данных блоками, причем блок к началу передачи должен быть полностью сформирован. Объем блока выбирается исходя из требуемой производительности и помехоустойчивости системы.

3. Моделирование работы системы

Для проверки полученных теоретических положений способа было проведено моделирование и низкочастотный машинный эксперимент в среде разработки лабораторных виртуальных приборов LabVIEW 7.1 при различных значениях отношения помеха/сигнал. В эксперименте передавались 1024 бита двоичной информации, организованной в виде двумерного массива размерностью 32 на 32 бита (см. рис. 2). В массиве две единицы, а остальные – нули. При построении вспомогательной матрицы, совпадающей по размерности с исходной, в ячейки, по которым проходят окружности, записываем единицы, а в остальные ячейки нули (рис. 3). Вспомогательную матрицу преобразуем в одномерный массив, разбиваем на биграммы (по два бита), каждую биграмму преобразуем в соответствующую функцию Уолша и передаем в канал. В эксперименте были использованы первые четыре функции Уолша в базисе $N=16$. Нулевая гармоника не использовалась, поскольку она имеет постоянную составляющую.

Для имитации прохождения сигнала по каналу передачи данных на функции Уолша накладывается помеха от генератора шума. Используемый в эксперименте шум является флуктуационной аддитивной помехой в виде нормального случайного стационарного процесса с нулевым средним значением и равномерной спектральной плотностью мощности N_0 , т.е. белым шумом. Шум аддитивно накладывается на сигнал в виде одного периода функции Уолша. Длительность генерируемого сигнала и шума равны 1 с, выборки сигнала производятся через 1 мс, поэтому на осциллограмме 1000 отсчетов через 1 мс. Эффективное значение входного напряжения сигнала (функций Уолша) равно 1В, а эффективное значение напряжения шума меняется в соответствии с задаваемым отношением помеха/сигнал.

При моделировании работы системы на приемной стороне формировалась вспомогательная выходная матрица, отображающая прохождение сигнала по каналу с помехами. Приемник был реализован по спектральному методу обработки сигнала [3]. Смесь сигнала с шумом подвергалась разложению в обобщенный ряд Уолша-Фурье по функциям Уолша, где определялась максимальная гармоника спектра по Уолшу. По номеру полученной гармоники генерировалась соответствующая цифровая последовательность из двух двоичных разрядов.

Вспомогательная выходная матрица в эксперименте обрабатывалась вручную, специальная программа распознавания образа окружности не применялась из-за отсутствия в этом необходимости. В передаваемом сообщении было всего две единицы, информацию о которых легко обработать вручную.

Изучение результатов эксперимента при значении отношения помеха/сигнал, по мощности равном 225, показывает, что для точки A на контуре $A1$ сохранилось 89% единиц, на контуре $A2$ – 93%. Аналогично, для точки B на контуре $B1$ сохранилось 85%, а для $B2$ – 74% единиц. Полученные результаты свидетельствуют о том, что система передачи и приема цифровой информации с использованием псевдографического кодирования без труда различает сигнал на фоне помех при отношении П/С=225.

На рис. 4 приведены результаты машинного эксперимента при отношении П/С=1225 по мощности ($u_{\text{сигн. эфф}} = 1\text{В}$, $u_{\text{помехи эфф}} = 35\text{В}$). На отдельных экранах представлены ос-

циллограммы первых четырех функций Уолша, канального шума, самого сигнала и смеси сигнал плюс шум.

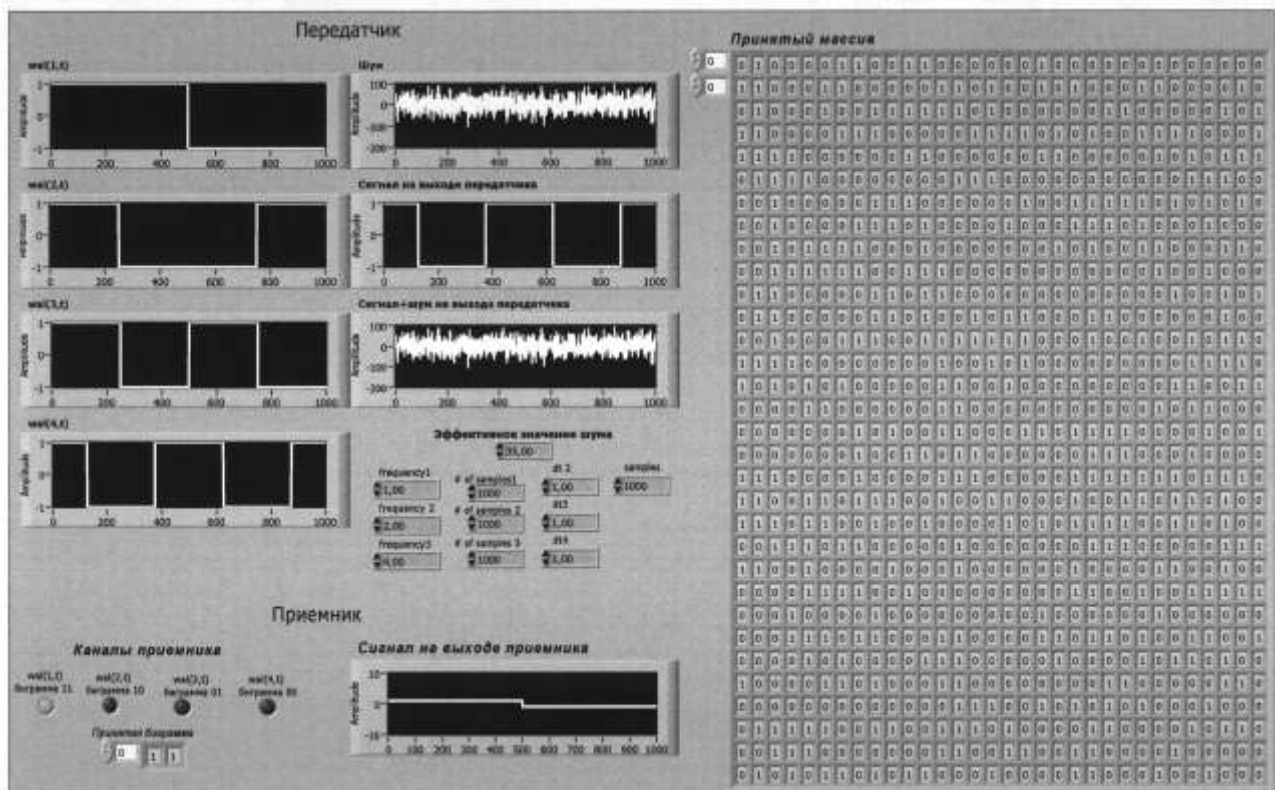


Рис. 4. Результаты машинного эксперимента при отношении П/С=1225

Изучение рисунка показывает, что сигнал на выходе приемника Уолша не совпадает с сигналом на выходе передатчика. При отношении помеха/сигнал равном 1225 приемник Уолша не может без ошибок принимать данные, поэтому необходимо использовать ресурс, предоставляемый псевдоголографическим кодированием, который позволяет восстановить данные, принятые с ошибками. Для этого необходимо подсчитать количество «1» на контуре и разделить его на общее число двоичных символов в кольце.

Результаты расчета следующие: для точки *A* на контуре *A1* сохранилось 56% единиц, на контуре *A2* – 72%. Аналогично, для точки *B* на контуре *B1* сохранилось 62%, а для *B2* - 55% единиц.

Предельное пороговое отношение числа сохранившихся единиц к общему количеству двоичных разрядов в контуре в 50% здесь превышено, что позволяет утверждать, что была передана «1» и в точке *A*, и в точке *B*. Следует также отметить, что результаты расчета для внешнего и внутреннего кольца в рассматриваемых точках сильно различаются, следовательно, начинает проявляться свойство псевдоголограммы, позволяющее восстановить информацию из фрагмента псевдоголограммы. Кроме того, это подтверждает утверждение о том, что для повышения помехоустойчивости нужно увеличивать число контуров для каждой передаваемой «1».

Результаты обработки выходных массивов для разных значений отношения помеха/сигнал приведены на рис. 5.

Здесь: n – число единиц в контуре, а N – общее число двоичных элементов в контуре. Будем считать, что предельным случаем распознавания сигнала на фоне помех является отношение $n/N=50\%$. В силу случайного характера реализаций шума нужно проводить испыта-

ния для каждого отношения П/С многократно, это позволит получить точные значения помехоустойчивости. Однако для оценки помехоустойчивости и подтверждения самого факта высокой помехоустойчивости метода достаточно провести однократное измерение для ряда значений отношения П/С. Моделирование работы системы проводилось для пяти значений отношения помеха/сигнал, два из которых были рассмотрены ранее.

Изучение графиков на рис. 5 показывает, что уверенное распознавание сигнала имеет место до значения отношения П/С=1225.

Процент сохранившихся единиц различается по контурам. Если в одном контуре оно мало, то в другом может оказаться значительно больше, что позволяет обеспечить различение сигнала при более высоком отношении П/С, то есть помехоустойчивость системы зависит от количества контуров для каждой передаваемой единицы. Это наглядно видно, например, при отношении П/С=1225.

Кроме того, видно, что восстановление исходного сигнала возможно и по фрагменту псевдоголограммы.

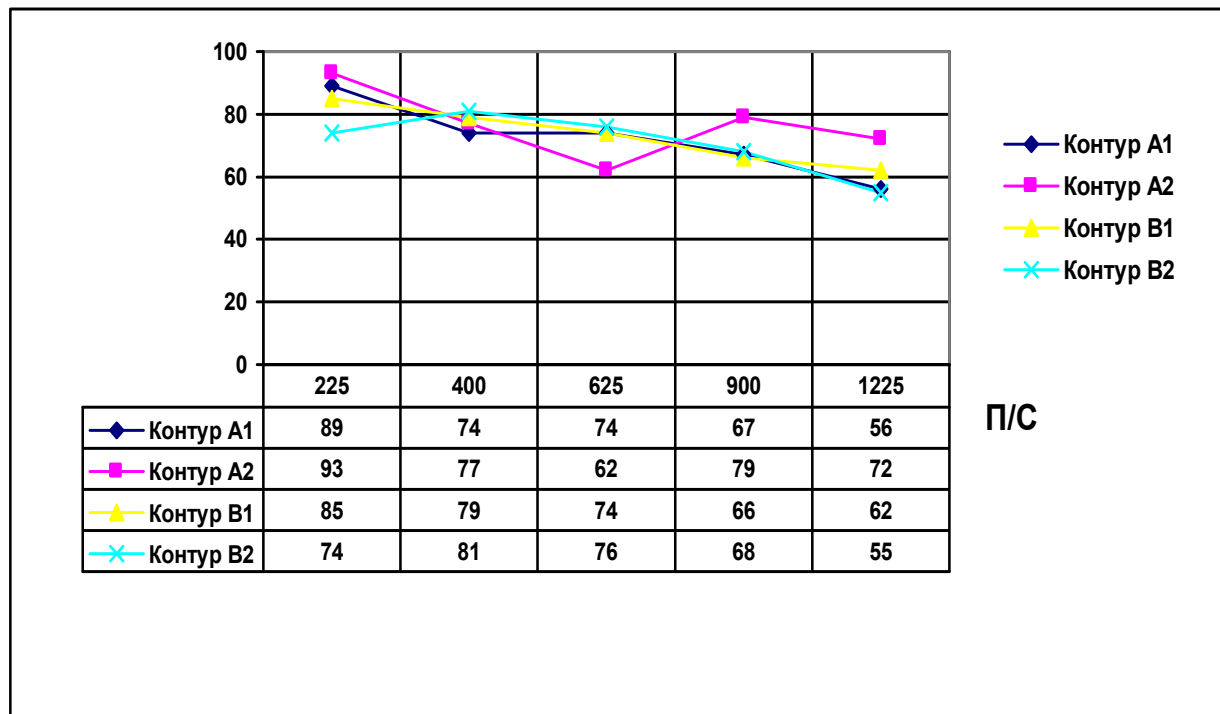


Рис. 5. Результаты обработки данных моделирования

Система передачи и приема, реализующая предлагаемый способ, может применяться для передачи данных в условиях очень сильных помех как искусственного, так и естественного происхождения, или же для передачи информации при очень низком уровне мощности передатчика для обеспечения скрытности передачи. Предлагаемая система передачи и приема цифровой информации совместима с любыми цифровыми системами приема/передачи и обладает высокой помехоустойчивостью за счет использования псевдоголографического кодирования.

Библиографический список

1. **Максимов, М.В.** Защита от радиопомех / М.В. Максимов. – М.: Сов. радио, 1976.
2. **Кок, У.И.** Голографическая РЛС с синтезированной антенной продольного излучения / У.И. Кок // ТИИЭР. 1970. Т. 58. №11. С. 103-105.

3. **Зимин, В.В.** Распознавание цифровых сигналов на фоне помех / В.В. Зимин // Радиотехника. 2008. № 1. С. 99-104.
4. **Зимин, В.В.** Система цифровой связи на базе функций Уолша / В.В. Зимин // Электросвязь. 2009. № 2. С. 20-24.

*Дата поступления
в редакцию 17.06.2010*

V.V. Zimin

**PSEUDO-HOLOGRAPHIC WAY OF NOISEPROOF TRANSFER
AND RECEPTION OF THE DIGITAL INFORMATION**

Influence of a handicap for work of system of transfer and reception of the digital information using a channel carrier as Walsh functions and realizing a pseudo-holographic way of coding is investigated. Modelling work of system in the environment of development of laboratory virtual devices LabVIEW of 7.1 firms NATIONAL INSTRUMENTS is lead at various values handicap / signal (H/S). It is shown, that the system works without loss and distortion of the transmitted information at $H/S = 1250$ (on capacity), that allows to create systems of transfer and reception of the digital information with smaller consumption of the capacity, improved characteristics, a smaller level of radiation, and, hence, the greater reserve of the transfer raised by range of action in conditions of strong handicapes.

Key words: noise stability, the digital information, systems of a radio communication, modelling, virtual devices, the attitude a handicap / signal.

УДК 681.2.08

И.А. Второва, О.Б. Качалов, К.Ю. Плесовских

ОБРАБОТКА МНОГОМЕРНОГО СИГНАЛА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ

Арзамасский политехнический институт (филиал) НГТУ им. Р.Е. Алексеева

В статье описан способ обработки многомерного сигнала на основе метода главных компонент, который фиксирует процесс перехода исследуемого объекта с одного технологического режима на другой. Приведены примеры, иллюстрирующие применение данного способа.

Ключевые слова: обработка сигнала, многомерный сигнал, метод главных компонент.

При решении многих задач, связанных с обработкой многомерных сигналов, часто возникает необходимость обработки сигнала таким способом, при реализации которого возможно было бы контролировать процесс перехода исследуемого объекта из одного режима в другой (помеха-сигнал, технологический режим с высокими показателями – технологический режим с ухудшенными показателями). Результатом такой обработки будет являться повышение информативности при возможном переходе с одного режима на другой.

Существует способ обработки многомерного сигнала, включающий дискретизацию непрерывных сигналов, разбиение временного ряда на отрезки, в которых стационарность сохраняется или устраняется с помощью масштабно зависимых трендов, расчет авторегрессии и проверку статистической гипотезы [1]. Но он не позволяет контролировать процесс перехода исследуемого объекта из одного режима в другой.

В данной работе предлагается усовершенствованный способ, фиксирующий переход из одного режима в другой с помощью метода главных компонент.

В способе обработки многомерного сигнала, включающем дискретизацию непрерывных сигналов и последующую обработку результатов замеров, проводят нормализацию дискретных значений одномерных рядов, рассчитывают матрицу ковариаций, определяют матрицу собственных векторов и матрицу собственных чисел.

Рассчитывают значения первой и второй главных компонент, которые могут являться функциями не только времени, но и других физических величин – частоты, пространственных координат и т.д., делают вывод о смене одного режима на другой по пересечению кривых первой и второй главных компонент.

Способ реализуется следующим образом. Проводится дискретизация каждого одномерного сигнала, совокупность которых формирует многомерный сигнал. Полученные последовательности чисел можно представить в виде матрицы:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где n – число одномерных сигналов; m – длина последовательности.

Значения x_{ij} , приведенные в матрице, могут быть непосредственно сняты с аналогового одномерного сигнала, либо представлять собой m -ю производную случайной функции $X(t)$, имеющей две составляющие: неслучайное воздействие, описываемое полиномом n -й степени

$\sum_{k=0}^n a_k t^k$ и возмущающее случайное воздействие, представляющее собой белый шум.

При $m=0$ и $n=1$ имеет место нулевая производная. В этом случае, например, для первого столбца матрицы X

$$X_{01} = \sum_i^{n1} X_i K_{0i} \Delta t,$$

$$K_{0i} = \frac{4}{T} - \frac{6}{T^2} t_i,$$

где T – интервал памяти; t_i – числовые значения переменной интегрирования; Δt – шаг дискретизации; n_1 – число шагов на интервале памяти T .

При $m = 1$ и $n = 1$ имеет место первая производная. В этом случае, например, для третьего столбца

$$X_{03} = \sum_i^{n1} X_i K_{1i} \Delta t,$$

$$K_{1i} = \frac{6}{T^2} - \frac{12}{T^3} t_i.$$

Далее значения X_{ij} матрицы (1) нормируются. Для матрицы нормированных значений находится ковариационная матрица, на основании которой определяются матрица собственных чисел и матрица собственных векторов. Главные компоненты определяются собственными векторами, которые соответствуют наибольшим собственным числам ковариационной матрицы исходных данных, приведенных в матрице (1). Для выделения главных компонент, описывающих процесс без существенной потери информации, используются критерий Кайзера и критерий каменистой осыпи Кэттлера. Используя метод преобразования переменных можно ограничиться отбором только первых двух главных компонент. Тогда по мере увеличения числа шагов дискретизации при скользящем интервале памяти T переход одного режима в другой режим сопровождается пересечением первых двух главных компонент.

Пример конкретной реализации способа иллюстрируется материалами по эксплуатации газовой скважины Медвежьего месторождения. В табл. 1 представлены результаты замеров забойного давления и дебита газа с шагом дискретизации один месяц.

Таблица 1

Месяц	Забойное давление, МПа	Дебит газа, тыс. м ³ /сут.
1	8,00	1020
2	7,99	1015
3	7,98	1020
4	7,97	1005
5	7,96	1015
6	7,95	1020
7	7,94	1015
8	7,93	1005
9	7,92	990
10	7,91	895

На основании данных табл. 1 формируется многомерный сигнал, который состоит из пяти одномерных сигналов.

В матрице

$$X = \begin{pmatrix} 7,996 & 1017,2 & 0,48 & 1034728 & 967,2 \\ 7,986 & 1018,6 & 1,44 & 1037517 & 2896,8 \\ 7,976 & 1016,8 & -0,48 & 1033872 & -991,2 \\ 7,966 & 1011,6 & -0,96 & 1023394 & -1934,4 \\ 7,956 & 1010,2 & -1,92 & 1020523 & -3892,8 \\ 7,946 & 1016,2 & 0,48 & 1032697 & 976,8 \\ 7,936 & 1016,2 & 0,48 & 1032661 & 962,4 \\ 7,926 & 1012,0 & 0 & 1024180 & 0 \\ 7,916 & 993,4 & -6,24 & 986845 & -12540 \\ 7,906 & 919 & -26,4 & 845425 & -50772 \end{pmatrix}$$

первый столбец представляет собой последовательность нулевых производных забойного давления при интервале памяти 5 месяцев. Второй столбец – последовательность нулевых производных дебита газа, третий – последовательность первых производных дебита газа, четвертый и пятый столбцы, соответственно, последовательности нулевой и первой производных дебита в квадрате.

После нормирования данных матрицы X ее аналог примет вид

$$\bar{X} = \begin{pmatrix} 1,4863 & 0,4626 & 0,4519 & 0,4693 & 0,4577 \\ 1,1560 & 0,5086 & 0,5663 & 0,5168 & 0,5771 \\ 0,8257 & 0,4494 & 0,3375 & 0,4547 & 0,3366 \\ 0,4954 & 0,2786 & 0,2803 & 0,2762 & 0,2782 \\ 0,1651 & 0,2326 & 0,1659 & 0,2273 & 0,1571 \\ -0,1651 & 0,4297 & 0,4519 & 0,4347 & 0,4583 \\ -0,4954 & 0,4297 & 0,4519 & 0,4341 & 0,4574 \\ -0,8257 & 0,2917 & 0,3947 & 0,2896 & 0,3979 \\ -1,1560 & -0,3193 & -0,3489 & -0,3466 & -0,3778 \\ -1,4863 & -2,7636 & -2,7512 & -2,7562 & -2,7426 \end{pmatrix}$$

По зависимости значений собственных чисел от числа главных компонент определяем, что можно ограничиться отбором только первых двух главных компонент.

Значения первых двух главных компонент приведены в табл. 2.

Таблица 2

Месяц	Первая компонента	Вторая компонента
1	1,3768	-1,0775
2	1,4164	-0,7093
3	1,0256	-0,5059
4	0,6933	-0,2729
5	0,4244	-0,0219
6	0,7759	0,4614
7	0,6613	0,7711
8	0,3599	1,0145
9	-1,0522	0,8440
10	-5,6816	-0,5035

Изменение первых двух главных компонент во времени представлено на рис. 1. Из рисунка видно пересечение кривых первой и второй главных компонент, что свидетельствует о смене режима работы газовой скважины. В сентябре-октябре подтягивание подошвенных вод в призабойную зону пласта привело к существенному ухудшению работы скважины (уменьшению дебита газа).

Еще одним примером применения данного способа может служить изменение физических свойств переходных и нормальных металлов в зависимости от атомного номера элемента. При рассмотрении зависимости первых двух главных компонент от атомного номера из анализа графиков видно, что для нормальных металлов $G_{л1} > G_{л2}$, для переходных металлов $G_{л2} > G_{л1}$ (см. рис. 2–4).

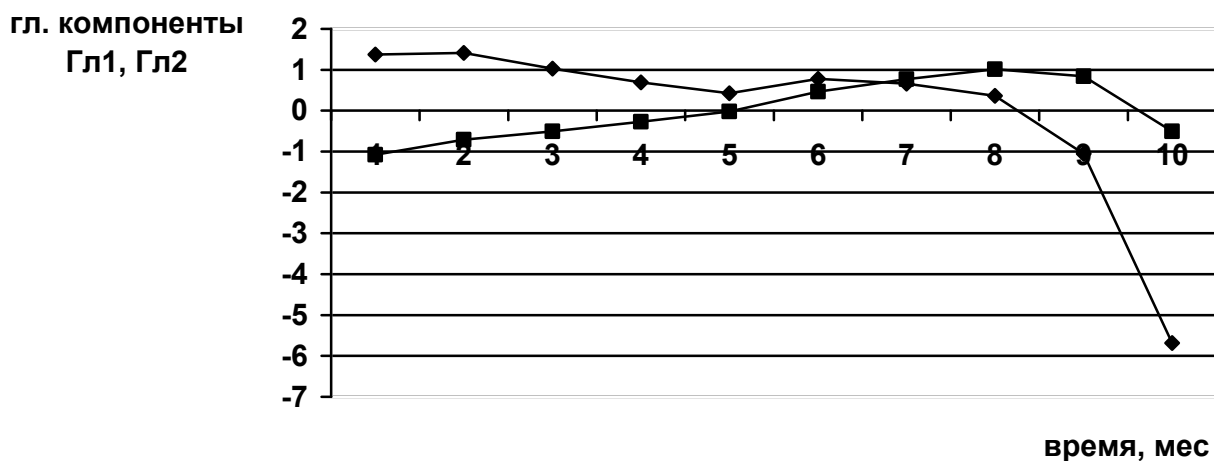


Рис. 1. Изменение главных компонент

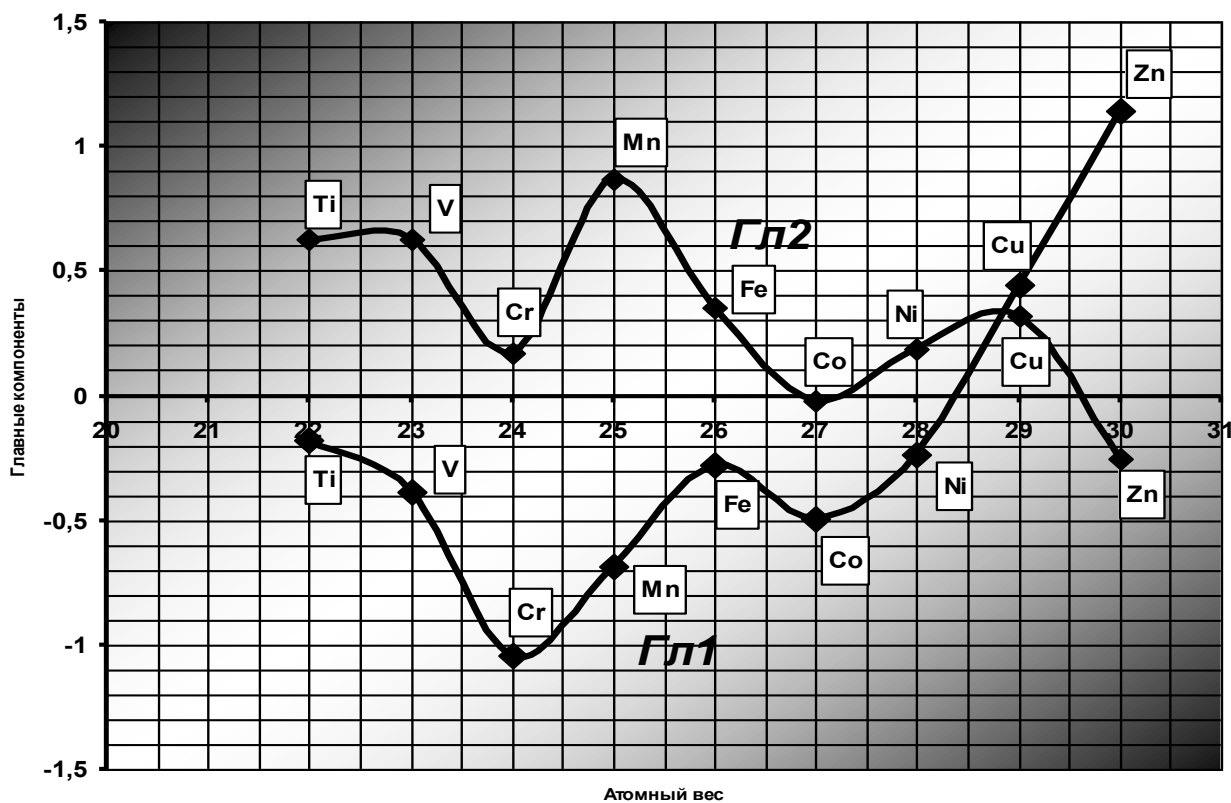


Рис. 2. Элементы четвертого периода

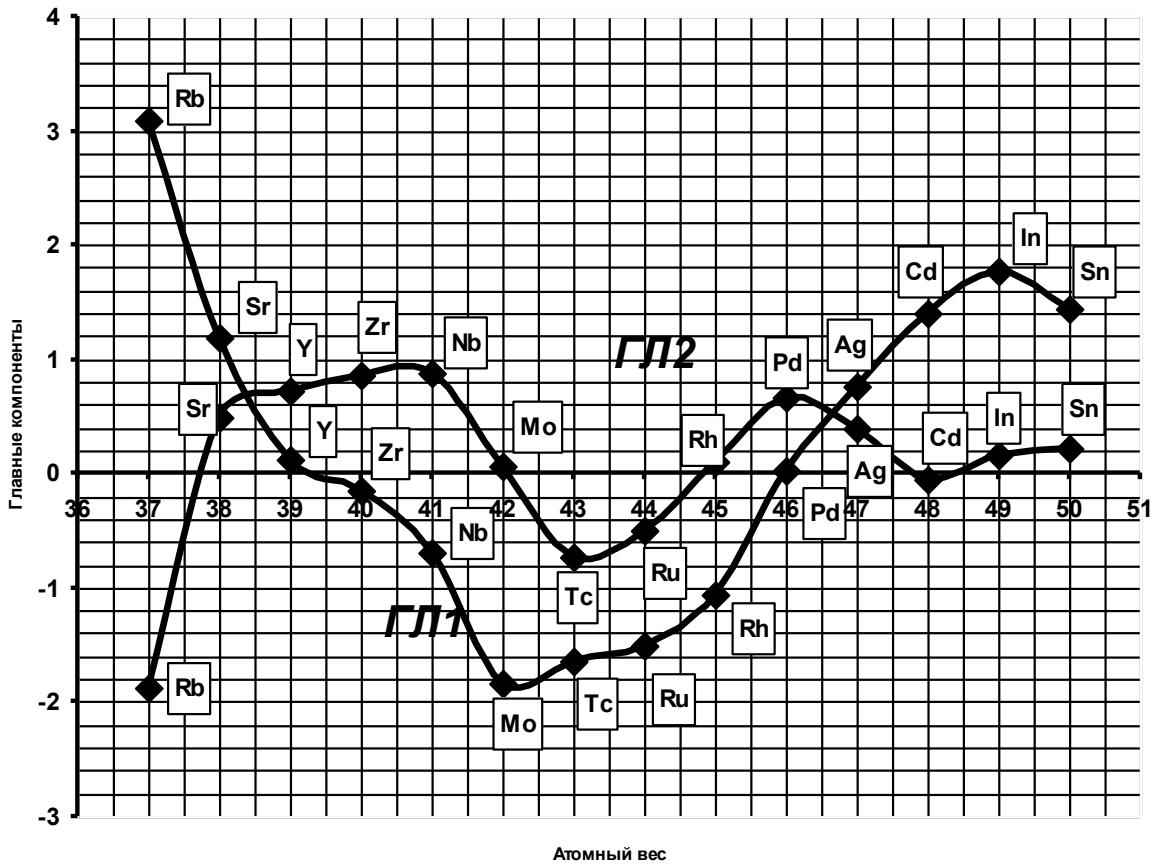


Рис. 3. Элементы пятого периода

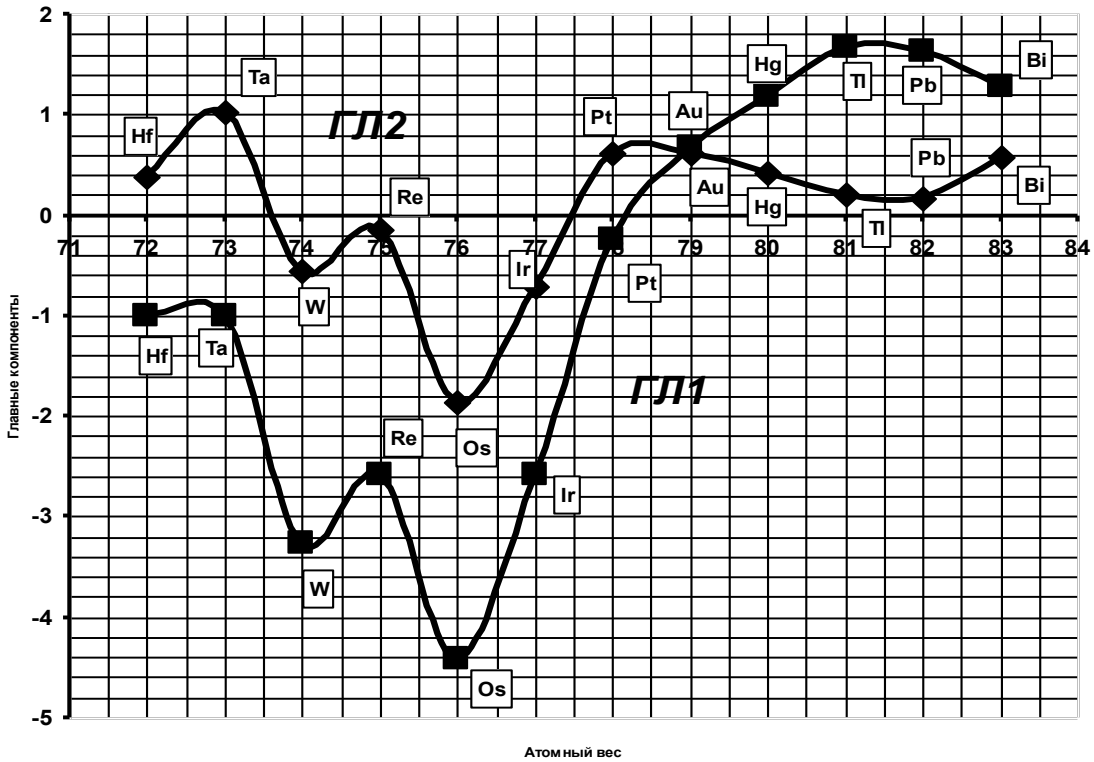


Рис. 4. Элементы шестого периода

Таким образом, обеспечиваемые данным способом результаты создают объективную предпосылку контроля перехода одного режима в другой при исследовании систем, описываемых с помощью многомерного сигнала.

Библиографический список

1. **Хеннан, Э.** Многомерные ряды / Э. Хеннан. – М.: Мир, 1974.
2. **Лившиц, Н.А.** Вероятностный анализ систем автоматического управления / Н.А. Лившиц, Н.В. Пугачев. – М.: Сов. радио, 1963. – 540 с.

*Дата поступления
в редакцию 06.07.2010*

I.A. Vtorova, O.B. Kachalov, K.Y. Plesovskikh

PROCESSING OF A MULTIDIMENSIONAL SIGNAL ON THE BASIS OF A METHOD OF THE MAIN THINGS A COMPONENT

In article the way of processing of a multidimensional signal on the basis of a method of the main things a component, which fixing process of transition of investigated object from one technological mode in another is described. The examples illustrating application of the given way are resulted.

Key words: signal processing, a multidimensional signal, a method of the main things a component.

УДК 681.586.325

А.Ю. Мишин, О.А. Фролова, Ю.К. Исаев, Д.А. Кляпнев

КОМПЛЕКСНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

ОАО АНПП «ТЕМП-АВИА»

Объектом исследований является комплексная информационно-измерительная система перспективного беспилотного летательного аппарата, включающая бесплатформенную инерциальную навигационную систему, прибор спутниковой навигации и радиотехническую систему измерения высоты и составляющих скорости. Целью исследований является разработка идеологии и программно-алгоритмических решений создания комплексной системы, способной непрерывно обеспечивать достоверной навигационной информацией с требуемой точностью систему управления беспилотного летательного аппарата во всех условиях его функционирования. В работе проведен синтез математических моделей инерциальных датчиков первичной информации и систем, разработаны структурно-информационная схема и логика функционирования программно-математического обеспечения комплексной системы, приведены результаты математического моделирования разработанных алгоритмов на цифровом математическом комплексе.

Ключевые слова: бесплатформенная инерциальная навигационная система, беспилотный летательный аппарат, спутниковая навигация, фильтр Калмана.

Введение

В соответствие с техническим заданием на разработку комплексная навигационная система (КНС) должна осуществлять совместную обработку информации бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС), прибора спутниковой навигации (ПСН) и радиотехнической системы измерения высоты и составляющих скорости (РВиС). При этом основная задача, решаемая КНС – выработка для системы управления беспилотного летательного аппарата (БПЛА) достоверной навигационной информации с требуемыми точностными и динамическими характеристиками.

Совместная обработка информации должна осуществляться с учетом свойств, характеристик и погрешностей указанных измерителей параметров движения. Использование математических моделей ДПИ, БИНС, ПСН и РВиС, адекватно характеризующих их функционирование и погрешности, позволит правильно осуществить разработку алгоритмов совместной обработки информации и провести корректное математическое моделирование и оценку точности КНС во всех условиях применения БПЛА.

Математические модели БИНС

Инерциальные датчики первичной информации, входящие в состав блока чувствительных элементов БИНС:

- трехосный блок акселерометров, измеряющий параметры линейного движения объекта относительно инерциального пространства (кажущееся ускорение \vec{a}_{k1});
- три одноосных лазерных гироскопа, измеряющих параметры углового движения объекта относительно инерциального пространства (угловую скорость $\vec{\omega}_1$).

Наиболее значимые компоненты, определяющие инструментальные ошибки:

- смещение нулевого сигнала;
- ошибка масштабного коэффициента преобразования;
- неортогональности измерительных осей датчиков;
- случайный уход.

БИНС является основным измерителем параметров траекторного движения и ориента-

ции в КНС и обеспечивает непрерывное вычисление и выдачу потребителю (системе управления БПЛА) требуемой навигационной информации [1].

При комплексировании БИНС, ПСН и РВиС в качестве уравнений состояния фильтра совместной обработки информации принимается модель ошибок КНС, включающая погрешности указанных систем. С учетом известных уравнений инерциальной навигации [2, 3] имеем следующие уравнения для ошибок БИНС в нормальной земной системе координат (без учета нелинейных составляющих и малозначащих компонент)

$$\begin{cases} \Delta \dot{\vec{R}}_g = \Delta \vec{V}_g \\ \Delta \dot{\vec{V}}_g = -\vec{\Psi} \times A_{g1} \vec{a}_{k1} + A_{g1} \Delta \vec{a}_{k1} + \Delta \vec{g}_g - 2\vec{\Omega}_g \times \Delta \vec{V}_g, \\ \dot{\vec{\Psi}} = -\vec{\Omega}_g \times \vec{\Psi} + A_{g1} \Delta \vec{\omega}_1 \end{cases}$$

где $\Delta \vec{R}_g, \Delta \vec{V}_g, \vec{\Psi}$ – вектора ошибок по местоположению, скорости и ориентации; A_{g1} – матрица ориентации нормальной земной системы координат относительно связанной; $\Delta \vec{g}_g$ – ошибка определения ускорения силы тяжести; $\vec{\Omega}_g$ – угловая скорость вращения Земли; $\Delta \vec{a}_{k1}, \Delta \vec{\omega}_1$ – инструментальные ошибки акселерометров и гироскопов.

Математическая модель ПСН

Прибор спутниковой навигации ПСН выдает по стандартному протоколу с частотой 1 Гц пакеты навигационной информации с параметрами траекторного движения объекта (координаты, скорости), параметры привязки информации ко времени их расчета (метка времени), расчетное значение среднеквадратического отклонения ошибки координат, признаки готовности и достоверности данных.

Исследования характеристик ПСН в составе комплекса наземной обработки позволяют сформировать следующую модель ошибок навигационной информации:

- систематическая составляющая погрешности координат (2σ) – не более 2 м;
- систематическая составляющая погрешности высоты (2σ) – не более 12 м;
- случайная составляющая погрешности координат (2σ) – не более 1 м;
- систематическая составляющая погрешности по скорости (2σ) – не более 0,05 м/с;
- случайная составляющая погрешности по скорости (2σ) – не более 0,03 м/с.

Случайная составляющая ПСН по проекциям вектора скорости имеет характер «белого» шума с периодом дискретизации 1 с. Случайная составляющая ПСН по координатам местоположения соответствует выходу формирующего фильтра 2-го порядка с постоянной времени примерно 30 с.

Кроме приведенных статистических характеристик ПСН имеет запаздывание в выдаче навигационной информации о скорости движения, которое составляет около 1,1 с. Запаздывание ПСН по координатам не выявлено.

Математическая модель РВиС

Радиосистема измерения высоты и составляющих путевой скорости РВиС выдает данные о текущей геометрической высоте объекта и составляющих V_x, V_z путевой скорости в проекциях на связанные оси объекта (оси, связанные с антенной системой), признаки исправности и достоверности информации.

Погрешности измерения высоты РВиС в соответствие с Протоколом информационного взаимодействия с РВиС составляют (3σ) ($0,7 + 0,03 H_{\text{тек}}$), м, где $H_{\text{тек}}$ – текущая высота движения. Погрешности измерения составляющих скорости составляют (3σ) ($0,5 + 0,005 V$), м/с, где V – модуль скорости движения.

В соответствие с материалами разработчика канал измерения высоты имеет запаздывание в выдаче информации о текущей высоте полета $\tau_h = 3,5$ мс. Канал измерения составляющих путевой скорости имеет запаздывание на уровне $\tau_v = 400$ мс.

РВиС выдает проекции путевой скорости на оси, связанные с антенной системой, при этом из-за неточности установки и привязки БИНС и антенной системы в составе изделия, ориентация данного трехгранника может отличаться от связанных осей БИНС на углы порядка десятков угловых минут. Алгоритм комплексирования с РВиС должен строиться с учетом возможности идентификации углов рассогласования связанных осей БИНС и РВиС.

Алгоритмы комплексирования БИНС и ПСН

Наиболее широкое использование в алгоритмах комплексирования находят методы динамической фильтрации Калмана [3, 4]. При формировании уравнений фильтра совместной обработки информации используется модель ошибок комплексной системы, при этом модель ошибок БИНС применяется в качестве уравнения состояния комплексующего фильтра КНС, а ошибки ПСН входят в уравнение измерений в качестве шумов.

Формирование уравнений состояния комплексующего фильтра производится применительно к конкретному типу объекта применения КНС – БПЛА, исходя из его тактико-технических характеристик и условий применения. При формировании уравнений состояния комплексующего фильтра используем следующую обобщенную модель ошибок [5]

$$\begin{cases} \Delta \dot{\vec{V}}_g = -\vec{\Psi} \times A_{g1} \vec{a}_{k1} + \vec{\xi}_V, \\ \dot{\vec{\Psi}} = \vec{\xi}_\Psi \\ \dot{\tau}_{сн} = 0 \end{cases}$$

где $\vec{\xi}_V, \vec{\xi}_\Psi$ – возмущения по скорости и ориентации, $\tau_{сн}$ – интервал запаздывания.

Вектор состояния X фильтра включает ошибки БИНС по горизонтальным составляющим скорости, все компоненты ошибок ориентации и интервал времени запаздывания информации ПСН, а вектор возмущений включает шумы БИНС по скорости и ориентации. В качестве измерений принимаются ошибки по горизонтальным составляющим скорости.

Алгоритмы комплексирования с РВиС

При разработке алгоритма комплексирования с РВиС можно принять несколько допущений, следующих из логики функционирования КНС: комплексирование БИНС с ПСН имеет более высокий приоритет, чем комплексирование с РВиС; начальная выставка и комплексирование с ПСН позволяют произвести оценку и компенсацию ошибок ориентации до уровня нулевых сигналов акселерометров с точностью порядка 10 угл. мин.; нескомпенсированный дрейф и погрешности масштабного коэффициента лазерных гироскопов в процессе автономного полета БПЛА могут привести к дополнительным ошибкам ориентации не более 5-10 угл. мин.

С учетом приведенных допущений, целесообразно в алгоритме комплексирования с РВиС не производить оценивание и компенсацию ошибок ориентации. Таким образом, можно сформировать следующие уравнения состояния

$$\begin{cases} \Delta \dot{\vec{V}}_g = -A_{g1} \cdot \vec{\gamma} \times (\vec{V}_{pvc} + \vec{a}_{k1} \tau_{pvc}) \\ \dot{\vec{\gamma}} = \vec{\xi}_\gamma \\ \dot{\tau}_{pvc} = 0 \end{cases}$$

В указанной системе уравнений $\Delta \vec{V}_g$ – разность между соответствующими проекциями скорости КНС и РВиС, A_{g1} – матрица ориентации связанных осей относительно навигационных (в плоскости горизонта - определяется только углом курса), \vec{a}_{k1} – кажущееся ускорение, измеряемое акселерометрами, $\vec{\gamma}$ - вектор-угол рассогласования осей БИНС и РВиС.

Вектор состояния динамической системы включает в себя ошибки по горизонтальным составляющим скорости, ошибку рассогласования осей и время задержки информации РВиС, в качестве измерений принимаются разности соответствующих проекций по скорости.

Условия проведения моделирования КНС на ЦКМ

Моделирование КНС на ЦКМ проводится в несколько этапов, для моделирования используются типовые траектории движения БПЛА. В качестве иллюстрационного материала на рис. 1 приведены графики проекций скорости и углы ориентации объекта в процессе движения по траектории.

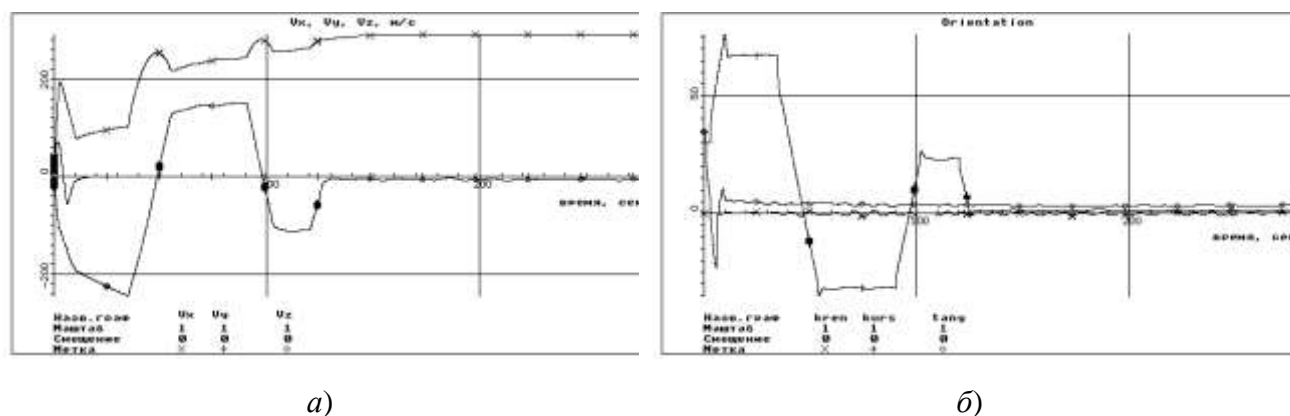


Рис. 1. Условия моделирования:
а – проекции скорости; б – углы ориентации

Результаты комплексирования с ПСН

В табл. 1 приведены результаты статистического моделирования алгоритмов КНС с принятыми математическими моделями ДПИ, БИНС и ПСН. В таблице приведены математические ожидания (МО) и среднеквадратические отклонения (СКО) ошибок (880 реализаций) по координатам на момент включения алгоритма комплексирования с ПСН (примерно 150 с от начала движения) и максимальные ошибки КНС на траектории при коррекции от ПСН.

Типовые графики изменения ошибок КНС по проекциям координат, скорости и ориентации в процессе траекторного движения приведены на рис. 2.

Таблица 1

Ошибки КНС (комплексирование с ПСН)

Ошибки на момент включения АКС						Максимальные ошибки по траектории					
ΔR_x , м		ΔR_y , м		ΔR_z , м		ΔR_x , м		ΔR_y , м		ΔR_z , м	
МО	СКО	МО	СКО	МО	СКО	МО	СКО	МО	СКО	МО	СКО
-2,7	165,5	3,8	40,3	-8,0	295,3	-1,3	10,1	-3,4	12,1	-0,4	13,2

С учетом принятой математической модели погрешностей информации ПСН, СКО погрешностей КНС по местоположению не превышает 15 м по каждой проекции координат, что в несколько раз перекрывает требования по допустимой точности КНС при работе с ПСН.

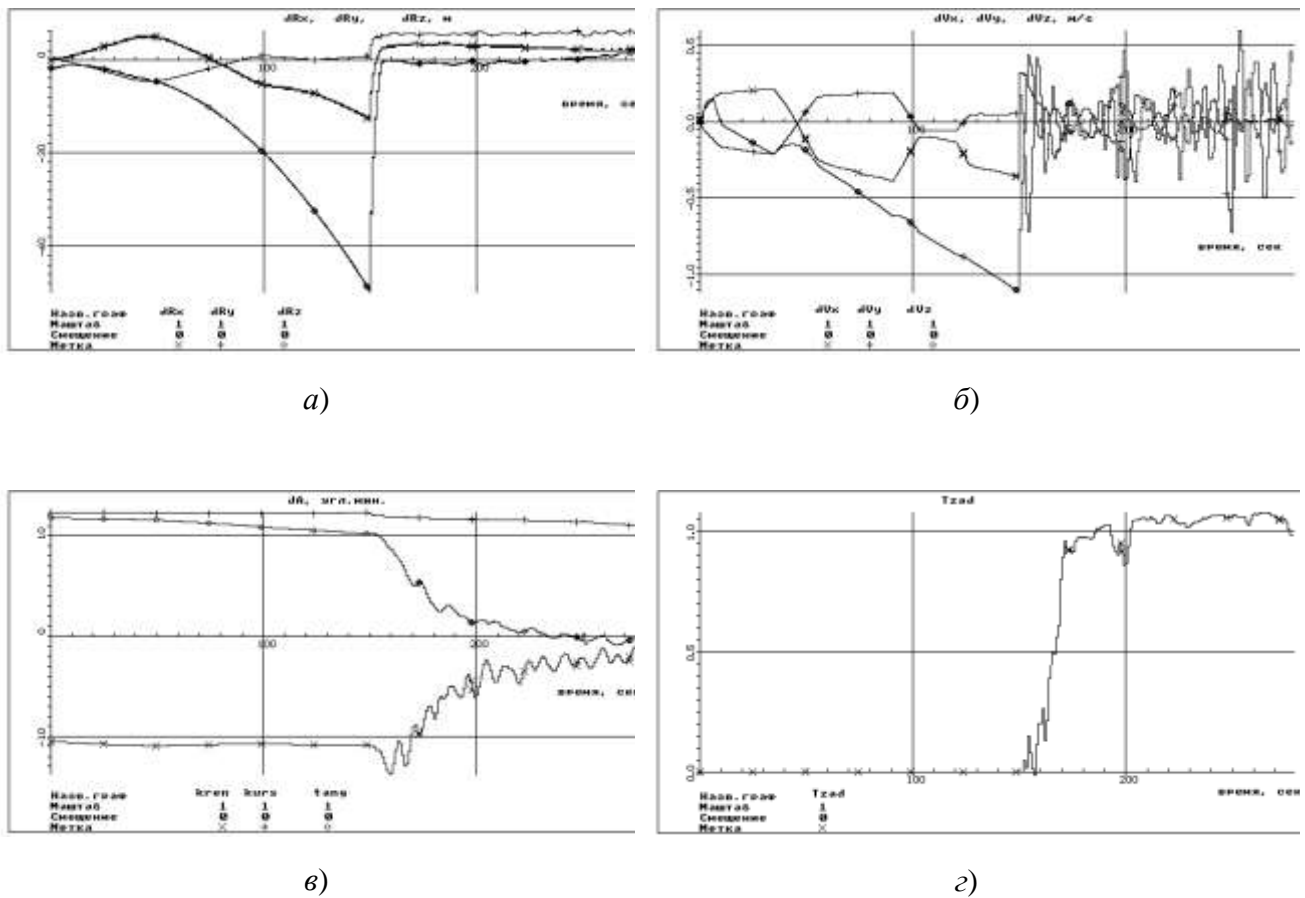


Рис. 2. Характеристики алгоритма комплексирования с ПСН:
 а – ошибки по координатам местоположения; б – ошибки по проекциям скорости;
 в – ошибки по ориентации; з – оценка интервала времени запаздывания

Результаты комплексирования с РВиС

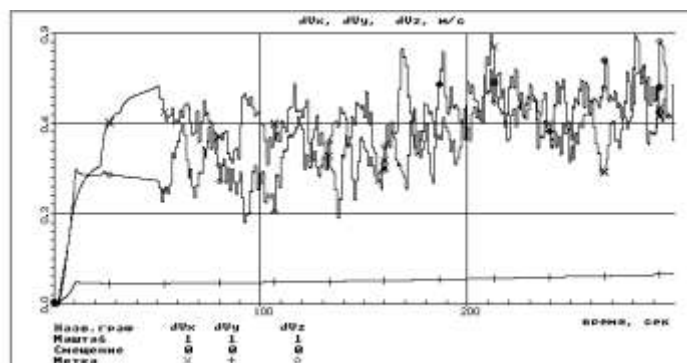
В табл. 2 приведены результаты статистического моделирования алгоритмов комплексирования с РВиС: математические ожидания и среднеквадратические отклонения ошибок (230 реализаций) по координатам на момент приведения в заданную точку и максимальные ошибки КНС по скорости при коррекции от РВиС.

Типовые графики изменения ошибок КНС приведены на рис. 3.

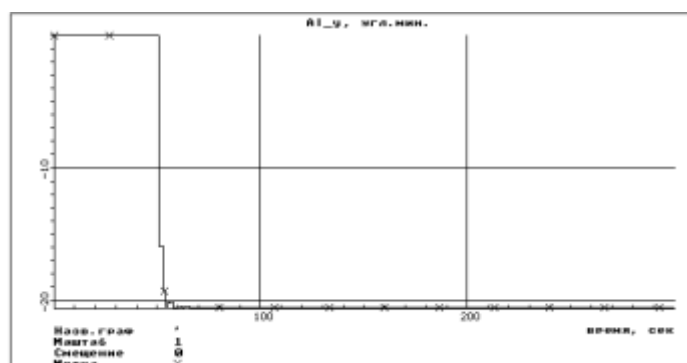
Таблица 2

Ошибки КНС (комплексирование с РВиС)

Ошибки на конечный момент движения						Максимальные ошибки по скорости					
ΔR_x , м		ΔR_y , м		ΔR_z , м		ΔV_x , м/с		ΔV_y , м/с		ΔV_z , м/с	
МО	СКО	МО	СКО	МО	СКО	МО	СКО	МО	СКО	МО	СКО
6,8	301,0	-0,5	103,0	171,0	103,0	0,02	1,3	0,01	0,4	1,0	0,17



а)



б)

Рис. 3. Характеристики алгоритма комплексирования с РВиС:
 а – ошибки по проекциям скорости; б – оценка угла рассогласования осей

На момент появления информации РВиС ошибки КНС по скорости стабилизируются, нарастание ошибок по координатам происходит линейно. СКО максимальных ошибок по скорости не превышает 1,5 м/с, что удовлетворяет требованиям по точности.

Выводы

В процессе работ по созданию, испытанию и исследованию алгоритмов комплексной навигационной системы БПЛА получены следующие результаты:

1. Разработаны и исследованы математические модели подсистем КНС: инерциальных датчиков первичной информации, БИНС, ПСН и РВиС.
2. Разработаны общие алгоритмы и логика взаимодействия алгоритмов внутри функционального программного обеспечения КНС.
3. Разработаны математические алгоритмы комплексирования БИНС с ПСН и РВиС.
4. Разработан цифровой комплекс математический ЦКМ, включающий модели подсистем и позволяющий проводить отработку алгоритмов КНС и оценку точностных характеристик.
5. Проведено математическое моделирование алгоритмов КНС на ЦКМ с использованием реальных траекторий движения объекта БПЛА. Результаты математического моделирования подтверждают выполнение требований по точности, предъявляемых к КНС.

Библиографический список

1. **Бабич, О.А.** Обработка информации в навигационных комплексах / О.А. Бабич. – М.: Машиностроение, 1991. – 512 с.

2. **Андреев, В.Д.** Теория инерциальной навигации. Автономные системы / В.Д. Андреев. – М.: Наука, 1966. – 579 с.
3. **Кузовков, Н.Т.** Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация / Н.Т. Кузовков, О.С. Салычев. – М.: Машиностроение, 1982. – 216 с.
4. **Степанов, О.А.** Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Ч. 1 / О.А. Степанов. – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ Электроприбор, 2009. – 496 с.
5. **Мишин, А.Ю.** Алгоритмы комплексной инерциально-спутниковой навигационной системы для подвижных объектов с малым временем работы: дисс. ... на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Н.Новгород, 2002. 143 с.

*Дата поступления
в редакцию 06.07.2010*

A.Yu. Mishin, O.A. Frolova, Yu.K. Isaev, D.A. Klyapnev

AIRCRAFT INTEGRATED NAVIGATION SYSTEM

The subject for this study is an integrated data measurement system for an advanced uninhabited air vehicle (UAV) which consists of a strapdown inertial navigation system, a satellite navigation unit and a radio instrument system for velocity component and altitude measurement. The aim of this study is to create a concept and software algorithmic solutions for building of the integrated system that can provide the UAV control system with valid navigation data having the proper accuracy under diverse operation environments. In this paper the mathematic models for the inertial data sensors / systems are synthesized, the data flow diagram and operation logic for the integrated system software are developed, the results of the synthesized algorithm simulation using the digital computer system are given.

Key words: strapdown inertial navigation system, uninhabited air vehicle, satellite navigation, Kalman filter.

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ

УДК 517.951

А.И. Зайцев¹, И.С. Костенко¹, А.Г. Чернов²

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ УДАЛЁННОГО ЦУНАМИ НА ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ РОССИИ

СКБ «Средства автоматизации морских исследований» ДВО РАН, Южно-Сахалинск¹,
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева²

В настоящей работе проведено численное моделирование распространения исторического цунами сейсмического происхождения в Тихом океане. Рассматривалось событие с эпицентром, удаленным от дальневосточного побережья России. Была проведена оценка времени прихода волн от удаленных цунами, силы воздействия на побережье, рассмотрены особенности прохождения цунами через Курильские проливы. Приведен спектральный анализ записей в населенных пунктах Сахалина и Курил.

Ключевые слова: цунами; инструментальные данные; численное моделирование; Сахалин.

Чилийское Землетрясение 1960 года – сильнейшее землетрясение в истории наблюдения, магнитуда – по разным оценкам от 9,3 до 9,5, произошло 22 мая 1960 года в 19:11 по местному времени и послужило причиной цунами. Возникшие волны достигали высоты 15-20 м. Цунами разрушило несколько городов и смыло десятки селений. Погибло 10 тысяч человек. Волны дошли и до дальневосточного побережья Советского Союза.

1. Численное моделирование

Математическая модель основана на нелинейных уравнениях мелкой воды, записанных в сферических координатах:

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \theta} \frac{\partial}{\partial \lambda} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{1}{R \cos \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{MN \cos \theta}{D} \right) + \frac{gD}{R \cos \theta} \frac{\partial \eta}{\partial \lambda} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = fN, \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \theta} \frac{\partial}{\partial \lambda} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{1}{R \cos \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{N^2 \cos \theta}{D} \right) + \frac{gD}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \theta} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = -fM, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \theta} \left[\frac{\partial M}{\partial \lambda} + \frac{\partial}{\partial \theta} (N \cos \theta) \right] = 0, \quad (3)$$

где η – смещение уровня моря; M и N – компоненты расхода воды вдоль широты λ и долготы θ ; D – полная глубина бассейна; g – ускорение силы тяжести и n – коэффициент шероховатости дна. В расчетах используется значение $n = 0.0025 \text{ м}^{-1/3} \text{ с}$, характерное для естественного

дна (песок, мелкая галька). R – радиус Земли, f – параметр Кориолиса ($f = 2\omega \sin\theta$), ω – частота вращения Земли.

Численная модель реализована в виде комплекса NAMI-DANCE, основанного на вложенных сетках (<http://namidance.ce.mrttu.edu.tr>), являющегося модификацией известного японского кода TUNAMI, она описана в [5, с. 88], см. также [15, с. 2]. Этот комплекс рекомендован, в частности, ЮНЕСКО для расчетов распространения цунами [16, с. 2], и его первый вариант уже использовался для моделирования цунами 2004 г. в Индийском океане [2, с. 388] и оценки цунами риска Япономорского побережья России [6, с. 179].

Источник цунами выбран в соответствие с известным решением Окада [12], использующим данные о параметрах землетрясения. Последние приводятся на сайте Геофизической службы США [14]. Эпицентр землетрясения локализован в точке с координатами 76.5° з.д. 39.5° ю.ш. на глубине 53 км. Длина разрыва, определяемая по афтершокам 800 км, его ширина 200 км и смещение по разрыву 30 м. Угол разлома с меридианом (strike) 10° , угол смещения плиты вглубь от разлома (dip) 10° и вдоль разлома (slip) 91° . Рассчитанный источник цунами в соответствие с решением Окада показан на рис. 1, он представляет собой знакопеременное смещение с максимальным поднятием на 10.8 м и опусканием на 6 м, так что максимальная высота волны в очаге составляет около 17 м.

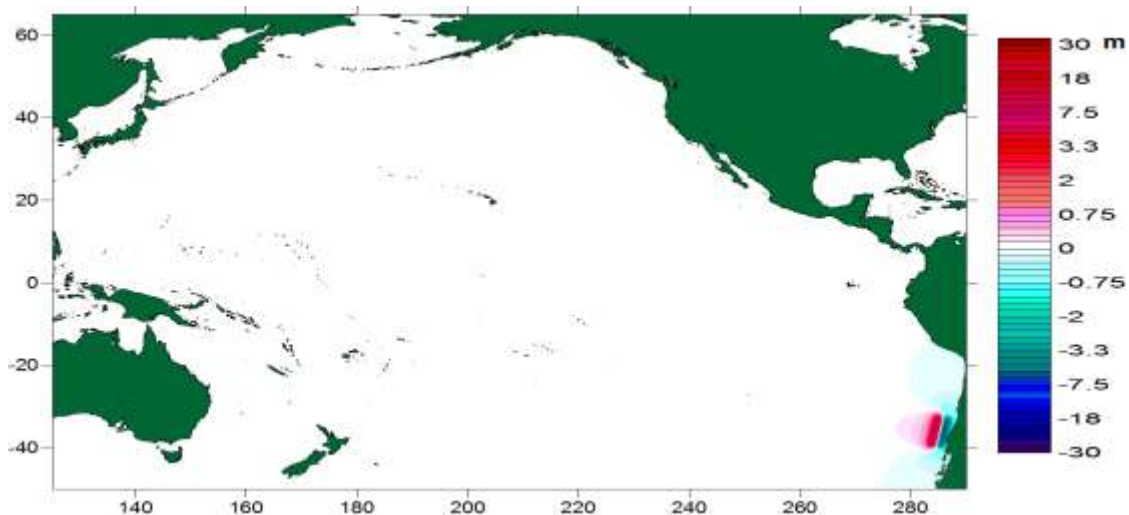


Рис. 1. Источник Чилийского цунами 1960 года

При моделировании были использованы несколько батиметрий: для Тихого океана батиметрия с шагом 6 мин, для Охотского моря 2-минутная, для Курильских островов 40 с. Стоит отметить, что каждая следующая батиметрия является частью предыдущей и отношение пространственных шагов составляет 1 к 3. Батиметрии получены из известной одноступенчатой батиметрии GEBCO1 Digital Atlas. Накат волны на берег не моделировался, и в расчетах используются условия полного отражения (приближение вертикальной стенки на глубине примерно 5 м).

Максимальное распределение высот амплитуд в Тихом океане показано на рис. 2, подтверждая, что цунами имело разрушительную силу во многих частях океана. Разрушительный удар пришёлся на Гавайские, Японские, Курильские, Филиппинские острова, Южную Америку. Стоит отметить, что благодаря использованию модели, основанной на вложенных сетках, удалось промоделировать распространение волны в Охотском море и её приход на о. Сахалин. Ширина некоторых проливов Курильских островов составляет чуть более 20 км, и моделирование прохождения волны на батиметрии с шагом 6 мин не представляется возможным. Курильские острова принимают на себя основной удар цунами, это видно из рис. 2, на Сахалине высоты волн не более 2 м.

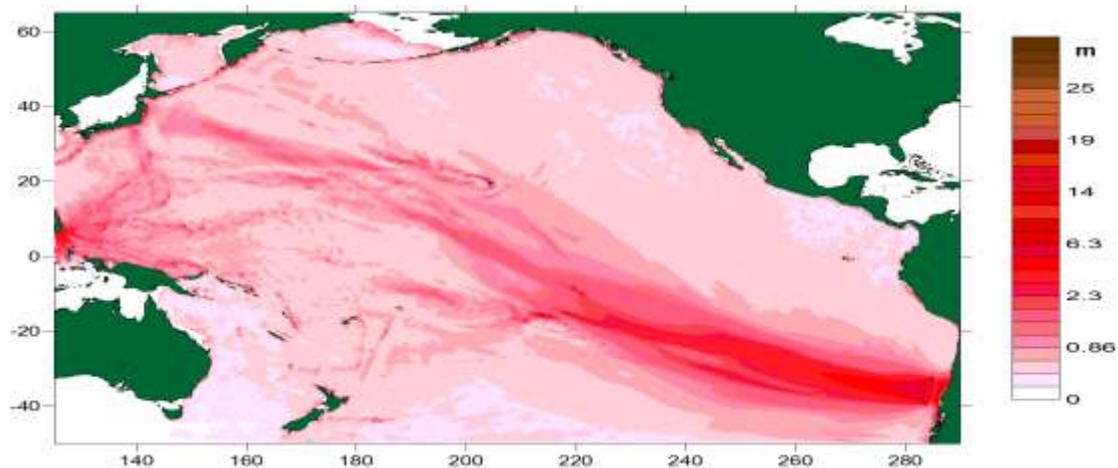


Рис. 2. Максимальное распределение амплитуд Чилийского цунами 1960 года

2. Мареографные данные

После события 1960 года сохранилось достаточное количество инструментальных данных, что позволяет сделать сравнительный анализ с результатами моделирования. Были установлены компьютерные мареографы в точках, в которых имеются данные наблюдений. Некоторые из них приведены на рис. 3.

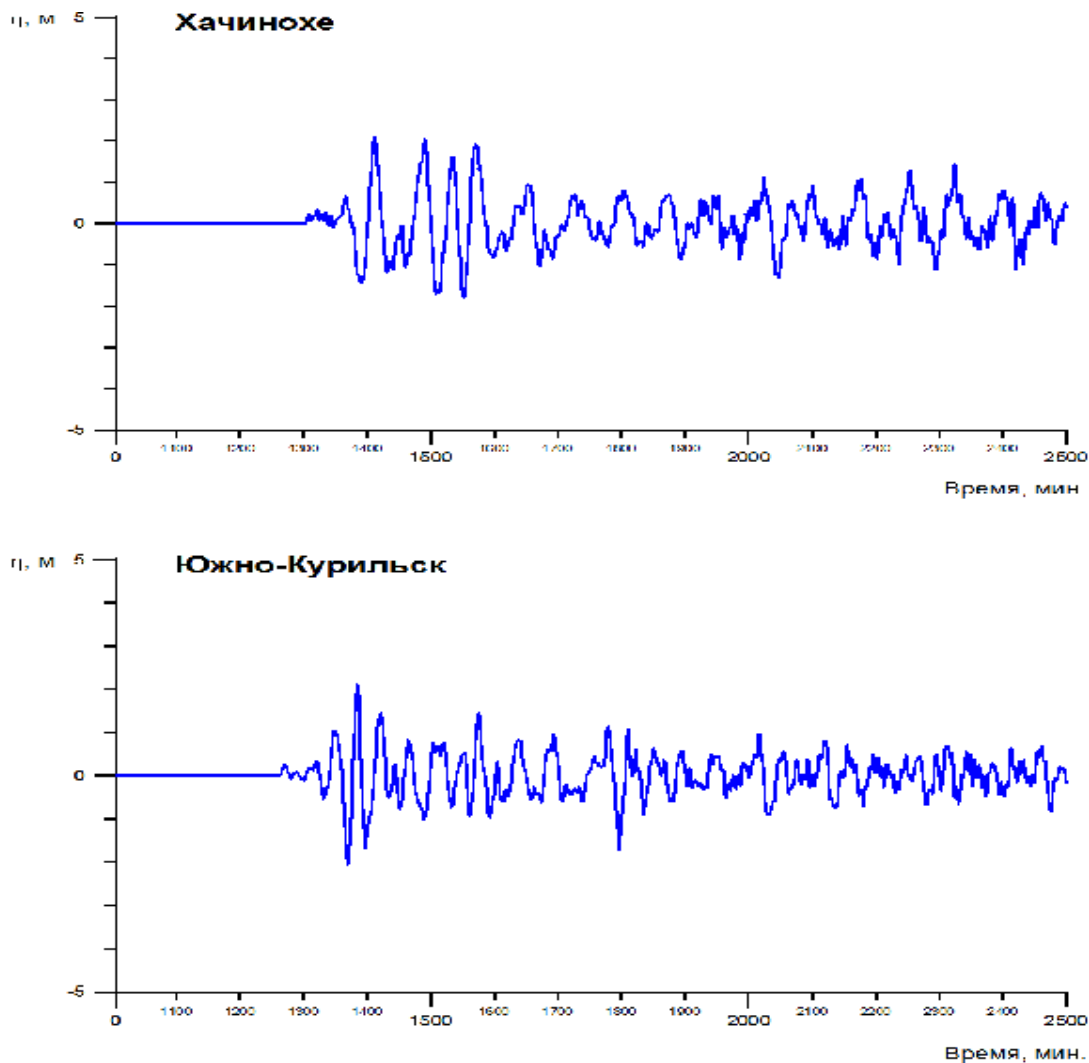


Рис. 3. Компьютерная запись Чилийского цунами на Японских и Курильских островах

Запись цунами в районе Хачинохе (юг о. Хонсю) показывает, что цунами начинается с небольшого подъема высотой 0,5 м через 21,5 ч после начала землетрясения. Первые четыре волны являются максимальными, наибольшая высота волны составляет около 3,5 м. Характерный период колебаний составляет около 50 мин, что хорошо согласуется с историческими данными. Цунами в п. Южно-Курильск начинается также с небольшого подъема спустя чуть более 21 ч. Максимальной является третья волна с высотой более 4 м. Характерный период колебаний составляет около 40 мин.

3. Сопоставление измеренных и расчетных данных

Цифровые мареографы были установлены в точках, где размещались автономные регистраторы сети непрерывных наблюдений. Сравнение спектральных оценок мощности плотности показало хорошее согласие наблюдаемых и полученных частот, в частности, для Охотоморского шельфа о. Уруп основной период шельфового резонанса около 20 мин (рис. 4). Схожие оценки были получены в [9, с. 87; 10, с. 80].

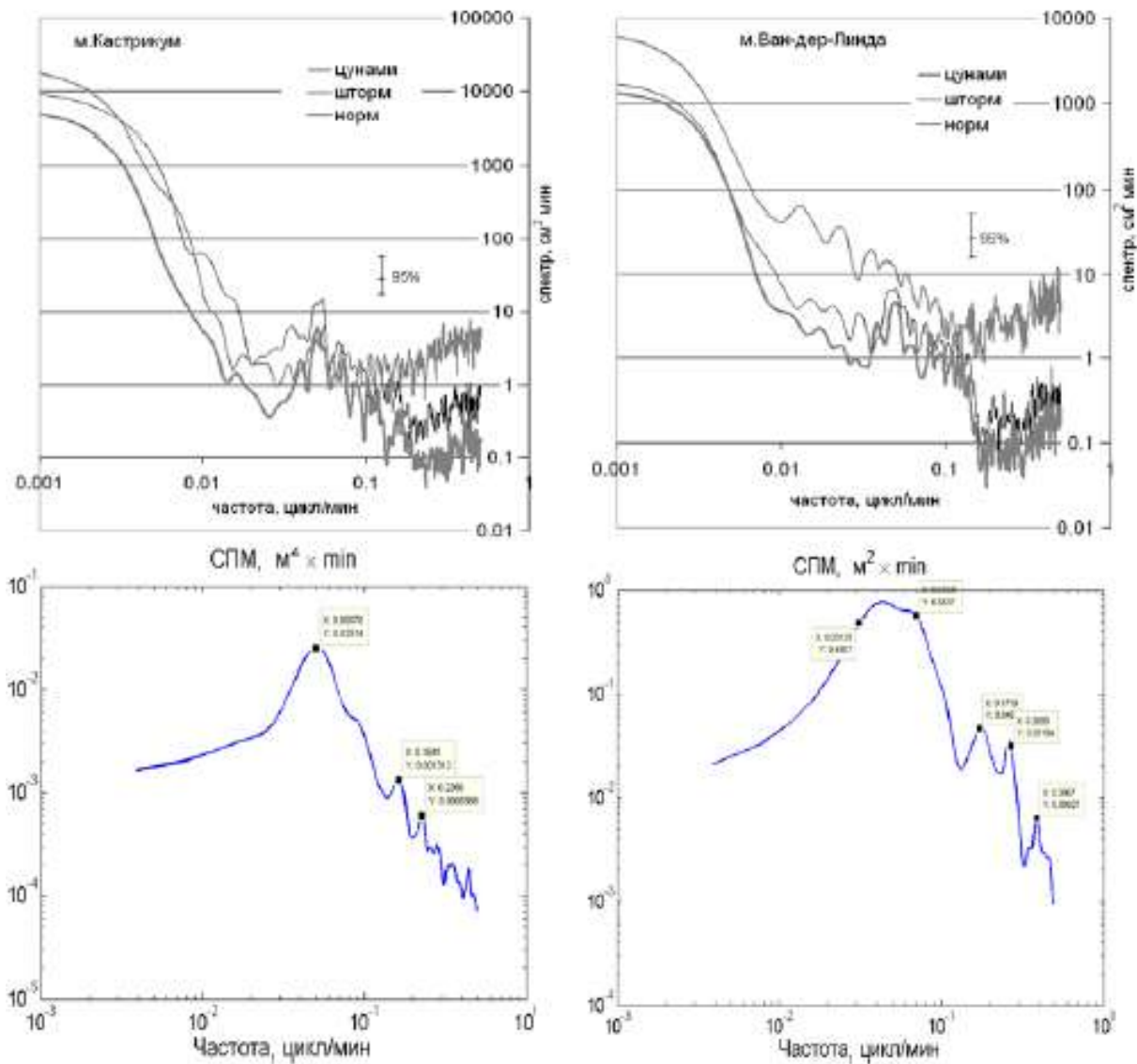


Рис. 4. Оценка спектральной мощности плотности для полученных экспериментально (верхний ряд) записей волновых процессов на шельфе о. Уруп и модельных записей Чилийского цунами 1960 года (внизу)

Заключение

Выполнено моделирование Чилийского цунами 1960 года с помощью численного кода, основанного на уравнениях мелкой воды в сферических координатах с учётом вращения Земли. Проведено сравнение модельных и реально наблюдаемых мареографных записей для пунктов на побережье Японии и Курильских островов, которое подтвердило корректность численного эксперимента. Также было получено полное согласие расчета времени прихода волны в удаленные пункты с данными наблюдений. Анализ других случаев удаленных цунами (Индонезийского 3 января 2009 года, Чилийского 27 февраля 2010 года), показывает, что параметры волны на удаленных пунктах задаются формой шельфа, и для Курильских и Японских островов они являются схожими для всех этих случаев.

Выполнение этой работы поддержано грантами РФФИ (08-05-00069 и 09-05-00971). Авторы выражают благодарность за помощь в расчётах заведующему лабораторией цунами ИМГиГ ДВО РАН д-ра физ.-мат. наук Г.В. Шевченко.

Библиографический список

1. **Го, Ч.Н.** Количественная оценка цунамиопасности и схема цунамирайонирования Тихоокеанского побережья СССР / Ч.Н. Го [и др.] // Тихоокеанский ежегодник. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. С. 9–7.
2. **Зайцев, А.И.** Моделирование распространения катастрофического цунами (26 декабря 2004 г.) в Индийском океане / А.И. Зайцев [и др.] // Доклады РАН. 2005. Т. 402. № 3. С. 388–392.
3. **Заякин, Ю.А.** Цунами на Дальнем Востоке России / Ю.А. Заякин. – Петропавловск-Камчатский: Камшат, 1996. – 88 с.
4. **Кайстренко, В.М.** Невельское цунами 2 августа 2007 г. / В.М. Кайстренко [и др.] // Проблемы сейсмобезопасности Дальнего Востока и Восточной Сибири: междунар. науч. симпоз., Южно-Сахалинск, Россия, 27 – 30 сентября 2007 г.: тез. докл. / Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2007. С. 133.
5. **Куркин, А.А.** Модифицированный вычислительный комплекс «ЦУНАМИ» для оценки рисков, связанных с цунами / А.А. Куркин [и др.] // Изв. АИН им. А.М. Прохорова. Прикладная математика и механика. 2004. Т. 9. С. 88–100.
6. **Куркин, А.А.** Сравнительная оценка цунами опасности япономорского побережья России на основе численного моделирования / А.А. Куркин [и др.] // Океанология. 2004. Т. 44. № 2. С. 179–188.
7. **Соловьев, С.Л.** Сводка данных о цунами в СССР / С.Л. Соловьев, М.Д. Ферчев // Бюллетень Совета по сейсмологии АН СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1961. № 9.
8. **Щетников, Н.А.** Цунами на побережье Сахалина и Курильских островов по мареографным данным 1952–1968 гг. / Н.А. Щетников. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. – 164 с.
9. **Файн, И.В.** Расчет захваченных волн для района Курильской гряды // В сб.: Волновые процессы в северо-западной части Тихого океана. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. С. 87–92.
10. **Файн, И.В.** Частотные свойства Курильского шельфа // Генерация цунами и выход волны на берег. – М., 1984. С. 80 – 83.
11. Manifestation of the August 2, 2007 Nevelsk tsunami / V. Kaystrenko [at all.] // Geophysical Research Abstracts. 2008. V. 10. P. EGU2008-A-06626.
12. **Okada, Y.** Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space / Y. Okada // Bull. Seism. Soc. America. 1985. V. 75. P. 1135 – 1154.
13. Modeling and visualization of tsunamis: Mediterranean examples / A.C. Yalciner, [at all.] // Tsunami and Nonlinear Waves (Ed: Anjan Kundu), Springer, 2007. P. 273 – 283.
14. Сайт Геофизической службы США (http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/events/1960_05_22.php)

15. [http://ioc3.unesco.org/ptws/21/\(documents\)/TsuModelMan-v3-ImamuraYalcinerOzyurt_apr06.pdf](http://ioc3.unesco.org/ptws/21/(documents)/TsuModelMan-v3-ImamuraYalcinerOzyurt_apr06.pdf).
16. <http://avi-nami.ce.metu.edu.tr>.

*Дата поступления
в редакцию 13.07.2010*

A.I. Zaytsev, I.S. Kostenko, A.G. Chernov

MODELING OF INFLUENCE FROM REMOVED TSUNAMI AT FAR EAST COAST OF RUSSIA

In the present work numerical modeling distribution of historical tsunami of a seismic origin in Pacific Ocean is lead. Event with an epicenter removed from Far East coast of Russia were considered. The estimation of arrival time of waves from the removed tsunami, forces of influence at coast has been lead, features of passage of a tsunami through Kuriles passages are consider. The spectral analysis of records in settlements of Sakhalin and Kuriles is lead.

Key words: tsunami, gauge records, numerical modeling, Sakhalin.

УДК 551.466

Е.Г. Морозов, Т.А. Демидова, Л.В. Нечволодов

**ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ, ГЕНЕРИРОВАННЫЕ ОКОЛО
ПОДВОДНОГО ХРЕБТА МЕНДОСИНО (ЗАПАДНОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ США)**

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

Для изучения генерации и распространения внутренних приливов использованы данные измерений на буйковых станциях в 1986 г. к югу от подводного хребта Мендосино (западное побережье США) и численная модель. Изучаются внутренние волны, генерированные на хребте Мендосино и на континентальном склоне США. Получены оценки длин волн, амплитуд и направления полусуточных внутренних волн. Преобладающая генерация внутренних приливных волн происходит на хребте Мендосино. Генерация внутренних приливов на континентальном склоне весьма слабая.

Ключевые слова: внутренний прилив, подводный хребет, измерители течений на буях, численная модель.

Основным источником внутренних приливов в океане является взаимодействие течений баротропного прилива и топографии дна на континентальных склонах и над подводными хребтами. Данные многочисленных публикаций, посвященных изучению внутренних волн, подтверждают это [1, 3].

Задача данного исследования состоит в физической интерпретации распространения внутренневолновых возмущений, генерированных над подводным склоном. Генерация внутренних волн в районе подводного склона происходит за счет взаимодействия течений баротропного прилива с подводным склоном. Течения баротропного прилива, встречая на своем пути этот склон, приобретают вертикальные составляющие. Вертикальные составляющие течений вызывают периодические вертикальные смещения изопикнических поверхностей, тем самым генерируя внутренние волны.

Главной энергонесущей частотой внутреннего прилива является компонента, соответствующая баротропному приливу M2 с периодом 12.4 ч. Основным источником, генерирующим внутренние волны в шельфовом районе, является взаимодействие течений баротропного прилива с континентальным склоном в мористой части шельфа.

Описание эксперимента

Районом исследования выбран подводный хребет Мендосино в северо-восточной части Тихого океана. Задача решается с помощью численного моделирования генерации и распространения внутреннего прилива, возбужденного на склонах хребта. Исследуются полусуточные внутренние приливы. Карта района работ показана на рис. 1. В апреле-мае 1986 г. здесь было выставлено восемь буйковых станции с измерителями течений и температуры для изучения средних течений и внутренних волн.

Полигон располагался в 600-700 км к югу от подводного хребта Мендосино и в 400-500 км от западного побережья США. Измерения течений и температуры проводились на горизонтах 75, 150, 250, 400, 700 и 1200 м. Полусуточный пик на всех спектрах температуры очень хорошо выражен. Пик находится на частоте 0.00134 цикл/мин, что соответствует колебаниям волны M2 с периодом 12.42 часа. При пересчете колебаний температуры в вертикальные отклонения оценка амплитуд внутренних волн составила 15-20 м.

Взаимный анализ (кросс-анализ) измерений на различных горизонтах и буях показывает, что колебания температуры хорошо коррелированы на частоте полусуточного прилива M2. В табл. 1 даны значения вертикальной когерентности между колебаниями на разных парах горизонтов для двух буйковых станций.

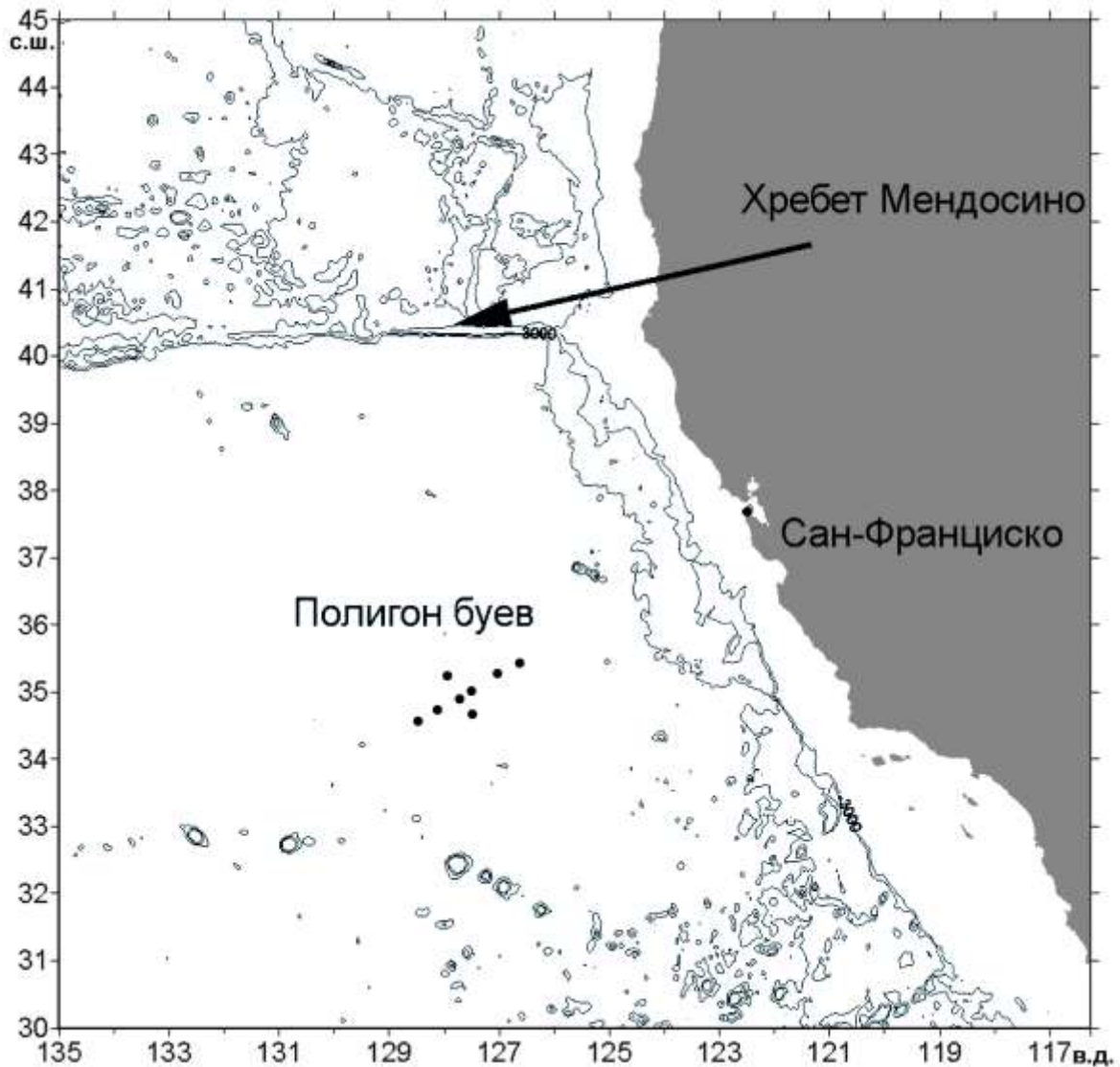


Рис. 1. Карта района работ (черные точки показывают положение буйковых станций)

Таблица 1

Значения вертикальной когерентности на разных парах горизонтов на полигоне южнее подводного хребта Мендосино. Верхнее значение соответствует бую 33 (34°54' N, 127°43' W), нижнее - бую 35 (34°33' N, 128°29' W). Когерентность колебаний температуры на полусуточном периоде приведена в клетке пересечения горизонтов измерений

Горизонты измерений	Горизонты измерений			
	250	400	700	1200
150	0.94	0.88	0.77	0.86
	0.75	0.59	0.86	0.61
250		0.92	0.84	0.84
		0.83	0.75	0.72
400			0.75	0.75
			0.70	0.77
700				0.77
				0.78

Взаимный анализ по горизонтали показывает, что колебания также хорошо коррелированы. На рис. 2 показана зависимость горизонтальной когерентности температурных ко-

лебаний от расстояния между буями для горизонтов 150, 700 и 1200 м. Когерентность повсеместно велика и превышает 95%-ный доверительный уровень (0.48) для 20 степеней свободы, использованных при расчете.

Расчет направления и длины на основании данных измерений на буях

Для оценки длины волны и направления полусуточных приливных волн использовался метод Барбера, который был разработан для сейсмологии и применен к океанским волнам [2]. Предполагается произвольное расположение датчиков. Метод основан на расчете взаимных спектров для каждой пары возможных комбинаций датчиков с последующей сверткой на частоте изучаемой волны. Амплитуды и фазы взаимных характеристик используются для расчета пространственно-временного спектра на частоте изучаемой волны для оценки горизонтального волнового числа. Метод использует статистическую разность фаз между двумя парами датчиков. Для наших расчетов использовались датчики температуры, которые отражают вертикальные движения, связанные с внутренними волнами. Важно, чтобы расстояния между датчиками были сравнимы с длиной волны изучаемых волн, но расстояния между соседними датчиками не были больше длины волны. Иначе возникает неопределенность в интерпретации разностей фаз. Если расстояние между датчиками слишком мало, а размах антенны буев также мал, то определения длины волны будут неточными. В силу малого числа датчиков, спектр получается не дельтообразный, а пик спектра, соответствующий волновому числу, оказывается размытым. Поэтому обычно пространственно-временные спектры для определенной частоты представляют в виде изолиний от максимума спектра в процентах.

Расчет пространственно временного спектра производился по формуле:

$$E(k_x, k_y, f_0) = 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n [P_{ij}(f_0) \cos 2\pi(k_x x_{ij} + k_y y_{ij}) - Q_{ij}(f_0) \sin 2\pi(k_x x_{ij} + k_y y_{ij})],$$

где $k_x^2 + k_y^2 = k^2$ пространственное волновое число, а длина волны L равна: $L = 1/k$; i, j – номера датчиков, n – общее число датчиков; P_{ij} и Q_{ij} – реальная и мнимая части взаимного спектра между датчиками с номерами i и j ; $x_{ij} = X_i - X_j$ а $y_{ij} = Y_i - Y_j$ – проекции расстояний между датчиками на горизонтальные оси x и y .

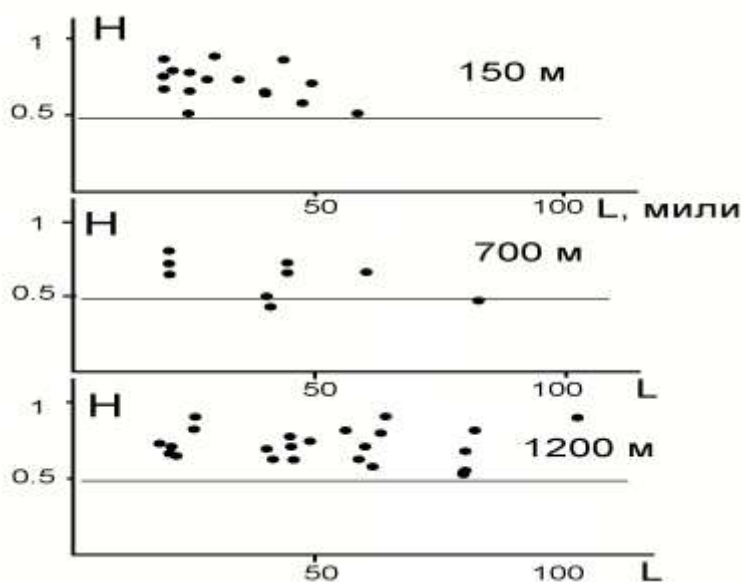


Рис. 2. Зависимость когерентности от расстояния на разных горизонтах (150, 700 и 1200 м). Тонкой линией показан 95%-ный доверительный уровень (0.48)

По измерениям температуры были рассчитаны пространственно-временные спектры для полусуточной частоты для всех горизонтов измерений. Спектры показаны на рис. 3.

Спектральные плотности даны в процентах от максимума пика. Все спектры характеризуются наличием одного доминирующего пика, соответствующего внутренней волне, распространяющейся на юг. Пик, который бы соответствовал волне, распространяющейся на запад от континентального склона Американского континента (побережье Калифорнии), либо отсутствует, либо его доверительная вероятность мала. Длина волны, распространяющейся на юг, около 120-130 км. Распространение волны на юг говорит о том, что ее генерация произошла в районе подводного хребта Мендосино.

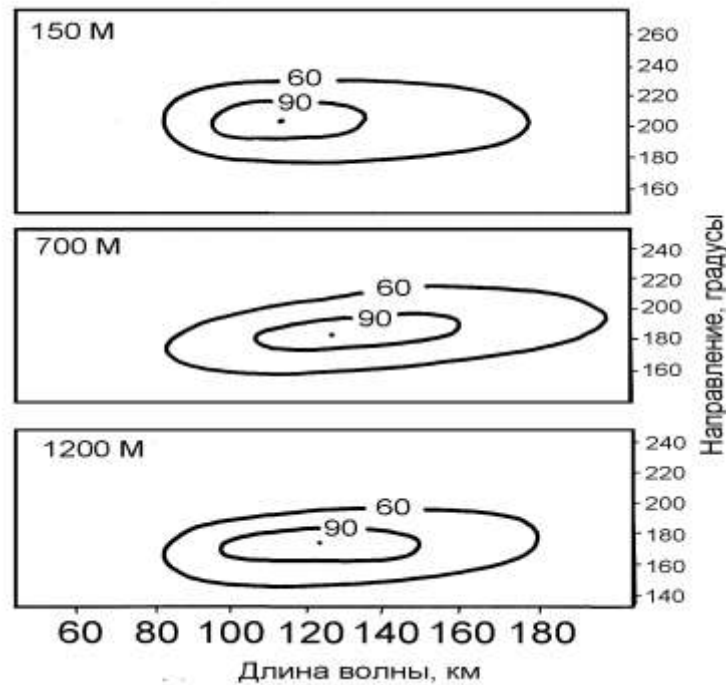


Рис. 3. Пространственно временные спектры для полусуточных колебаний температуры на горизонтах 150, 700 и 1200 м. Показаны изолинии сечения спектра вокруг максимальной точки. Изолинии даны в процентах от максимума (90% и 60%)

Расчет спектров по двум последовательным временным интервалам показал, что вид пространственно-временных спектров практически не изменился, что свидетельствует в пользу устойчивости направленности волн во времени.

Модельные расчеты

Исследование генерации и распространения внутренних приливных волн на уклонах дна океана было произведено также на основе численного моделирования с использованием характерных гидрологических параметров для ввода данных в модель. Использована двумерная модель генерации и распространения внутренних волн в шельфовой зоне и над подводным хребтом в координатах, направленных перпендикулярно к береговой черте (либо к гребню подводного хребта) и по глубине. Внутренние волны считаются плоскими, распространяющимися перпендикулярно берегу. Оригинальная модель была разработана В.И. Влащенко [6] и многократно апробирована в разных гидрологических условиях [4, 5].

Задается невозмущенное внутренними волнами поле плотности, которому соответствует распределение частоты Вайсяля-Брента $N(z)$, взятое из данных измерений. Течения баротропного прилива наиболее интенсивны в проливах между островами. Это соответствует следующему физическому явлению. Из открытой части океана, приблизительно перпендику-

лярно подводному хребту Мендосино, набегают длинная приливная баротропная волна. Приливные течения этой волны, встречая на своем пути препятствие в виде подводного хребта, получают вертикальные составляющие. Периодически изменяемые вертикальные составляющие течений вызывают вертикальные колебания изопикнических поверхностей и за счет этого механизма возбуждаются внутренние волны приливного периода. Таким образом, по заданным параметрам возбуждающей волны, стратификации и рельефа решается задача расчета параметров бароклинных волновых возмущений.

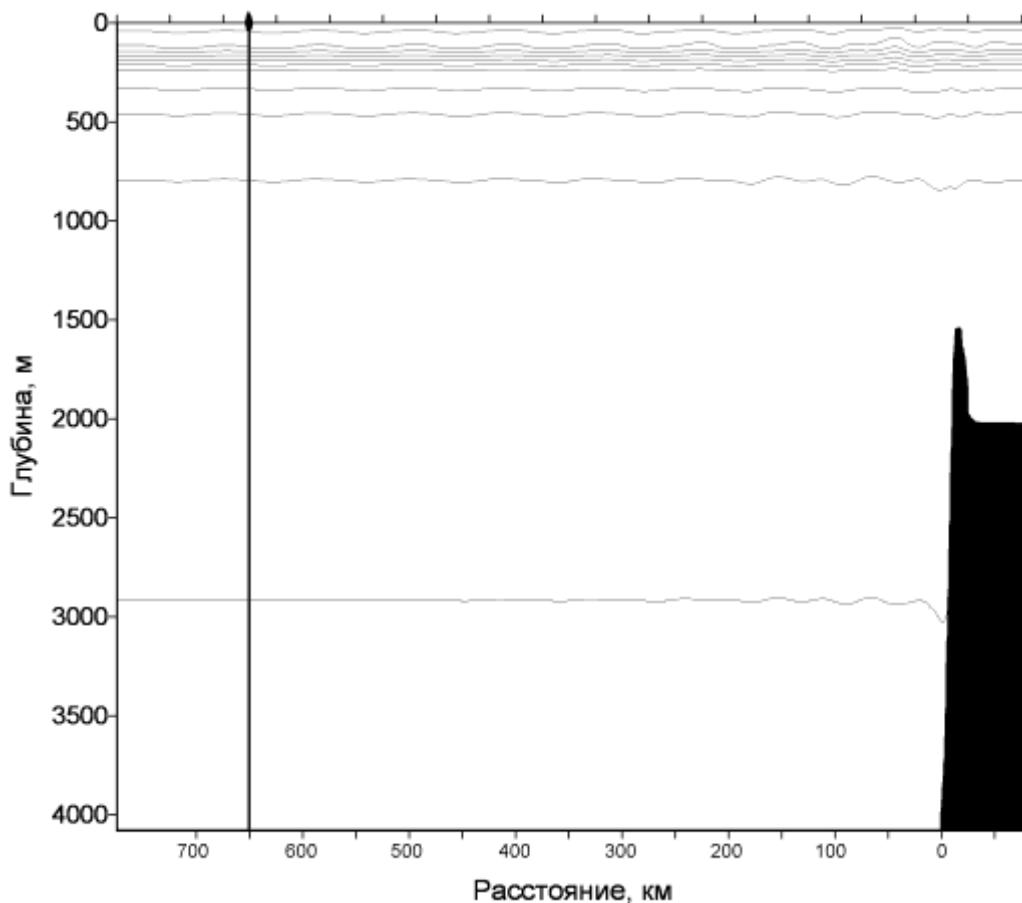


Рис. 4. Поле плотности на разрезе от подводного хребта Мендосино в сторону полигона буев после проведения расчетов в течение 40 приливных периодов M2 от начала вычислений.

Положение полигона буев обозначено вертикальной чертой.

Профиль дна показан черным цветом

Расход воды в течениях баротропного прилива задавался на основании пересчета скоростей течений баротропного прилива в функцию тока. Течения баротропного прилива оценивались по измерениям на буях. Для проведения расчетов по модели было выбрано рабочее поле протяженностью 800 км с шагом по горизонтали, равным 1 км, и 34 уровнями по вертикали. Шаг по времени равнялся 6 сек. Коэффициенты горизонтальной вихревой вязкости и диффузии плотности на крутых склонах задавались равными $250 \text{ м}^2/\text{с}$, а над ровным дном эти коэффициенты уменьшались до $200 \text{ м}^2/\text{с}$, тогда как соответствующие коэффициенты по вертикали равнялись $0.0001 \text{ м}^2/\text{с}$.

Результаты расчетов по модели после 40 приливных периодов расчета представлены на рис. 4. Такой длительный расчет потребовался, поскольку нас интересовали внутренние волны на большом расстоянии от источника (порядка шести-семи длин волн). Согласно расчетам, амплитуда волн (вертикальных смещений изопикнических поверхностей) в районе полигона равняется около 20 м, а длина волны равна 120-130 км. По мере распространения

внутренняя волна затухает и ее амплитуда уменьшается. В районе генерации у подводного хребта Мендосино амплитуда волн равняется около 50 м.

Близкая оценка длины волны (120 км) получена также при интегрировании уравнения для вертикальных скоростей, вызываемых внутренними волнами:

$$\frac{d^2 w}{dz^2} + \frac{N^2(z)}{g} \frac{dw}{dz} + \frac{N^2(z) - \omega^2}{\omega^2 - f^2} k^2 w = 0,$$

где k – волновое число, $N(z)$ – реальное распределение частоты Вэйсяля-Брента по вертикали, рассчитанное по данным зондирования.

Аналогичный расчет был проделан для волн, генерированных около западного побережья США на континентальном склоне. Расчеты показали значительно меньшие амплитуды волн. Колебания изопикнических поверхностей, вызванные внутренними приливами показаны на рис. 5. Амплитуды волн не превышают 10 м. На фоне глубин более 4000 м вертикальные колебания с амплитудой около 10 м не выглядят наглядно в масштабе всей глубины, поэтому на рис. 5 показан расчет только для верхнего 400-метрового слоя.

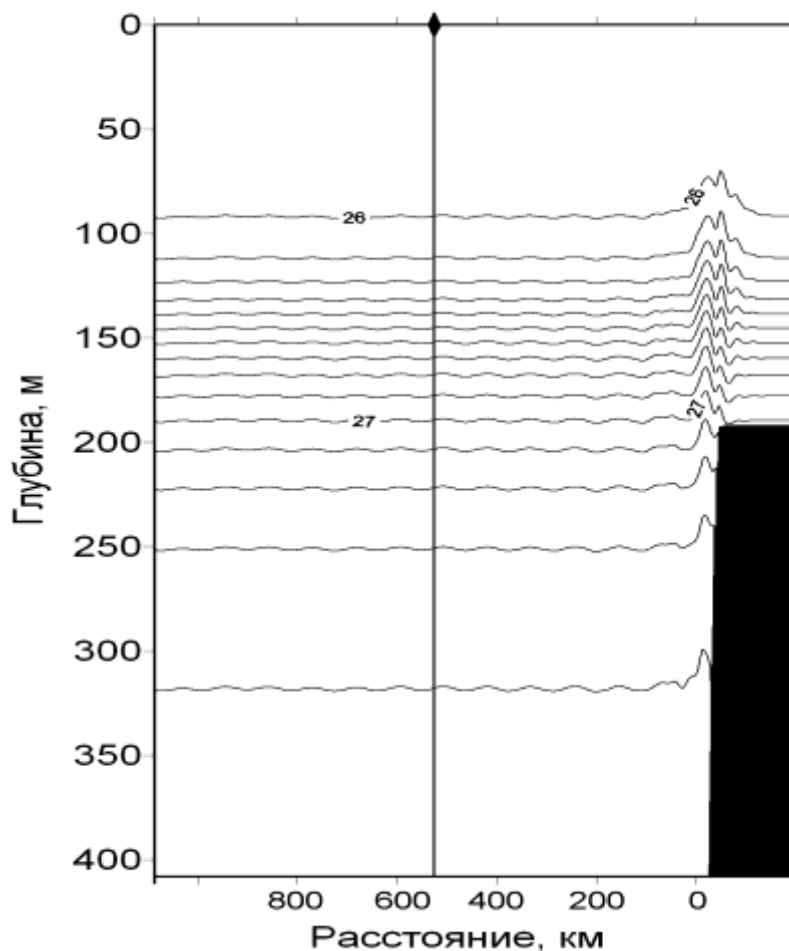


Рис. 5. Поле плотности на разрезе от континентального склона в сторону полигона буев после проведения расчетов в течение 40 приливных периодов M2 от начала вычислений. Полигон буев обозначен вертикальной чертой. Показан только верхний слой 400 м. Профиль дна показан черным цветом

Заключение

В районе подводного хребта Мендосино баротропный прилив генерирует внутренний прилив. Амплитуды полусуточных внутренних волн над склоном равняются 50 м. Внутренняя приливная волна распространяется на юг и достигает полигона буев, расположенного на

расстоянии около 700 км к югу. При этом амплитуда волн уменьшается до 20 м. На континентальном склоне США также происходит генерация приливных волн, но значительно более слабая. Эти волны практически не регистрируются на полигоне и согласно численным расчетам амплитуда волн невелика. Длина волны, оцененная по измерениям на буюх и по расчетам с помощью численной модели, равняется около 125 км.

Библиографический список

1. **Baines, P.G.** On internal tide generation models / P.G. Baines // Deep-Sea Res. 1982. V. 29. № 3. P. 307-338.
2. **Barber, N.F.** The directional resolving power of an array of wave detectors / N.F. Barber // In: Ocean wave spectra, N.Y.: Engelwood Cliffs, Prentice Hall. 1963. P. 137-150.
3. **Morozov, E.G.** Semidiurnal internal wave global field / E.G. Morozov // Deep Sea Res. 1995. V. 42. № 1. P. 135-148.
4. Internal tides in the Strait of Gibraltar / E.G. Morozov [at all.] // J. Phys. Oceanogr. 2002. V. 32. P. 3193-3206.
5. **Vlasenko, V.I.** Nonlinear model for the generation of internal tides / V.I. Vlasenko // Phys. Oceanogr. 1992. V. 3. P. 417-424.
6. **Vlasenko, V.I.** Numerical experiments on the breaking of solitary internal waves over a slope-shelf topography / V.I. Vlasenko, K. Hutter // J. Phys. Oceanogr. 2002. V. 32. P. 1779-1793.

*Дата поступления
в редакцию 15.07.2010*

E.G. Morozov, T.A. Demidova, L.V. Nechvolodov

INTERNAL WAVES GENERATED NEAR THE MENDOCINO RIDGE (WESTERN COAST OF USA)

The data from moorings deployed south of the Mendocino Ridge (western coast of the USA) in 1986 and a numerical model were used to study the generation and propagation of internal tides. The waves generated at the ridge and at the continental slope of the USA are studied. Estimates of wavelengths, amplitudes, and direction of semidiurnal internal tides were obtained. The dominating generation of internal tides occurs at the Mendocino Ridge. The generation of internal tides at the continental slope is weak.

Key words: internal tide, submarine ridge, moored current meters, numerical model.

УДК 532.5.011.12

О.С. Кошелев, С.Е. Пилипосян

КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ В ВЯЗКОЙ СРЕДЕ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Для измерения коэффициента лобового сопротивления A осесимметричного твердого тела, обладающего плоскостью симметрии, перпендикулярной к оси симметрии, рассмотрено его колебательное движение в вязкой среде. При малых числах Рейнольдса $Re \ll 1$, являющихся обязательным условием для измерения A , колебательное движение не возникает. Этот результат можно использовать для гашения упругих колебаний, возникающих в элементах и узлах машин и механизмов.

Приведена схема гасителя, действующего по этому принципу.

Быстрая и локальная диссипация энергии вынужденных колебаний в среде с высокой вязкостью приводит к локальному повышению температуры и снижает вязкость в области трущихся поверхностей. Этот эффект можно использовать для повышения подвижности пластов вязких природных битумов в процессе их добычи.

Ключевые слова: осесимметричное твердое тело, коэффициент лобового сопротивления, вязкая жидкость, логарифмический декремент затухания, число Рейнольдса, гаситель упругих колебаний.

Экспериментальное определение коэффициента лобового сопротивления A твердого тела, движущегося в вязкой среде, представляет интерес потому, что теоретический расчет значения A в случае тела произвольной формы не представляется возможным. Аналитическое решение уравнения Навье-Стокса для равномерного поступательного движения однородного шара в бесконечной вязкой жидкости, найденное Стоксом в 1851 году, привело к результату $A = 6\pi$.

Сила лобового сопротивления F_z , испытываемого телом при прямолинейном равномерном (поступательном) движении в жидкости, отличается от нуля $F_z \neq 0$ только в случае движения в неидеальной жидкости, обладающей ненулевой динамической вязкостью η [1].

Полная сила \vec{F} , действующая на тело, зависит от формы и размеров тела, его ориентации по отношению к потоку, скорости потока v (на бесконечно отдаленной точке) и свойств жидкости. Согласно теории размерности [1], существует функциональная связь между величинами \vec{F} , v , ρ , η , S , где ρ – плотность жидкости, S – характерная площадь поперечного сечения тела, а $l \cong \sqrt{S}$ считается характерным линейным размером тела. Эта функция представляется в виде

$$|\vec{F}| = C(\text{Re}) S \rho v^2 / 2; \quad F_z = C_z(\text{Re}) S \rho v^2 / 2; \quad F_y = C_y(\text{Re}) S \rho v^2 / 2. \quad (1)$$

Безразмерные коэффициенты $C_z(\text{Re})$ и $C_y(\text{Re})$, зависящие от числа Рейнольдса, – это коэффициенты лобового сопротивления и подъёмной силы соответственно. При больших значениях числа Рейнольдса

$$\text{Re} = \rho v_0 l / \eta = v_0 l / \nu \gg 1, \quad (2)$$

когда движение в жидкости определяется силами инерции и роль вязкости незначительна и для скоростей порядка или больше скорости звука, коэффициенты $C_z(\text{Re})$ и $C_y(\text{Re})$ зависят не только от числа Рейнольдса, но и от числа Маха: $M = v_0 / c$ [1, 2], то есть, $C_z = C_z(\text{Re}, M)$ и $C_y = C_y(\text{Re}, M)$.

В случае $\text{Re} \ll 1$, когда инерция, то есть скорость v и плотность ρ жидкости не играют существенной роли, F_z определяется почти исключительно вязкостью η . Независимости

мость лобового сопротивления F_z от плотности ρ жидкости возможно только в том случае, если зависящий только от числа Рейнольдса безразмерный коэффициент $C_z(\text{Re})$ будет иметь следующий явный вид:

$$C_z(\text{Re}) = A \frac{1}{\text{Re}} = A \frac{\eta}{\rho v l}, \quad (3)$$

где A – безразмерная постоянная. Действительно, в этом случае сила лобового сопротивления F_z принимает вид, не зависящий от плотности жидкости:

$$F_z = C_z(\text{Re}) S \rho v^2 / 2 = A \frac{\eta}{\rho v l} S \rho v^2 / 2 = A \eta v l, \quad (4)$$

где $l = \sqrt{S/2}$.

Теоретический расчёт коэффициента A в общем случае является сложной, кропотливой задачей, требующей интегрирования уравнений движения вязкой жидкости (уравнение Навье - Стокса) [2]. Поэтому представляет интерес экспериментальное измерение коэффициента A . В 1851 году английский физик и математик Джордж Стокс рассчитал значение коэффициента A для случая медленного, поступательного движения твердотельного шара радиуса R в неограниченной вязкой жидкости. Для коэффициента A получено значение $A=6\pi$, принимая за характерный размер тела радиус шара $l=R$.

Значение параметра A для тел, обладающих осевой симметрией и плоскостью симметрии, перпендикулярной к оси симметрии, можно найти экспериментальным путем.

Метод гармонических колебаний

Рассмотрим возможность измерения параметра A с помощью гармонических колебаний испытуемого тела в вязкой жидкости [3]. Крутильные колебания цилиндра вокруг оси симметрии использовались для измерения вязкости жидкости Ш. Кулоном. Напомним, что сила лобового сопротивления представляется простым выражением (4) только в условиях, когда число Рейнольдса много меньше единицы.

Измерение периода гармонических колебаний однородного твердого тела массы m определенной формы и размеров, подвешенного на упругой пружине с жесткостью k в вакууме (разреженном газе) и в жидкости (с известной вязкостью η), позволяет исключить параметр k из окончательных результатов и определить число A . Ось пружины совпадает с осью симметрии твердого тела и, следовательно, проходит через его центр масс (рис. 1). Гармонические колебания

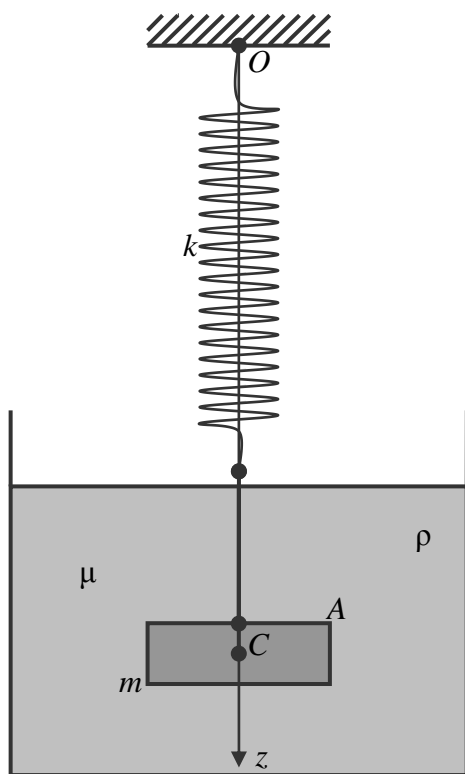


Рис. 1

в воздухе, если массой пружины и сопротивлением воздуха пренебречь, происходят по закону [4]:

$$mz'' = -kz \quad \text{или} \quad z'' + \omega_0^2 z = 0. \quad (5)$$

Угловая частота и период этих колебаний

$$\omega_0 = \sqrt{k/m}; \quad T_0 = 2\pi/\omega_0 = \frac{2\pi}{\sqrt{k/m}}. \quad (6)$$

Ось Z направлена вертикально вниз, по вектору ускорения \vec{g} .

Если учесть, что сила Архимеда меняет только равновесную начальную длину пружины, а сила лобового сопротивления направлена против вектора скорости тела \vec{v} , то колебания тела в жидкости будут подчиняться уравнению

$$mz'' = -kz - A\eta lv = -kz - A\eta lz' \quad \text{или} \quad z'' + 2\beta z' + \omega_0^2 z = 0. \quad (7)$$

Общее решение уравнения (7) имеет вид [3]

$$z = a_0 \exp(-\beta t) \sin(\omega t + \gamma). \quad (8)$$

$$\beta = A\eta l / (2m), \quad (9)$$

где β – коэффициент затухания. Это затухающие колебания с частотой

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{k/m - (A\eta l / (2m))^2}, \quad (10)$$

с начальной амплитудой a_0 и начальной фазой γ . Период незатухающих колебаний, когда $\beta=0$, представляется выражением (6). Очевидно, что при наличии сил сопротивления (9) колебания (10) возникнут, если выполняется условие

$$\omega_0^2 - \beta^2 > 0, \quad \text{или} \quad k > (A\eta l)^2 / (4m).$$

Период затухающих колебаний будет

$$T = T_0 \frac{\sqrt{k/m}}{\sqrt{k/m - (A\eta l / (2m))^2}} = T_0 \left(1 - \frac{(A\eta l)^2}{4mk} \right)^{-\frac{1}{2}}. \quad (11)$$

Следовательно,

$$A = 4\pi m \sqrt{(T^2 - T_0^2)} / (\eta l T_0 T). \quad (12)$$

Логарифмируя выражение (12) и дифференцируя $\ln A$, получим

$$d[\ln A] = d \left(\ln(4\pi) + \ln(m) + \frac{1}{2} \ln(T - T_0) + \frac{1}{2} \ln(T + T_0) - \ln \eta - \ln l - \ln T_0 - \ln T \right)$$

или

$$\frac{dA}{A} = \frac{dm}{m} + \frac{1}{2} \frac{d(T - T_0)}{(T - T_0)} + \frac{1}{2} \frac{d(T + T_0)}{(T + T_0)} - \frac{d\eta}{\eta} - \frac{dl}{l} - \frac{dT_0}{T_0} - \frac{dT}{T}.$$

В измерениях периоды колебаний T_0 и T определяются одинаковой абсолютной погрешностью $\Delta T_0 = \Delta T$. Учитывая, что

$$\varepsilon_{(T-T_0)} = \frac{\Delta(T - T_0)}{|T - T_0|} = \frac{\Delta T + \Delta T_0}{|T - T_0|} = \frac{2\Delta T}{(T - T_0)},$$

для относительной погрешности ε_A в измерениях коэффициента A , получим

$$\varepsilon_A = \frac{\Delta A}{A} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m} \right)^2 + \left(\frac{\Delta T}{|T - T_0|} \right)^2 + \left(\frac{\Delta T}{|T + T_0|} \right)^2 + \left(\frac{\Delta \eta}{\eta} \right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l} \right)^2 + \left(\frac{\Delta T_0}{T_0} \right)^2 + \left(\frac{\Delta T}{T} \right)^2}, \quad (13)$$

где абсолютная погрешность Δu случайной величины u со средним значением $\langle u \rangle$ для N испытаний с доверительной вероятностью $P = 95\%$ определяется с помощью коэффициента Стьюдента $t_{P,N}$ по формуле

$$\Delta u = t_{P,N} \sqrt{\left[\sum_{i=1}^N (u_i - \langle u \rangle)^2 \right] / [N(N-1)]}. \quad (14)$$

Погрешность измерения ε_A быстро растет, при $|T - T_0| \rightarrow \Delta T$. Следовательно, во время эксперимента должно соблюдаться условие $\Delta T \ll |T - T_0|$. В ходе колебательного движения скорость тела v меняется, но если при этом удовлетворяется условие $Re = v l \rho / \eta = v l / \nu \ll 1$,

то A практически не будет зависеть от v . Чтобы число Рейнольдса оставалось много меньше единицы при не слишком малых размерах тела и его скорости, необходимо использовать жидкость с наибольшим значением кинематической вязкости ν . В табл. 1 приведены значения величин ρ , η , ν , Re для некоторых газов и жидкостей при комнатной температуре $t=25^\circ\text{C}$ и при атмосферном давлении (ν – кинематическая вязкость).

Зависимость динамической вязкости η от абсолютной температуры T выражается формулой

$$\eta_t = \eta_{t_0} \sqrt{T/T_0} (1 + C/T_0) / (1 + C/T), \quad (15)$$

где C – постоянная Сезерленда. В интервале температур $20 \leq t^\circ\text{C} \leq 280$ для воздуха $C=106,8$, для азота – $C=103,9$, для кислорода – $C=126,6$, для аргона – $C=140,2$, для углекислого газа – $C=254,0$. Число Рейнольдса рассчитано для скорости $v=1,0$ см/с и характерного размера поперечного сечения $l=1,0$ см.

Из табл. 1 видно, что неравенство $Re \ll 1$ имеет место при колебаниях в глицерине с температурой $t \leq 25^\circ\text{C}$ и в жидкой сере с температурой $t=200^\circ\text{C}$, когда вязкость сере максимальна. Измерение периода колебаний в воздухе лучше проводить, при малых плотностях воздуха.

Таблица 1

$l=1,0$ см	$t^\circ\text{C}$	ρ (кг/м ³)	η (Па·с)	ν (м ² /с)	$Re = \rho l v / \eta$
Углекислый газ	0	1,9768	$0,1487 \cdot 10^{-4}$	$0,07522 \cdot 10^{-4}$	13,294
Аргон	0	1,7839	$0,2250 \cdot 10^{-4}$	$0,12613 \cdot 10^{-4}$	7,928
Воздух	0	1,2928	$0,1837 \cdot 10^{-4}$	$0,1421 \cdot 10^{-4}$	7,038
Азот	0	1,2505	$0,1775 \cdot 10^{-4}$	$0,14194 \cdot 10^{-4}$	7,045
Кислород	0	1,42904	$0,2047 \cdot 10^{-4}$	$0,1432 \cdot 10^{-4}$	6,981
Уксус. кислота	25	$1,049 \cdot 10^3$	$8,4 \cdot 10^{-4}$	$0,00801 \cdot 10^{-4}$	124,88
Вода	10	$\cong 1,0 \cdot 10^3$	$1303,7 \cdot 10^{-4}$	$1,3037 \cdot 10^{-4}$	0,767
Вода	25	$\cong 1,0 \cdot 10^3$	$890,9 \cdot 10^{-4}$	$0,8909 \cdot 10^{-4}$	1,122
Вода	50	$\cong 1,0 \cdot 10^3$	$798,2 \cdot 10^{-4}$	$0,7982 \cdot 10^{-4}$	1,253
Глицерин	10	$\cong 1,26 \cdot 10^3$	$39500 \cdot 10^{-4}$	$31,349 \cdot 10^{-4}$	0,0319
Глицерин	20	$1,26 \cdot 10^3$	$14800 \cdot 10^{-4}$	$11,746 \cdot 10^{-4}$	0,085
Глицерин	25	$\cong 1,26 \cdot 10^3$	$10000 \cdot 10^{-4}$	$7,9365 \cdot 10^{-4}$	0,126
Глицерин	30	$1,26 \cdot 10^3$	$6000 \cdot 10^{-4}$	$4,762 \cdot 10^{-4}$	0,21
Сера жидкая	200	$\cong 1,81 \cdot 10^3$	$215000 \cdot 10^{-4}$	$118,784 \cdot 10^{-4}$	$8,42 \cdot 10^{-3}$

Максимальной скоростью v_{\max} тело обладает при прохождении положения равновесия. Согласно принятому условию, $v_{\max} \leq 0,01$ м/с. Следовательно, энергия первоначальной деформации пружины должна удовлетворять условию

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = \frac{kz_0^2}{2}; \quad z_0 = v_{\max} \sqrt{m/k} = v_{\max} T_0 / (2\pi), \quad (16)$$

$$mv_{\max}^2 = \rho_T V v_{\max}^2 = \rho_T (\sqrt[3]{V})^3 v_{\max}^2 = \rho_T l^3 v_{\max}^2 = kz_0^2, \quad (17)$$

где l – характерный линейный размер тела.

Логарифмический декремент λ , коэффициент затухания β , и число колебаний N_e , после которых амплитуда колебаний уменьшается в e раз, связаны соотношением [4]

$$\lambda = \ln \left(\frac{a(t)}{a(t+T)} \right) = \beta T = \frac{A\eta l}{2m} \frac{2\pi}{\sqrt{k/m - (A\eta l / (2m))^2}} = \frac{1}{N_e}, \quad (18)$$

$$N_e = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4km}{(A\eta l)^2} - 1} = \frac{1}{\beta T} \gg 1, \quad T - T_0 \ll \Delta T,$$

где ΔT – абсолютная погрешность измерения периода колебаний.

Чтобы уменьшить погрешность измерения периода колебаний ΔT во время эксперимента стараются измерить совокупное время как можно большего числа колебаний $N \gg 1$, после того, как систему вывели из состояния устойчивого равновесия. Но, как убедимся далее, условие малости числа Рейнольдса $Re \ll 1$ несовместимо с условием $N_e \gg 1$, потому колебания быстро затухают, точнее, колебания не возникают.

Подставляя в формулу (11) значение параметра $A = 6\pi$ и $l = R$ для шара, найдем связь между периодом незатухающих свободных колебаний шара в вакууме T_0 и периодом затухающих колебаний в вязкой жидкости T :

$$T = T_0 \left(1 - \frac{(6\pi\eta R)^2}{4k \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_T} \right)^{-\frac{1}{2}} = T_0 \left(1 - \frac{27\pi\eta^2}{4kR\rho_T} \right)^{-\frac{1}{2}}; \quad T_0 < T < \infty. \quad (19)$$

Введем параметр $\xi = \frac{27\pi\eta^2}{4kR\rho_T}$. Из (19) следует, что $0 \leq \xi \leq 1$.

Разложив выражение (19) в ряд по степеням $\xi \ll 1$, получим

$$T = T_0 (1 - \xi)^{-\frac{1}{2}} = T_0 \left(1 + \frac{1}{2}\xi + \frac{3}{8}\xi^2 + \frac{5}{16}\xi^3 + \dots \right). \quad (20)$$

$$\frac{T - T_0}{T_0} = \frac{\Delta T}{T_0} = \frac{1}{2}\xi + \frac{3}{8}\xi^2 + \frac{5}{16}\xi^3 + \dots$$

Предположим $\xi = 0,1$, тогда

$$T = T_0 \left(1 + 0,05 + \frac{3}{800} + \frac{5}{16000} + \dots \right) = T_0 \left(1 + \frac{865}{16000} + \dots \right) = T_0 (1 + 0,05406 + \dots).$$

Очевидно, что чем меньше ξ , тем быстрее сходится ряд к своему пределу.

В случае $\xi = 0,2$, получаем

$$T = T_0 \left(1 + 0,1 + \frac{3}{200} + \frac{5}{2000} + \dots \right) = T_0 \left(1 + \frac{235}{2000} + \dots \right) = T_0 (1 + 0,1137 + \dots).$$

Предположим теперь, что $\xi = 0,5$, тогда

$$T = T_0 \left(1 + 0,25 + \frac{3}{32} + \frac{5}{128} + \dots \right) = T_0 \left(1 + \frac{49}{128} + \dots \right) = T_0 (1 + 0,3828125 + \dots).$$

В этом случае ряд значительно медленнее сходится к пределу.

Наконец, когда $\xi \rightarrow 1$, то $T \rightarrow \infty$, то есть колебания не возникают.

Рассмотрим, какие ограничения накладывает одновременное выполнение малости числа Рейнольдса $Re \ll 1$ и условие возникновения колебаний, то есть малости затухания $N_e \gg 1$, и убедимся в том, что они несовместимы. Пусть

$$\begin{cases} \xi = \frac{27\pi\eta^2}{4kR\rho_T} = \frac{27\pi\rho_{ж}^2 v^2}{4kR\rho_T} = 0,2 \\ \text{Re} = \frac{\rho_{ж} v R}{\eta} = \frac{v R}{\nu} = 0,1; \quad v = 10\nu R \end{cases} \quad (21)$$

Подставляя значение вязкости ν из второго уравнения в первое, получаем равенство $\frac{27\pi\rho_{ж}^2 \cdot 100R^2 \nu^2}{4kR\rho_T} = 0,2$, откуда находим жесткость пружины k :

$$k = \frac{2700}{0,8} \pi R \frac{\rho_{ж}^2 v^2}{\rho_T} = \frac{270}{0,8} \pi \frac{\rho_{ж} v \eta}{\rho_T} = \frac{27}{0,8} \pi \frac{\rho_{ж}^2 v^2}{\rho_T R}. \quad (22)$$

Таким образом, если задана жидкость с известными $\rho_{ж}$, η и $\nu = \eta/\rho_{ж}$, а также известны плотность ρ_T , радиус R , и масса $m = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_T$ шара, то, определив сначала скорость движения шара $v = \frac{0,1\eta}{\rho_{ж} R} = \frac{0,1\nu}{R}$, удовлетворяющую условию малости числа Рейнольдса, далее находим значение жесткости k пружины, удовлетворяющее условию возникновения колебаний:

$$k = \frac{270}{0,8} \pi \frac{\rho_{ж} v \eta}{\rho_T}.$$

Но амплитудное значение растяжения пружины Δz_0 и максимальная скорость движения шара в жидкости v_{\max} связаны условием закона сохранения энергии. При движении тела в диссипативной среде имеем

$$k(\Delta z_0)^2 \geq m(v_{\max})^2, \text{ или} \quad (23)$$

$$\Delta z_0 \geq \sqrt{\frac{m}{k}} v_{\max} = \sqrt{\frac{\frac{4}{3} \pi R^3 \rho_T}{\frac{270}{0,8} \pi \frac{\rho_{ж} v \eta}{\rho_T}}} v_{\max} = \frac{\rho_T}{\rho_{ж}} \frac{v_{\max}}{\nu} R \sqrt{\frac{3,2}{810} \frac{\rho_{ж} v R}{\eta}} = \frac{\rho_T}{\rho_{ж}} \frac{v_{\max}}{\nu} R \sqrt{\frac{3,2}{810}} \sqrt{\text{Re}}. \quad (24)$$

Максимальная скорость движения шара в жидкости не должна превышать значение, по которому определяется число Рейнольдса:

$$v_{\max} \cong v = \frac{0,1\eta}{\rho_{ж} R}. \quad (25)$$

Тогда первоначальное растяжение пружины представляется выражением

$$\Delta z_0 = \frac{\rho_T}{\rho_{ж}} R \sqrt{\frac{3,2}{810}} \sqrt{\text{Re}} = \frac{\rho_T}{\rho_{ж}} R \sqrt{\frac{3,2}{8100}} = \frac{\rho_T}{\rho_{ж}} \frac{R}{50,3}. \quad (26)$$

Рассмотрим движение шара из вольфрама в глицерине при $t = 20^\circ \text{C}$.

$\rho_{ж} = 1,26 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $\eta = 1,48 \text{ Па}\cdot\text{с}$ и $\nu = \eta/\rho_{ж} = 11,746 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$, а $\rho_T = (18,6 \div 19,1) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 = 18,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, радиус $R = 5 \text{ мм}$, масса

$$m = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_T = \frac{4\pi}{3} \frac{(2R)^3}{8} \rho_T = \frac{3,14159}{6} 18,85 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 9,87 \cdot 10^{-3} \text{ кг}.$$

$$v = \frac{0,1\eta}{\rho_{\text{ж}} R} = \frac{0,1 \cdot 1,48 \text{ Па} \cdot \text{с}}{1,26 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}} = \frac{0,148}{6,3} \text{ м/с} = 0,0235 \text{ м/с},$$

$$k = \frac{270}{0,8} \pi \frac{\rho_{\text{ж}} v \eta}{\rho_T} = \frac{270}{0,8} 3,14159 \frac{1,26 \cdot 0,0235 \cdot 1,48}{18,85} \text{ н/м} = \frac{37,172}{15,08} \text{ н/м} = 2,465 \text{ н/м},$$

$$\Delta z_0 = \frac{\rho_T}{\rho_{\text{ж}}} \frac{R}{50,3} = \frac{18,85}{1,26} \cdot \frac{5 \text{ мм}}{50,3} = \frac{94,25}{63,378} \text{ мм} = 1,487 \text{ мм}.$$

Эта пружина удлинится около 36,64 мм, чтобы уравновесить силу тяжести шара с учетом силы Архимеда в глицерине. Дополнительное удлинение из этого состояния равновесия составляет 1,5 мм.

Найдем число колебаний, которые совершит шар, выведенный из состояния равновесия на величину Δz_0 до момента, когда первоначальная амплитуда уменьшится в e раз. Логарифмический декремент λ , коэффициент затухания β и число колебаний N_e , после которых амплитуда колебаний уменьшается в e раз, связаны соотношением (18) [4]

$$N_e = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\beta T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4km}{(A\eta l)^2} - 1}, \quad T - T_0 \gg \Delta T,$$

где ΔT - погрешность измерения периода колебаний на эксперименте. Следовательно,

$$N_e = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4km}{(6\pi\eta R)^2} - 1} = \frac{1}{6,28318} \sqrt{\frac{97,32 \cdot 10^{-3}}{19456,98 \cdot 10^{-6}} - 1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14159} \sqrt{5,0018 - 1} = \frac{1}{\pi}.$$

Поскольку в процессе жидкого трения явление застоя отсутствует и амплитуда колебаний уменьшается по геометрической прогрессии [5], то в данном случае в конце первого колебания амплитуда уменьшится в $e^\pi = 23,1407$ раз. Из общих выводов теории также следует, что колебательное движение в вязкой среде при $Re \ll 1$ не должно возникать.

Действительно, для возникновения колебательного движения система, выведенная из состояния устойчивого равновесия, должна стремиться назад к состоянию устойчивого равновесия. Но в момент, когда система оказывается в состоянии равновесия, она должна обладать достаточно большой инерцией, чтобы продолжать движение от состояния равновесия.

Согласно условиям данной задачи, движение шара в вязкой среде при $Re \ll 1$ обусловлено не силами инерции, а главным образом силами трения, то есть роль сил инерции незначительна, поэтому полученная численная оценка вполне закономерна.

Следовательно, колебательное движение в вязкой среде при $Re \ll 1$ невозможно. Возникновение колебаний – свидетельство того, что процесс движения тела в вязкой среде определяется силами инерции, а силы трения играют незначительную роль. Такие условия создаются при больших значениях числа Рейнольдса $Re \gg 1$. Поэтому система (упругая пружина и шар), оказавшись в точке устойчивого равновесия, не может остановиться и по инерции продолжает движение. В данном же случае (при малости числа Рейнольдса) движение определяется вязкостью среды, и силы инерции существенной роли не играют. Поэтому как бы ни изменились вязкость среды, ее плотность и радиус шара (при условии постоянства числа Рейнольдса $Re = \text{const} \ll 1$), характер движения практически не изменится и будет определяться значением числа Рейнольдса $Re = l v_0 \rho / \eta = l v_0 / \nu \ll 1$.

Коэффициент затухания, согласно формулам (9) и (20), при этом будет

$$\beta = \frac{1}{T \cdot N_e} = \frac{A\eta l}{2m} = \frac{A\rho_{\text{ж}} v l}{2m} = \frac{A}{2m} \frac{\rho_{\text{ж}} v l}{\eta} \frac{\eta^2}{\rho_{\text{ж}} v} = \frac{A}{2m} Re \frac{\eta^2}{\rho_{\text{ж}} v}. \quad (27)$$

Сравним движения вольфрамового шара в глицерине и в уксусной кислоте при темпе-

ратуре $t=25^\circ\text{C}$. Из таблицы видно, что динамические вязкости этих жидкостей при температуре $t=25^\circ\text{C}$ отличаются ровно в 1000 раз.

Поскольку плотности этих жидкостей мало отличаются, то в таком же соотношении находятся их кинематические вязкости.

Чтобы сохранить прежнее значение числа Рейнольдса при замене глицерина уксусной кислотой мы вынуждены уменьшить в 1000 раз или радиус шара, или скорость шара, или их произведение. Рассмотрим сначала первый вариант, когда скорость не меняется, а радиус шара уменьшается в 1000 раз. Согласно (21), в 1000 раз уменьшатся k и Δz_0 :

$$k = \frac{270}{0,8} \pi \frac{\rho_{\text{ж}} \nu \eta}{\rho_{\text{г}}} \quad \text{и} \quad \Delta z_0 = \frac{\rho_{\text{г}}}{\rho_{\text{ж}}} \frac{R}{50,3}, \quad \text{а значение параметра } \xi = 0,2 \text{ не изменится. Не изменится}$$

также значение числа колебаний, после которых амплитуда уменьшается в e раз.

$$N_e = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4km}{(6\pi\eta R)^2} - 1} = \frac{1}{6,28318} \sqrt{\frac{97,32 \cdot 10^{-3}}{19456,98 \cdot 10^{-6}} - 1} = \frac{1}{2,3,14159} \sqrt{5,0018 - 1} = \frac{1}{\pi},$$

поскольку и числитель, и знаменатель дроби под квадратным корнем уменьшатся ровно в 10^{12} раз.

В случае, когда меняем только жидкость, а шар остается тот же, чтобы выполнялось условие $Re = vR/\nu = 0,1$, скорость движения шара нужно уменьшить в 1000 раз. Тогда k пружины уменьшится в 10^6 раз, начальное отклонение пружины

$$\Delta z_0 = v_{\text{max}} \sqrt{m/k} = \frac{\rho_{\text{г}}}{\rho_{\text{ж}}} \frac{R}{50,3} \text{ останется неизменным.}$$

Следовательно, значение параметра $\xi = \frac{27\pi\eta^2}{4kR\rho_{\text{г}}} = 0,2$ останется неизменным. Число колебаний, после которых амплитуда уменьшается в e раз, будет

$$N_e = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4km}{(6\pi\eta R)^2} - 1} = \frac{1}{\pi},$$

то есть колебания опять не возникнут. Характер движения не изменится и тогда, когда для постоянства числа Рейнольдса в 1000 раз уменьшим значение произведения νR .

Если поверхность тела не является сферой, но обладает плоскостью симметрии, перпендикулярной к его оси симметрии, то значение числа A будет зависеть от конкретной формы осевой симметрии тела (в случае тела вращения - конус, цилиндр, параболоид вращения положительной и отрицательной кривизны, шар, эллипсоид вращения и т. д.) и ориентации тела относительно вектора скорости относительного движения в жидкости.

Предполагается, что относительная скорость движения совпадает с осью симметрии тела, и поэтому подъемная сила отсутствует. Тело должно обладать плоскостью симметрии, перпендикулярной к его оси симметрии, поскольку колебательное движение происходит в обоих направлениях оси симметрии, то и лобовое сопротивление должно быть одинаковым в обоих направлениях движения. Сочетая перечисленные простые формы, можно получить осесимметричные тела, обладающие плоскостью симметрии, перпендикулярной к оси симметрии, и при этом имеющие довольно сложную форму. Для получения такой поверхности достаточно взять произвольную ограниченную четную функцию $y=f(z)$ ($0 \leq z \leq a$), отразить ее график в плоскости XOY и полученную плоскую кривую $y=f(z)$ ($-a \leq z \leq a$) вращать вокруг оси OZ (рис. 2). Полученный результат справедлив для тел целого семейства форм.

Таким образом, при малых числах Рейнольдса возникшие в вязкой среде упругие колебания быстро затухают, и это обстоятельство можно использовать для создания гасителя упругих колебаний.

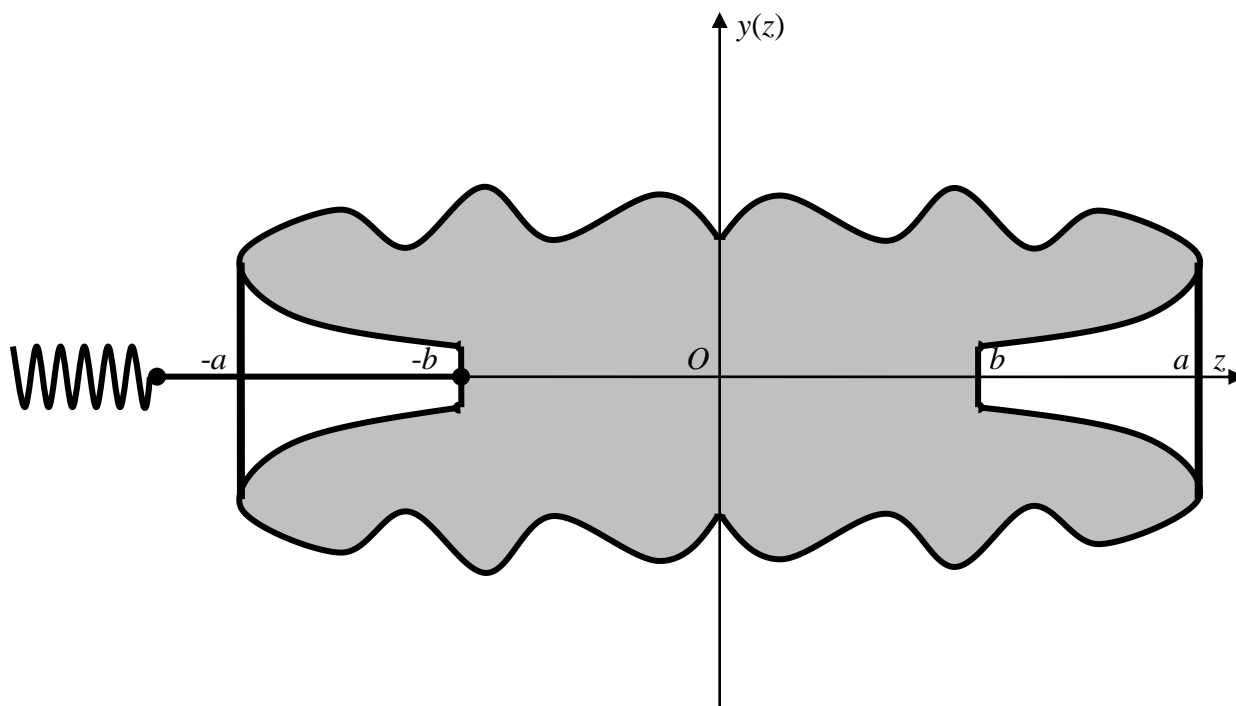


Рис. 2

При эксплуатации различных машин и механизмов часто возникают нежелательные колебания, которые могут вызывать усталость упругого материала, активизируя развитие микротрещин, а в случае резонанса могут привести к быстрому разрушению отдельных узлов и механизмов в целом.

Основным элементом гасителя колебаний (рис. 3) может служить некоторая матрица с большим числом регулярно расположенных отверстий малого диаметра. Матрицу необходимо изготавливать из материала с высокой теплопроводностью. Если ее устанавливать в герметичный двухкамерный контейнер с вязкой жидкостью, то при возникновении внешней силы, вызывающей упругую деформацию, появляется разность давлений жидкости в камерах, вследствие чего жидкость с некоторой скоростью перетекает из одной камеры в другую через матрицу гасителя. Согласно принципу относительности, такое движение жидкости равносильно движению каркаса матрицы через неподвижную жидкость той же скоростью. Для затухания колебаний такое движение в жидкости должно удовлетворять условию $Re \ll 1$, где l - характерный линейный размер элемента каркаса гасителя, а v - скорость относительного движения.

Хорошая теплопроводность материала матрицы гасителя позволяет поддерживать стабильную температуру (постоянство η) в жидкости даже при интенсивном выделении тепла вследствие жидкого трения.

Очевидно, что в качестве матрицы гасителя можно использовать пористый, а точнее, композитный материал с ориентированными и упорядоченными мезотрубками, имеющими диаметр в несколько мкм и макроскопическую длину. В таком случае выполнение условия $Re \ll 1$ становится проще.

Такие сеточные структуры уже нашли применение для гашения ударных волн [6], для которых скорость распространения в среде максимальна. Для газовой среды, например, скорость распространения ударной волны как сильного возмущения равновесного давления среды выше, чем скорость распространения слабых возмущений давления, каковыми являются упругие звуковые волны [7].

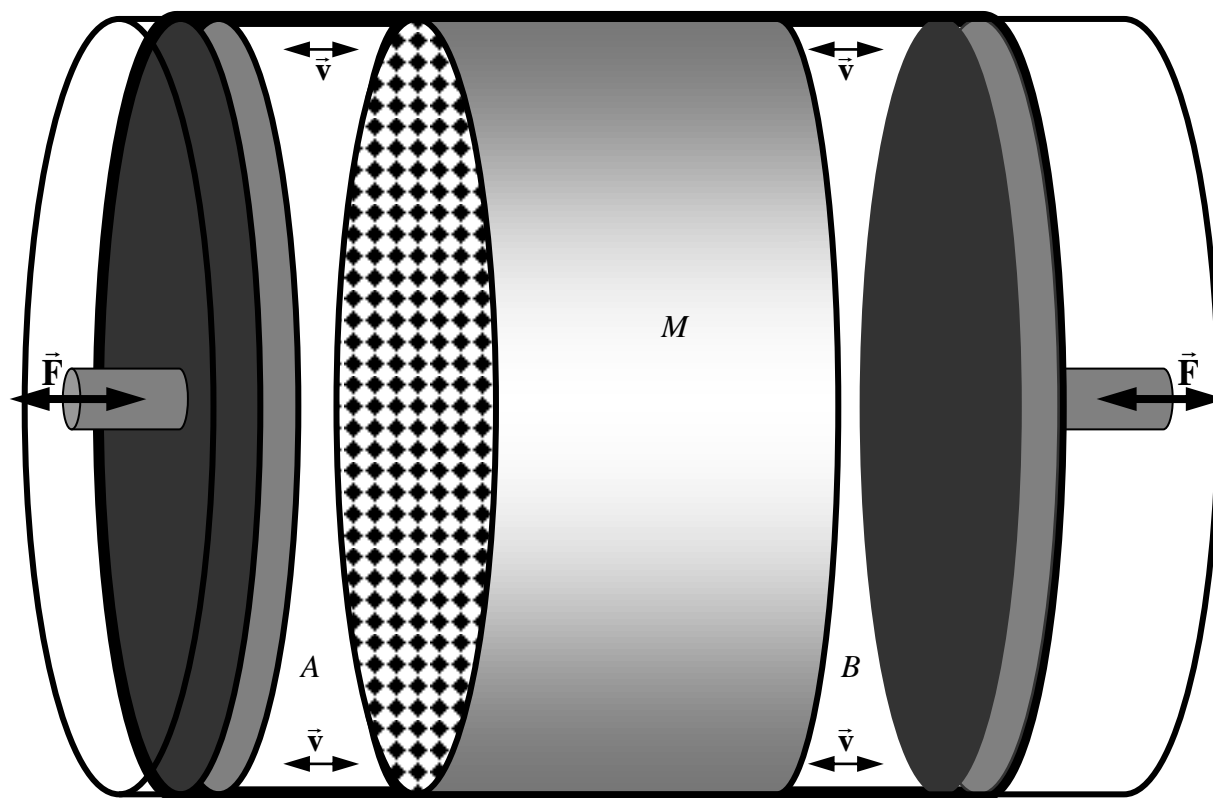


Рис. 3

Быстрое затухание вынужденных колебаний в среде с высокой вязкостью приводит к локальному повышению температуры и снижает вязкость в области трущихся поверхностей. Этот эффект можно использовать для низкочередного и эффективного повышения подвижности в объемах пластов вязких природных битумов в процессе их более полной и качественной добычи [8].

Выводы

Упругие колебания твердых тел в вязкой среде, при малых числах Рейнольдса $Re \ll 1$ быстро затухают (не возникают). Это обстоятельство можно использовать для создания эффективных гасителей нежелательных (вредных) упругих колебаний, возникающих в узлах машин и механизмов.

Энергию вынужденных колебаний в среде с высокой вязкостью при $Re \ll 1$ можно использовать для быстрого местного нагрева трущихся поверхностей и резкого снижения вязкости в этой области.

Библиографический список

1. **Сивухин, Д.В.** Общий курс физики: учебное пособие для вузов: в 5 т. Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика / Д.В. Сивухин. – М.: Физматлит, 2006. – 544 с.
2. **Циглер, Ф.** Механика твердых тел и жидкостей: пер. с англ. / Ф. Циглер; под ред. Ю.И. Няшина. - Москва-Ижевск.: Научно-издательский центр «Регулярная и хаотичная динамика», 2002. – 885 с.
3. **Пилипосян, С.Е.** Сила трения: учеб. пособие/ С.Е. Пилипосян, И.Е. Бритов; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2009. -132 с.
4. **Савельев, И.В.** Курс общей физики: учебное пособие: в 3 т. Т. 1. Механика. Молекулярная физика/И.В. Савельев. – СПб.: Лань, 2006. - 432 с.

5. **Голубева, О.В.** Теоретическая механика / О.В. Голубева. – М.: Физматлит, 1961. – 701 с.
6. **Молотков Л.А.** О затухании в эффективной модели, описывающей пористые и трещиноватые среды, насыщенные жидкостью // Зап. научн. семин. ПОМИ. 2003. 297. 216–229 с.
7. **Сивухин, Д.В.** Общий курс физики: учебное пособие для вузов. В 5 т. Т. 1. Механика / Д.В. Сивухин. – М.: Физматлит, 2006. – 560 с.
8. **Марфин, Е.А.** О влиянии упругих волн на вязкость жидких углеводородов/ Е.А. Марфин, Я.И. Кравцов // Проблемы механики и акустики сред с микро- и наноструктурой: НАНОМЕХ – 2009: тез. докл. 1-й Всероссийской конференции. Н. Новгород 21–23 сентября 2009 г. / НГТУ. – Н. Новгород. – С. 128-129.

*Дата поступления
в редакцию 15.05.2010*

O.S. Koshelev, S.E. Piliposian

VIBRATORY MOTION IN VISCOUS MEDIUM

The article contains the analysis of vibratory motion in viscous medium of an axially symmetrical solid body, which has plane of symmetry perpendicular to axis of symmetry, with the aim of its A head drag coefficient measurement. Vibratory motion does not occur at low Reynolds numbers $Re \ll 1$, which is an indispensable condition for A measurement. This result can be used for damping the elastic vibrations, which take place in engine and machine parts.

The article contains a diagram of a damper, which operated according to this principle.

Rapid and local energy dissipation of forced vibrations in high viscosity environment leads to local raise of temperature and decreases viscosity in the area of wear surfaces. This effect can be used to increase mobility of natural viscous bitumen in the process of recovery.

Key words: axially symmetrical solid body, head drag coefficient, viscous liquids, logarithmic decrement, Reynolds number, damping the elastic vibrations.

ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 681.5

В.В. Кондратьев¹, К.М. Михайлов²

РЕКОНФИГУРИРОВАНИЕ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
Мера НН²

Вводится понятие реконфигурируемых конечных автоматов как формальной модели для описания автоматов, конфигурация которых может быть изменена во время работы. С появлением устройств реконфигурируемой логики эта модель становится важной для описания и создания реконфигурирующегося оборудования. Предлагаются алгоритмические решения и эффективная аппаратная реализация процесса преобразования существующего конечного автомата в другой конечный автомат.

Ключевые слова: реконфигурируемый конечный автомат, реконфигурирующийся конечный автомат, события, состояния, реконфигуратор.

Постановка задачи

С появлением реконфигурируемого и частично реконфигурируемого оборудования, такого как FPGA (field programmable gate arrays) [1, 2], стало возможным оперативно изменять структуру оборудования. Большинство из этих микросхем основаны на статическом ОЗУ, и реконфигурация производится путем изменения данных в строках или столбцах реконфигурируемых логических блоков (КЛБ).

Время реконфигурации этих микросхем порядка нескольких миллисекунд, что значительно быстрее, чем алгоритмы размещения конечных автоматов в реконфигурационные данные.

Для сокращения времени реконфигурации предварительно синтезированные конфигурационные данные перезаписываются или просто подменяют друг друга в процессе выполнения с использованием таких технологий, как мультиконтекстные FPGA.

Известно, что первые поколения микропроцессоров и операционных систем использовали идею самореконфигурируемого программного кода для того, чтобы выполнять более сложные или большие по размеру программы, которые не уместились бы в оперативной памяти или работали бы слишком медленно при классическом подходе. До сих пор подобный подход используется в системах динамического сжатия программного кода, и некоторых системах защиты от несанкционированного использования программного обеспечения.

Представляет значительный интерес использование этого принципа в контексте оборудования – создание схем, которые изменяют свою структуру во время работы.

Для этого необходимо создание:

- высокоуровневых моделей для описания самореконфигурируемого оборудования, таких как реконфигурируемые конечные автоматы;
- способа использования расширенных возможностей предоставляемых реконфигурацией, вместо простой замены одной цельной конфигурации другой.

Концепция реализации реконфигурируемого автомата

Назовем конечный автомат, в котором возможно изменять функцию выходов (G) и функцию переходов (F) *реконфигурируемым конечным автоматом*.

Автомат, реконфигурация которого инициируется самой системой, будем называть *реконфигурирующимся конечным автоматом*.

Внешние события, инициирующие изменение F и G , называются *реконфигурационными событиями*.

Реконфигурируемый конечный автомат описывается десятью элементами.

$(S, I, O, F, G, S_0, R, H_f, H_g, H_i)$, где

- S – конечный набор внутренних состояний автомата;
- I – конечный набор входных сигналов, представленный либо символически, либо как бинарный вектор;
- O – конечный набор выходных сигналов, представленный либо символически, либо как бинарный вектор;
- $F(i, s)$ – функция переходов (зависимость следующего состояния от текущего и от входных сигналов);
- $G(i, s)$ – функция выходов (зависимость выходного сигнала от текущего и от входных сигналов);
- S_0 – набор начальных состояний;
- R – конечный набор состояний реконфигурации конечного автомата, представленный либо символически, либо как бинарный вектор входных сигналов реконфигурации;
- $H_f(r)$ – реконфигуратор функции переходов, где $r \in R$ – отображение реконфигурационного состояния во внутреннее состояние конечного автомата $F(i', s)$, где $i' \in I$, $s \in S$, т.е. $F(i', s)$ может быть реконфигурирована следующим образом: $F(i', s) := H_f(r)$;
- $H_g(r)$ – реконфигуратор функции выходов, где $r \in R$ – отображение реконфигурационного состояния в выходное состояние конечного автомата $G(i', s)$, где $i' \in I$, $s \in S$, т.е. $G(i', s)$ может быть реконфигурирована следующим образом: $G(i', s) := H_g(r)$;
- $H_i(i, r)$, где $r \in R$, $i \in I$ – отображение реконфигурационного состояния во входные сигналы.

Описанная модель реконфигурируемого конечного автомата представлена на рис. 1. Функция переходов F может быть изменена при помощи H_f , а функция выходов G – при помощи H_g . Функции H_g и H_f зависят от реконфигурационного состояния, в то время как H_i зависит от входных сигналов и реконфигурационного состояния. Функция H_i определена таким образом, что во время работы конечного автомата $I' = I$, а во время реконфигурации I' зависит только от r . Физические аспекты – когда и как могут изменяться функции выходов и переходов, будут рассмотрены далее.

Для реализации предложенного подхода выбираем вариант конечного автомата, в котором блоки, выполняющие функции F и G реализованы на основе блоков ОЗУ.

Таким образом, конфигурация автомата задается содержимым ОЗУ. В эту схему добавляется блок реконфигуратора, который может изменять содержимое ОЗУ (F и G). Кроме того, этот блок может генерировать входные сигналы, необходимые для перевода автомата в конкретное состояние в соответствии с программой реконфигурации.

При наступлении реконфигурационного события автомат переводится в режим реконфигурации. В режиме реконфигурации блок реконфигуратора в соответствии с програм-

мой реконфигурации генерирует входные сигналы, необходимые для формирования адреса в блоках ОЗУ, и подает на вход ОЗУ значения, необходимые для реконфигурации.

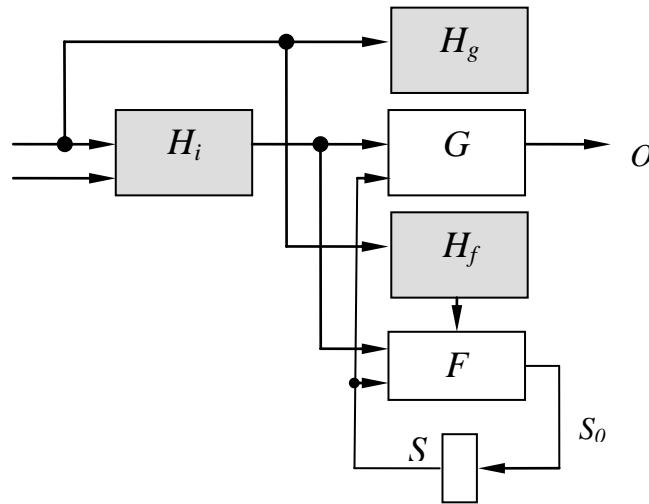


Рис. 1

На рис. 2 изображена блок-схема аппаратной реализации реконфигурируемого конечного автомата. В данной реализации блок реконфигуратора реализует функции H_g, H_f, H_i и генерирует два дополнительных сигнала – rst и $rst-st$, назначение которых объяснено далее. **F-ОЗУ** и **G-ОЗУ** – это память, которая содержит реконфигурируемые функцию переходов и функцию выходов $F(i', s), G(i', s), i' \in I, s \in S$.

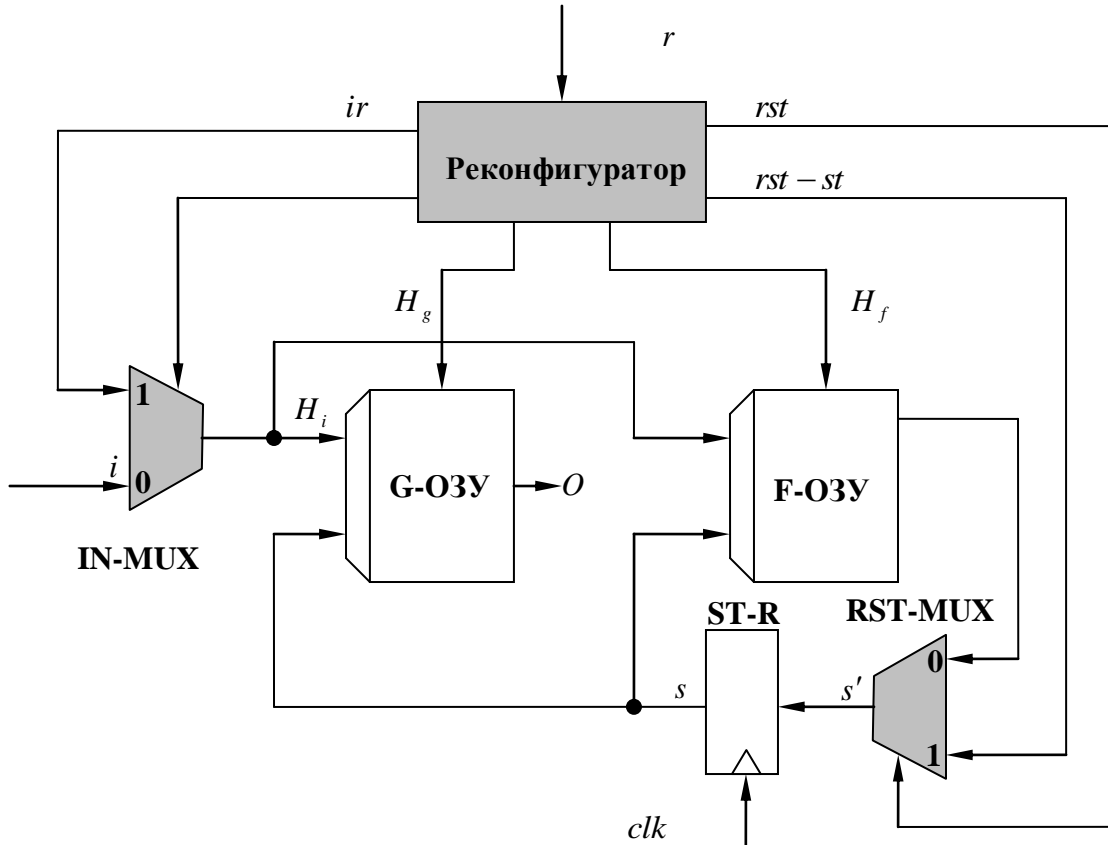


Рис. 2

Регистр состояния **ST-R** содержит текущее состояние s . Этот регистр заполняется по фронту каждого сигнала синхронизации значением следующего состояния s' .

Мультиплексор сброса **RST-MUX** используется для сброса автомата в нулевое состояние ($s' = S_0$) в зависимости от сигнала сброса rst . Таким образом, не имеет значения, в каком текущем состоянии s находится автомат, всегда есть возможность войти в нулевое состояние S_0 по следующему фронту сигнала синхронизации.

Когда автомат работает в нормальном режиме, мультиплексор **IN-MUX** выбирает входной сигнал $i(H_i(i, r)) = i$. Адрес в блоках ОЗУ F и G зависит от внешнего сигнала i и текущего состояния s . **G-ОЗУ** генерирует выход o , а **F-ОЗУ** генерирует следующее состояние s' .

В режиме реконфигурации мультиплексор **IN-MUX** выбирает сигнал ir , генерируемый блоком реконфигуратора ($H_i(i, r) = ir$). Адрес в блоках ОЗУ F и G зависит от внешнего сигнала ir и текущего состояния s , т.е. входной сигнал i не оказывает влияния на автомат. В зависимости от состояния реконфигурации r , реконфигуратор генерирует новые значения ir, H_f, H_g для занесения в **F-ОЗУ** и **G-ОЗУ**.

Основными преимуществами данной реализации реконфигурируемых конечных автоматов является возможность работать на высокой тактовой частоте по причине простоты, а также независимость от конкретного оборудования и от размещения внутри кристалла или FPGA, в отличие от подходов, где схема должна генерировать конфигурационные данные в виде потоков данных, зависящих от конкретного производителя FPGA.

Алгоритмы реконфигурации

Для реализации реконфигурации исходного конечного автомата M в M' необходимо дать ответы на вопросы:

- При каких условиях M может превратиться в M' путем реконфигурации?
- Если M может превратиться в M' , тогда каково минимальное число тактов реконфигурации?

Допустим, мы имеем конечные автоматы $M = (I, O, S, S_0, F, G)$ и $M' = (I', O', S', S'_0, F', G')$. S_c - объединение S и S' , т.е. $S \subseteq S_c$ и $S' \subseteq S_c$. Аналогично определим I_c как объединение I и I' , т.е. $I \subseteq I_c$ и $I' \subseteq I_c$, а также $O \subseteq O_c$ и $O' \subseteq O_c$.

Назовем *реконфигурируемостью автомата M* возможность его преобразования в конечный автомат M' при помощи конечной последовательности шагов, начинающейся в состоянии $S_0 \in S$ и заканчивающейся в $S'_0 \in S'$.

Оптимальной реконфигурацией будем называть преобразование конечного автомата M в M' за минимальное число шагов из состояния $S_0 \in S$ в $S'_0 \in S'$.

Допустим, мы имеем конечные автоматы $M = (I, O, S, S_0, F, G)$ и $M' = (I', O', S', S'_0, F', G')$. Пусть $T' = \{(i, s_x, s_y, o) : i \in I', s_x \in S', s_y = F'(i, s_x), o = G'(i, s_x)\}$ определяет все множество переходов автомата M' . Тогда переход $t_d = (i, s_x, s_y, 0) \in T'$ называется дельта-переходом и должен быть реконфигурирован для того, чтобы преобразовать M в M' , если хотя бы одно из этих условий соблюдается:

- $i \in I \wedge s_x \notin S \wedge s_y \notin S \wedge o \notin O$;
- $s_y \neq F(i, s_x) \wedge i \in (I \cap I') \wedge s_x \in (S \cap S')$;
- $o \neq G(i, s_x) \wedge i \in (I \cap I') \wedge s_x \in (S \cap S')$.

Введенное понятие иллюстрирует следующий пример.

Пример 1. Рассмотрим конечный автомат $M = (I, O, S, S_0, F, G)$

$I = \{i\}, i \in \{0,1\}, O = \{o\}, o \in \{0,1\}, S = \{S_0, S_1, S_2\}$ и конечный автомат $M' = (I', O', S', S'_0, F', G')$
 $I' = I, O' = O, S' = \{S_0, S_1, S_2, S_3\}$ (рис. 3).

Для того, чтобы реконфигурировать M в M' , нужны следующие дельта-переходы:
 $T_d = \{(0, S_1, S_0, 0), (1, S_2, S_3, 0), (1, S_3, S_3, 1), (0, S_3, S_0, 0)\}$ (выделены жирными линиями).

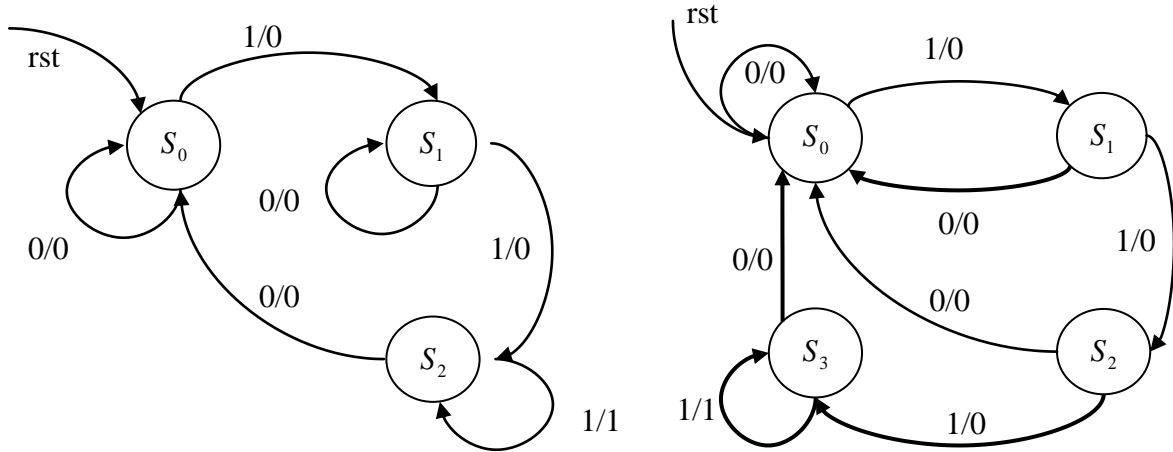


Рис. 3

Пусть $T_d \subseteq T'$ – множество всех дельта-переходов. Поскольку мы не можем реконфигурировать более одного перехода за такт, необходимо создать последовательность шагов, чтобы реконфигурировать каждый дельта-переход автомата M' . Назовем эту последовательность *программой реконфигурации* $Z = (z_0, z_1, \dots, z_n), z_k \in T', 0 \leq k \leq n$. Программа реконфигурации имеет начальное состояние, представляющее собой последнее состояние автомата M перед началом реконфигурации, и конечное состояние, которым является начальное состояние автомата M' после окончания реконфигурации. При помощи программы реконфигурации можно рассчитать необходимые действия для реконфигурации.

В процессе реконфигурации иногда возникает необходимость произвести несколько переходов, которые не являются дельта-переходами или уже реконфигурированы для того, чтобы достигнуть состояния с исходящим дельта-переходом. Для того, чтобы укоротить путь до этого дельта-перехода, мы можем реконфигурировать любой переход из текущего состояния в переход в необходимое нам состояние. Назовем такой переход *временным переходом*. Реконфигурирование уже конфигурированного перехода приводит к тому, что текущий переход превращается в дельта-переход. Далее предлагается алгоритм вычисления программы реконфигурации с использованием принципа временных переходов.

Эвристический алгоритм переходов

Пусть $M = (I, O, S, S_0, F, G)$ определяет конечный автомат в текущем состоянии $s \in S$, а $M' = (I', O', S', S'_0, F', G')$ определяет целевой конечный автомат. В дальнейшем будем считать T_d множеством дельта переходов. Пусть $t_d \in T_d, t_d = (i, s_x, s_y, o), H_{in} : T_d \rightarrow S', H_{out} : T_d \rightarrow S', H_{in}(t_d) = s_y, H_{out}(t_d) = s_x$. Функция $H_{in}(t_d)$ возвращает конечное состояние дельта перехода t_d , а функция $H_{out}(t_d)$ возвращает исходное состояние дельта перехода t_d . Пусть $S'_0 \in S'$ будет конечным состоянием автомата после выполнения программы реконфигурации.

Вход: конечный автомат $M' = (I', O', S', S'_0, F', G')$ и множество дельта переходов T_d .

Выход: программа реконфигурации Z .

- (1) $n := 1$;
- (2) $i_0 :=$ любой возможный входной сигнал $i \in I'$ конечного автомата M'
- (3) $z_0 :=$ переход сброса
- (4) для всех $t_d \in T_d$ {
- (5) $z_n :=$ временный переход
- (6) $z_{n+1} :=$ дельта-переход
- (7) $z_{n+2} :=$ переход сброса
- (8) $n := n + 3$;
- (9) }
- (10) $z_n := (i_0, S'_0, F'(i_0, S'_0), G'(i_0, S'_0))$;
- (11) $z_{n+1} :=$ переход сброса

Сначала мы устанавливаем индекс n в единицу (1). Переменная i_0 представляет собой постоянный входной сигнал, используемый для всех временных переходов, которые мы используем в цикле. Переменная i_0 может быть любым входным сигналом $i \in I'$ автомата M' (2). Вне зависимости от текущего состояния мы переходим в состояние сброса S'_0 автомата M' (3). Внутри цикла (4) мы выбираем временный переход в зависимости от входного условия i_0 для прямого перехода в состояние с исходящим дельта-переходом (5). Таким образом, производится дельта переход. Мы конфигурируем дельта-переход (6) и возвращаемся в начальное состояние S'_0 (7). Шаги внутри цикла (5–8) повторяются для каждого оставшегося дельта-перехода, кроме того шага, который вызван временным переходом. Поскольку в каждой итерации цикла (4) для каждого временного перехода используется одинаковое входное условие i_0 , дельта-переходы больше не создаются. Наконец, дельта-переход, вызванный временным переходом, реконфигурируется (10), и при помощи сброса автомата мы переходим в состояние S'_0 и заканчиваем реконфигурацию.

Пример 2

Рассмотрим конечный автомат $M = (I, O, S, S_0, F, G)$, $I = \{i\}$, $i \in \{0,1\}$, $O = \{o\}$, $o \in \{0,1\}$, $S = \{S_0, S_1, S_2\}$ и конечный автомат $M' = (I', O', S', S'_0, F', G')$, $I' = I$, $O' = O$, $S' = \{S_0, S_1, S_2, S_3\}$, графы которых изображены на рис.3.
 $T_d = \{(0, S_1, S_0, 0), (1, S_2, S_3, 0), (1, S_3, S_3, 1), (0, S_3, S_0, 0)\}$ – набор дельта-переходов и S'_0 – конечное состояние.

Предположим, что мы находимся в состоянии S_1 конечного автомата M . Сначала переходим в начальное состояние S'_0 автомата M' . После этого переходим в любое состояние с исходящим дельта переходом, например, в состояние S_2 при помощи временного перехода $(1, S_0, S_2, 0)$, превращая существующий переход $(1, S_0, S_1, 0)$ в дельта-переход (рис. 4, 1). После этого мы реконфигурируем переход $(1, S_2, S_3, 0)$ (рис. 4, 2) и снова возвращаемся в начальное состояние S'_0 (рис. 4, 3).

Теперь, когда переход $(1, S_2, S_3, 0)$ уже реконфигурирован, мы продолжаем таким же образом обрабатывать каждый оставшийся дельта-переход, кроме того, который был вызван временным переходом. После того, как все остальные дельта-переходы реконфигурированы,

мы окончательно реконфигурируем дельта-переход $(1, S'_0, S_1, 0)$. При сбросе мы попадаем в начальное состояние S'_0 и заканчиваем реконфигурацию. Таким образом, в приведенном примере программа реконфигурации, полученная при помощи эвристического алгоритма переходов, имеет вид

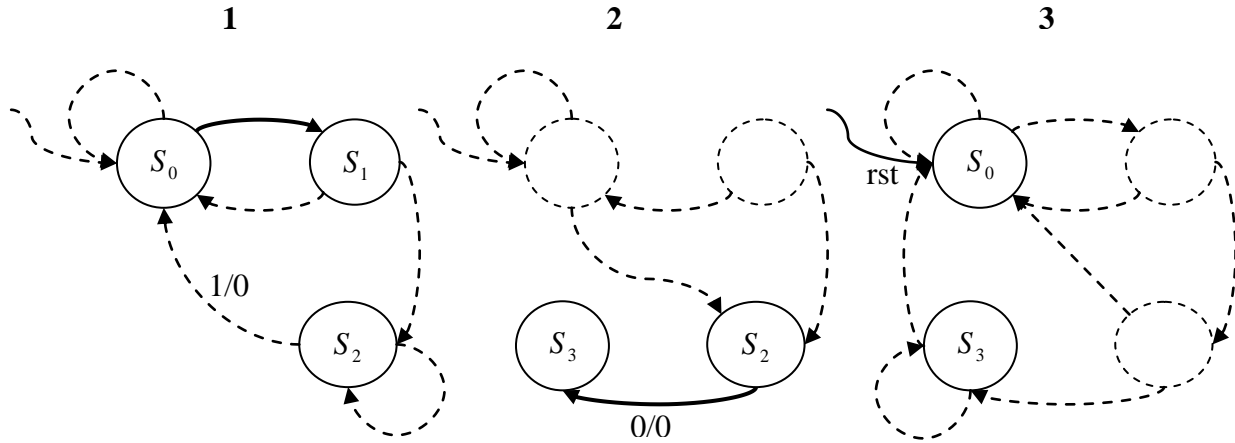
$$Z = (rst, (1, S_0, S_2, 0), (1, S_2, S_3, 0), rst, (1, S_0, S_3, 0), (1, S_3, S_3, 1), rst, (1, S_0, S_1, 0), (0, S_1, S_0, 0), rst, (1, S_0, S_3, 0), (0, S_3, S_0, 0), rst, (1, S_0, S_1, 0), rst).$$


Рис. 4

Несомненная польза изложенной процедуры состоит в том, что длина получаемой программы реконфигурации легко предсказуема, поскольку она зависит только от количества дельта-переходов. На основании изложенного можно сформулировать следующие утверждения.

Утверждение 1. Всегда возможно определить конечную последовательность шагов реконфигурации для преобразования M в M' .

Утверждение 2. Предположим что $|T_d|$ – количество дельта-переходов, и конечный автомат M' возможно перевести в состояние S'_0 из любого текущего состояния. Тогда верхняя граница длины программы реконфигурации Z , сформированной при помощи эвристического алгоритма переходов, равна $3(|T_d| + 1)$.

Утверждение 3 Нижняя граница длины программы реконфигурации – количество дельта переходов $|T_d|$.

Выводы

Рассмотрен высокоуровневый, независимый от конкретной технологии подход к реализации концепции реконфигурируемых конечных автоматов. Кроме примитивной подмены контекста, предложенный вариант реализации позволяет реконфигурировать конечный автомат при помощи последовательности переходов из состояния в состояние.

Предложен вариант реализации подобных автоматов в оборудовании, а также алгоритмы реконфигурации и пределы их реализации.

Библиографический список

1. **Sidhu, R.** String matching on multicontext FPGAs using self-reconfiguration / R. Sidhu, A. Mei, and V. K. Prasanna // Proc. 7th Int. Symposium on Field Programmable Gate Arrays (FPGA).

-
2. **Fekete, S.P.** Optimal FPGA module placement with temporal precedence constraints/ S. P. Fekete, E. Köhler, J. Teich // Proc. DATE 2001, Design, Automation and Test in Europe. Munich, Germany, March 13-16 2001. IEEE Computer Society Press. P. 658–665.

*Дата поступления
в редакцию 06.07.2010*

V.V. Kondratev, K.M. Michailov

RECONFIGURING FINITE AUTOMATIONS

The concept of reconfiguring finite automations as formal model for the description of finite automations, which configuration can be changed during its operating time. With appearance of reconfigured logic this model becomes important for the description and making of the reconfigured equipment. It is offered algorithmic solutions and effective hardware representation of transformation process of an existing finite automation in other finite automation.

Key words: reconfigured finite automation, reconfiguring finite automation, events, states.

УДК 519.7

В.А. Утробин

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ СЕТЧАТКИ ГЛАЗНОГО ЯБЛОКА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматриваются архитектурные аспекты организации сетчатки глазного яблока с позиций теории активного восприятия. Исследуются свойства системы «сетчатка – центр» в целом. Приводятся варианты структурной и функциональной организации сетчатки.

Ключевые слова: зрительное восприятие, информационная модель сетчатки, организация сетчатки.

1. Общие положения

Все, что входит в состав живого организма, представлено мембранами как оболочками [1]. Поэтому сетчатка глаза – мембрана. Рассмотрим возможный вариант ее организации.

О составе сетчатки известно следующее (выделим только необходимые на момент изложения данные): а) рецепторы координатно упорядочены на сетчатке, так как мозг (нижнее коленчатое тело (НКТ) и зрительные отделы мозга) «точно знает» координаты всех рецепторов в области ясного видения (fovea) и групп рецепторов на периферии; б) сами рецепторы «разбросаны» по сетчатке с увеличивающимся шагом от точки 0 (центр сетчатки) fovea к периферии; в) над рецепторами сетчатки находится два слоя нейронов, последний из которых образован ганглиозными клетками.

Отметим, что изменение шага между рецепторами вряд ли случайно, так как в противном случае потребуются дополнительные затраты на вычисления, что не допустимо с позиции «выживания», требующей высоких скоростей реакции на внешние воздействия. Такое изменение шага более всего похоже на пространственную дискретизацию с переменным шагом, а поскольку эволюция живого за миллионы лет «породила оптимальную систему», то в такой системе на уровне врожденных механизмов нет ничего «случайного». Поэтому примем за исходные следующие положения:

- изменение шага от точки 0 к периферии растет квадратично: 1×1 в fovea; 2×2 , 4×4 , 16×16 и т.д.;
- «палочки» – это рецепторы вне fovea, а «колбочки» – рецепторы в fovea;
- если нервные клетки рецепторов – это первый нейронный слой, то второй слой нейронов – нервные клетки, связанные с рецепторами и образующие рецепторные поля, которые допускают свое определение на множество фильтров-покрытий $\{F_i; i = 1, \dots, 15\}$.

Третий слой нейронов – ганглиозные клетки, непосредственно связанные с центром, образуют более сложные рецепторные поля над вторым слоем. Каково их функциональное назначение и какова конструкция таких полей – пока неизвестно. В пределах рассматриваемой работы примем следующую гипотезу: поскольку слой ганглиозных клеток покрывает (и поэтому «обобщает» получаемый сигнал) подмножество рецепторных полей ниже лежащего слоя, то допустимо использование того же множества $\{F_i\}$, но над большей областью определения. В результате «интеллектуально» выявляются новые связи, которые передаются в центр обработки, а если последний «запросит» по обратной связи уточнения, то передаче подлежат данные с нижележащих слоев.

2. Модель организации системы «сетчатка-центр»

В соответствии с принятыми условиями сетчатка «грубо» разбивается на зоны с переменным разрешением, а в координатном представлении имеем решетку с переменным

шагом. В пространстве система «сетчатка-центр» допускает следующую функциональную организацию (рис. 1):

- сетчатка со всеми ее слоями – это усеченная пирамида (U_x -пирамида) или «интеллектуальная рупорная антенна»;
- зрительный нерв – волновод или система передачи данных, имеющая конечное число линий прямой и обратной связи;
- центр – мозг (это все, что вне сетчатки и относится к зрительной системе восприятия) – обратная усеченная пирамида (U_y -пирамида) «развертывания» принятых данных.

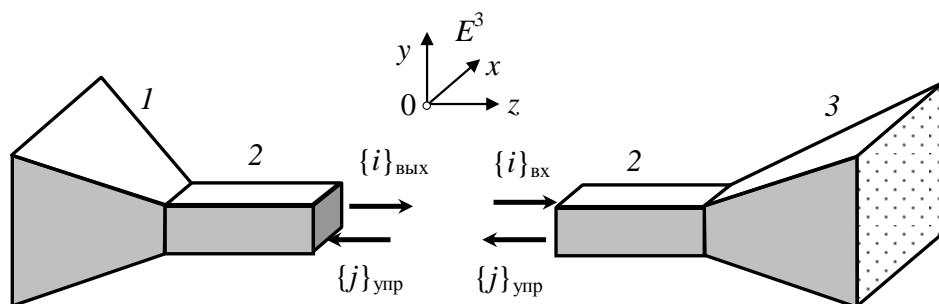


Рис. 1. Функциональная организация системы «сетчатка-центр»:
1 – U_x -пирамида; 2 – канал передачи данных (волновод); 3 – U_y -пирамида

Если первая пирамида «сворачивает» (кодирует) данные с передачей их по оси z , то вторая «развертывает» (декодирует) в плоскости «экрана».

Определение 1. U_x -пирамида – система сжатия видеоданных; U_y -пирамида – система восстановления видеоданных, а U_z -пирамида – система восстановления пространственной глубины. Если первые две упорядочены в E^2 , то U_z -пирамида определена над U_y -пирамидой в E^3 .

Для цели анализа организации сетчатки в ее широком понимании как многослойной системы особый интерес представляет организация U_x -пирамиды. Отметим следующее:

1. Функциональное и структурное устройство U_y -пирамиды (а это Q -пирамида в составе пирамиды принятия решений) рассмотрено в работах [2 – 4].
2. Элементы устройства U_z -пирамиды изложены в работе [5].

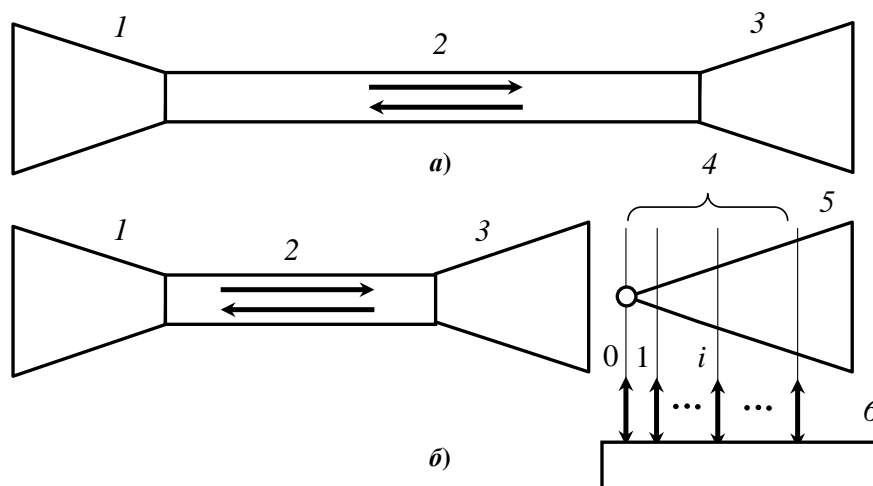


Рис. 2. Варианты реализации системы «сетчатка-центр»:
а – передача данных с управлением; б – самообучающаяся система (1 – U_x -пирамида; 2 – канал передачи данных; 3 – U_y -пирамида; 4 – слои $\{i\}$; 5 – U_z -пирамида; 6 – память)

Модельное представление по рис. 1 допускает две физические реализации:

- 1) «обычная» система передачи данных, решающая задачи сжатия, кодирования, собственно передачи данных и их восстановления (рис. 2, а);
- 2) самообучающаяся распознающая система как система анализа и принятия решения (рис. 2, б).

Относительно блока памяти отметим следующее. Во-первых, элементарным конструктивным элементом памяти является трехмерный триггер, элементарным модулем (для полных групп) является пятислойный «кристалл» полных групп, а в роли ячейки памяти выступает «кристалл» полных и замкнутых групп, который фактически является дешифратором этих групп (ДПЗ) с аналогом на ориентационные колонки в зрительной коре головного мозга [4 – 6].

Во-вторых, на множестве слоев $\{i\}$ первый слой (0 по рис. 2, б) – это единственный слой, состоящий из одной ячейки ДПЗ; остальные – множество «стопок» ДПЗ на гладко склеенных планигонах.

Модельное представление по рис. 1 не случайно и определяется четырехмерными представлениями с моделью на гиперкуб в проекции на плоскость, а в трехмерном представлении по направлению глубины – это усеченная пирамида. При этом возможны два подхода в интерпретации модели по рис. 1 – формальный и субъективный.

Для первого варианта предполагаем, что существуют два наблюдателя, изолированные друг относительно друга. Если первый «живет» в четырехмерном пространстве $E^3 - t$, то и второй «живет» в своем $E^3 - t$ (этим пространствам на модели по рис. 1 соответствуют свои усеченные пирамиды (1, 3)). Их изолирует третья трехмерное пространство, где нет времени (а это по рис. 1 – канал 2). Общее число измерений в таком «слоеном» пространстве равно 11, т.е. соответствует пространству E^4 .

Для второго варианта предполагаем, что любому наблюдателю (как Я) соответствует три позиции в пространстве событий [4]: Я – сознательное (осознанное понимание себя); Я – подсознательное («внутренний голос»); Я – внешнее (наблюдение себя со стороны). Первая и третья позиции существуют в пространстве и времени, где время для первой позиции – внутреннее, а для третьей – внешнее. Для второй позиции понятие времени не нужно. Получаем опять 11 измерений 4-мерного пространства.

3. Пространственная ориентация слоя рецепторов

В общем случае система, организованная по рис. 1, с позиций информационных преобразований – это отношение типа «внешний мир/внутренний мир», где внешний мир – среда, погруженная в E^3 , а внутренний мир – среда наблюдателя. Такому представлению соответствуют две Q -пирамиды с их U -преобразованиями – Q -пирамида над полем рецепторов и Q -пирамида над планигоном (отметим, что конус и пирамида – это топологически эквивалентные объекты). Между этими пирамидами существует поток данных (по зрительному нерву). Поскольку поток данных на пути передачи не претерпевает изменений, то канал «информационно пуст» и допускает свое исключение из информационной модели. Результатом имеем два модельных представления [4]:

- конус на паре Q -пирамид, где основание одной – «экран» (окно), отображающий внешний пусть плоский мир, а основание другой – «экран» (или окно), отображающий внутренний пусть плоский мир. Общая вершина – это то, что мы считаем «своим Я»;
- пара противоположно ориентированных и совмещенных в цилиндре Q -пирамид по типу организации U -ячейки куба полных групп.

Пусть рецепторы упорядочены на регулярной решетке. Выделим на множестве $N \times N$ рецепторов ячейку размером 4×4 рецептора, над которой построим пирамиду (рис. 3, а). Такая организация обеспечивает на одной операции, реализуемой фильтром F_0 , сжатие данных в 16 раз. Если считать, что зрительная система на уровне сетчатки и ее нейронов обеспечивает сжатие данных (вне fovea, где коэффициент преобразования данных равен 1:1) порядка

100, то необходима еще одна такая структура, для которой уровень 3 предыдущей пирамиды станет уровнем 1 следующей (рис. 3, б). Тогда общий коэффициент сжатия на одной операции равен 16^2 , а на двух – 128 (одна реализуется F_0 и еще одна на фильтре из $\{F_1, F_2, F_3\}$). Если ввести еще одну операцию из оставшегося подмножества $\{F_i\}$, то получим значение коэффициента, равное 64, что близко к 100, так как 100 – это достаточно грубая и усредненная оценка [7]: в fovea 1:1, далее порядка 1:100, на дальней периферии существенно более 1:100.

Таким образом, для передачи данных по результату действия фильтра F_0 и одного из подмножества $\{F_i; i \neq 0\}$ необходимы две пирамидальные структуры, которым можно поставить в соответствие два слоя нейронов над рецепторами сетчатки (последние также следует рассматривать как нейроны). В результате имеем модель реальной сетчатки глаза, но построенной на регулярной решетке. Такая модель верна по направлению z , но не в плоскости xOy .

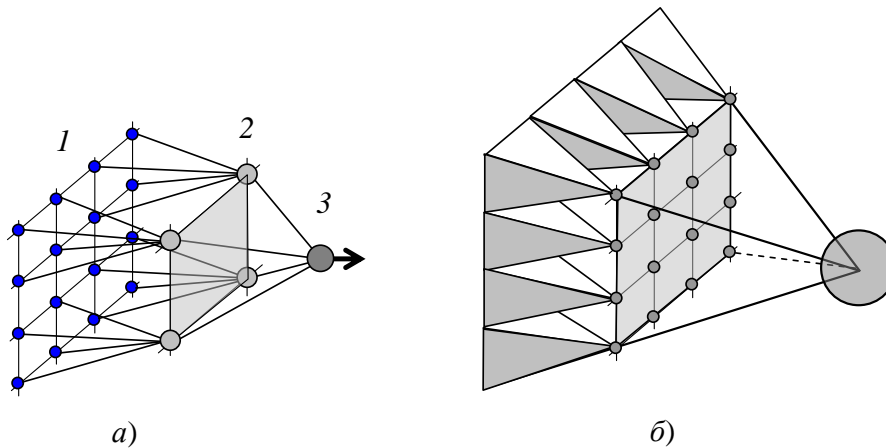


Рис. 3. Модельные пирамидальные представления:

a – «рецепторная» пирамида; *б* – пирамида ганглиозной клетки над «рецепторными» пирамидами с общим полем рецепторов 64×64

(1 – решетка рецепторов; 2 – первый слой обработки; 3 – последний слой обработки)

Разработанное модельное представление позволяет утверждать, что каждый нейрон сетчатки реализует однотипные операции обработки на множестве $\{F_i\}$, а различие, по крайней мере, с позиции только обработки по схеме «снизу-вверх», заключается в размерах области определения (т.е. в размерах рецепторных полей).

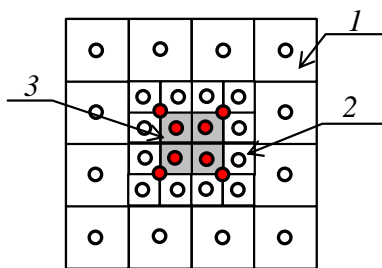


Рис. 4. Поле рецепторов:

1 – внешняя периферия;
2 – внутренняя периферия;
3 – fovea

Теперь рассмотрим вариант решетки с увеличивающимся к периферии пространственным шагом: 1×1 , 2×2 , 4×4 и т.д. Такую решетку можно построить на основе регулярной. Пусть все поле рецепторов определено на планигоне 4×4 , т.е. каждый рецептор находится в центре клетки планигона (рис. 4). Если размер планигона равен четырем единицам длины по осям x , y , то самые удаленные от центра планигона рецепторы распределены с шагом в одну единицу длины по x , y , т.е. упорядочены на решетке 1×1 . Следующий ряд периферических рецепторов будет упорядочен во внутреннем квадрате 2×2 планигона на решетке $1/2 \times 1/2$. Центр планигона и его окрестность размером 1×1 – область «неразличимости» на планигоне 4×4 , так как разрешающая способность планигона – клетка 1×1 . Такая окрестность – «большая» точка – fovea, требующая перехода на следующий уровень разрешения. Для реального глаза это означает передачу данных от каждого рецептора fovea.

Итак, имеем два модельных представления организации сетчатки – регулярная структура по рис. 3 и «пространственно-распределенная» структура по рис. 4. Для последней необходимо выделение рецепторных полей нейронов с построением над ними пирамид обработки данных. Для этого надо ввести в поле рецепторов дополнительные рецепторы, помещая их в узлы клеток планигона: для планигона 4×4 дополнительные рецепторы попали на углы квадратного поля fovea (относительно внешних периферических рецепторов) и в поле fovea (относительно внутренних периферических рецепторов). Поскольку эти рецепторы «принадлежат» fovea, то они – «колбочки», из которых составлена область ясного видения.

Правило 1. Пусть поле рецепторов размером $N \times N$ – планигон 4×4 , а рецепторы упорядочены на пространственно-распределенной системе по закону 2^n , где $n = 1, 2, \dots$ Тогда дополнительные до четырех рецепторы – это колбочки, отличающиеся от периферийных трех рецепторов (палочек) каким-либо параметром, верным для рецепторов области ясного видения.

4. Структурная организация сетчатки

Исключение из рассмотрения канала передачи данных предполагает некоторый уровень пересечения упакованных друг в друга конусов (усеченных пирамид). Этот уровень, в силу модели по рис. 2, a , задает «сечение канала передачи данных», либо планигон над полем рецепторов. Размер такого сечения зависит от геометрии связанных конусов (или пирамид с квадратным основанием), т.е. от величины угла при вершине: если, например, этот угол равен 90° , то имеем (в дискретном представлении) K -пирамиду (координатную пирамиду [4]).

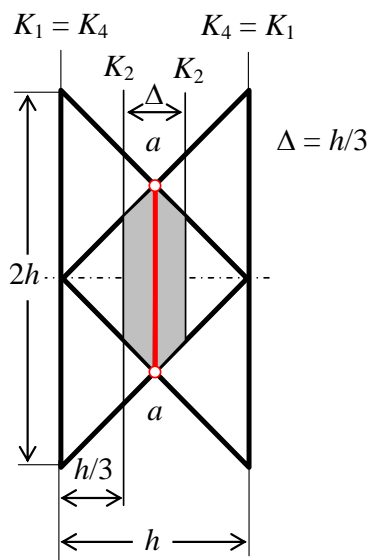


Рис. 5. Упаковка двух Q -пирамид (aa – размер планигона)

Анализ геометрии базовой Q -пирамиды над планигоном проведен в работе [4], где показано, что такая пирамида, построенная над квадратом – половина октаэдра, ребра которого (с углом при вершине в 90°) задают систему координат (x^1, x^2, x^3, x^4) , а уровни K_1, K_2, K_4 , рассматриваемые как превышение над местностью, находятся в отношении

$$K_4/K_2/K_1 = 0/(1/3)/1.$$

Поэтому упакованные Q -пирамиды образуют «слой» толщиной $\Delta = h/3$ между уровнями K_2 этих пирамид, где может находиться планигон (рис. 5).

Пусть планигон находится на высоте h относительно основания Q -пирамиды, имеет размеры $h \times h$; тогда допустимо модельное представление по рис. 6. Если это представление считать базовым, то относительно структурной организации получаем:

1) три уровня обработки данных – периферийный (3), промежуточный и центральный (на рис. 6 – это K_1, K_2, K_4 , где K_2 представлен уровнем 1, а $K_4 \equiv A$

– «большая» точка 2);

2) два слоя нейронов с одинаковой упорядоченностью рецепторов на четырех склеенных рецепторных полях в пределах своих уровней, на которых могут функционировать только четыре фильтра – F_0, F_1, F_2, F_3 . Третий слой третьего уровня (fovea) представлен четырьмя рецепторами, на которых функционирует F_0 , отображающий слой в точку A ;

3) отношение числа рецепторных полей по уровням имеет вид $4/4/1$. Если считать, что K_1 – уровень периферийных рецепторов, а K_4 – центральных, то имеем для K_1 четыре поля и четыре нейрона над полями; для K_4 – пять полей (и нейронов), из которых четыре – «поля периферические и поля центральные» и одно «точно центральное».

Правило 2. Пусть рецепторным полям, упорядоченным по схеме $4/4/1$, соответствуют три уровня обработки данных – уровень периферийного зрения, промежуточного и цен-

трального соответственно. Пусть каждому полю соответствует свой обрабатывающий нейрон. Тогда «волновод» между полем рецепторов и полем отображений (проекций) центра – «трубчатая слоевая» координатно упорядоченная система линий связи.

Именно таким свойством, как известно, наделен зрительный нерв, длина которого не более 50 мм. На рис. 7 показана организация «волновода или кабеля» упаковки линий связи. Если данную модель применить к базовой Q -пирамиде по рис. 3, а, где число рецепторов, образующих поле, должно быть не четыре, а 16, то принцип упаковки линий связи сохраняется, но возрастает число линий. В результате будем иметь (рис. 8): 1) «центральную жилу» – fovea; 2) внутренний слой с «крестом» линий связи промежуточного слоя; 3) внешний слой с «крестом» линий связи периферийного слоя.

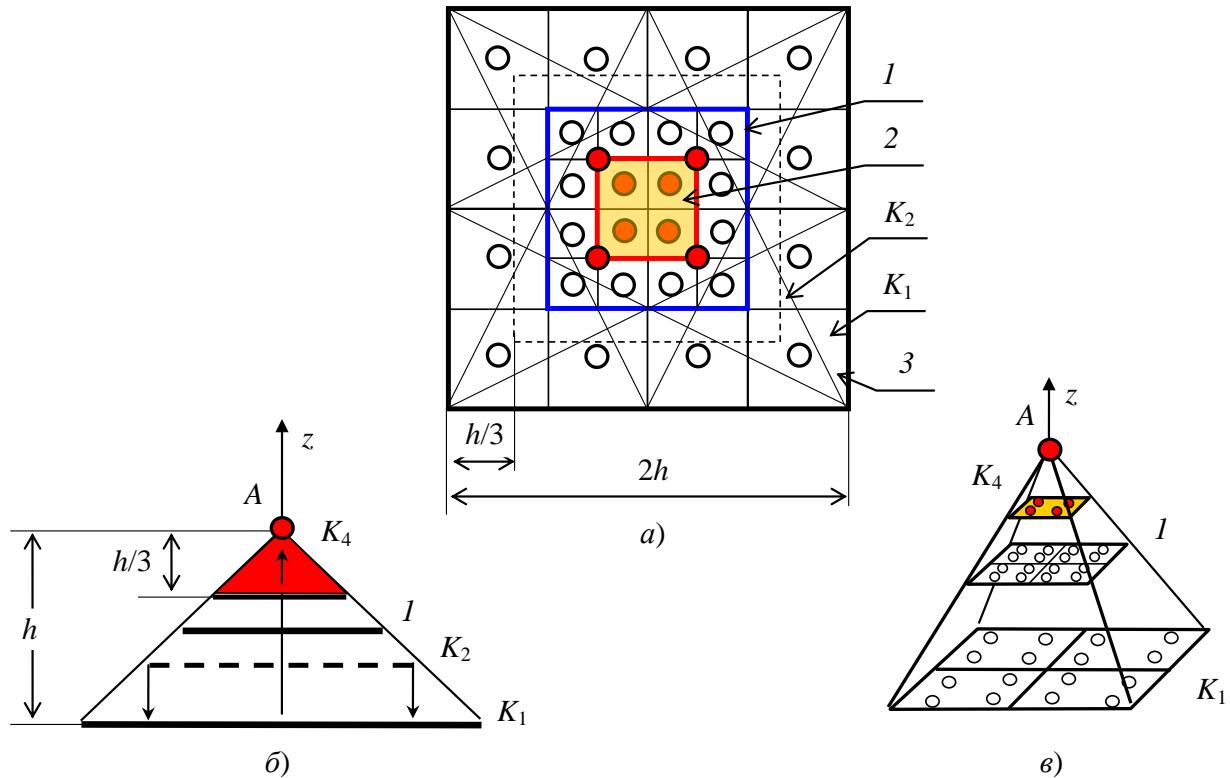


Рис. 6. Структурная организация Q -пирамиды по слоям рецепторов (а) и ее вид по оси глубины z (б, в):

1 – планигон по линии aa рис. 5; 2 – fovea, отображенная с помощью Q -преобразования в точку A уровня K_4 пирамиды; 3 – U -грамма в поле рецепторов (стрелками показаны направления проектирования; пунктирной линией – уровень K_2 и его проекция на уровень K_1)

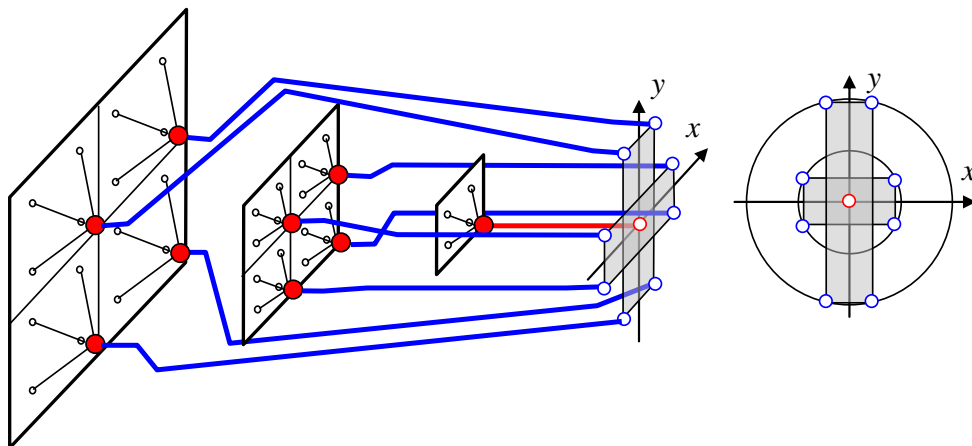


Рис. 7. Упаковка линий связи в составе пирамиды нейронов

Такая упаковка становится полной, поскольку отражена в координатном пространстве E^2 своими «крестами», но она требует согласования двух модельных представлений по рис. 3, а, где поле рецепторов имеет размер 4×4 , и рис. 6, а с размером поля 2×2 . Поэтому в базовую пирамиду по рис. 3,а необходимо введение уровня K_2 , которого там нет (аналогично для рис. 3, б). Но в этом случае в два раза уменьшится коэффициент сжатия. Для его поддержания необходимо отказаться от условия, что нейроны рецепторных полей выполняют две функции, соответствующие фильтру F_0 и одному из $\{F_i\}$.

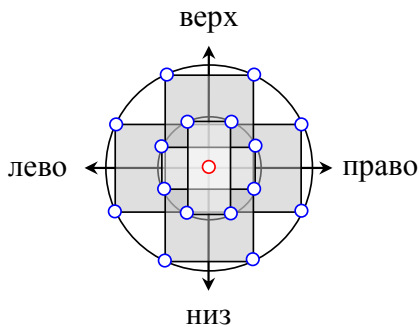


Рис. 8. Упаковка линий связи для модели зрительного нерва

Результатом имеем два варианта функционирования пирамидальной модели сетчатки:

Алгоритм 1. Все нейроны всех уровней – «обычные» сумматоры (тонические нейроны), реализующие Q -преобразование и не более.

Алгоритм 2. Цикл зрительного восприятия, в первом приближении, разделен на два такта. В первом все нейроны реализуют Q -преобразование с синхронной передачей данных в центр. Во втором все нейроны

(кроме области ясного видения) реализуют U -преобразование с передачей результата разложения в центр (фазические нейроны).

Естественно, что возможны варианты: например, все периферические нейроны реализуют только U -преобразование. Тогда для оценки общей освещенности при решении задачи идентификации фона (день/ночь) потребуются дополнительные нейроны типа горизонтальных клеток сетчатки глаза. В любом случае выбор того или иного конкретного варианта функционирования и состава нейронов зависит от прикладного назначения сетчатки и нами не рассматривается.

5. Функциональная организация сетчатки

Пусть слоям рецепторов и уровням Q -пирамиды по рис. 6, в соответствуют поля «интереса» (рис. 9, а):

1 – слой и уровень 1 относительно остальных – поле «дальнего обнаружения», а зона периферийных рецепторов, упорядоченных на проекции уровня K_2 (рис. 6, а), – поле «малого интереса» и одновременно – поле «дальнего контроля»;

2 – слой и уровень 3, одновременно зона промежуточных рецепторов – поле «ближнего обнаружения» и поле «заинтересованности»;

3 – слой и уровень 2 – fovea – поле и зона максимального «интереса».

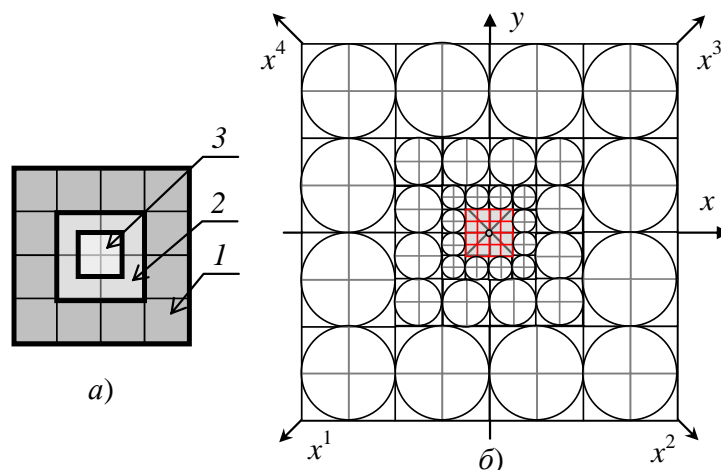


Рис. 9. Структурная организация сетчатки на матрице 16×16 : а – поля интересов (1, 2, 3); б – укладка рецепторных полей

В результате на матрице 8×8 имеем три зоны (рис. 9, а) – дальнюю, ближнюю, центральную, число рецепторных полей которых относится как $12/4/1$. Такая структурная организация не отвечает изложенным требованиям, так как в ней появились «лишние» рецепторные поля – «ушки», отражающие геометрию квадрата, а не окружности (см. рис. 8), т.е. появились поля рецепторов, «контролирующие» диагональные направления – x^1, x^2, x^3, x^4 .

Подобным образом функционально и структурно организованная сетчатка, позволяющая «контролировать» диагональные направления, является *архитектурой* системы «сетчатка». Поскольку в пространстве (речь идет не просто об укладке рецепторов на поверхности сетчатки, о чем пока говорится только в первом, очень грубом приближении, см. рис. 6, а, в) – это пирамида, то видимое на рис. 9, б диагональное рецепторное поле (по каждому направлению x^i) предполагает существование невидимого (в проекции) диагонального поля. Это связывает два соседних уровня Q -пирамиды, например, уровни K_1 и K_2 . В результате «процесс распространения интереса образует конус Маха». На четырех диагональных направлениях в четырех квадрантах сетчатки имеем четыре таких конуса (рис. 10). Таким образом организованная сетчатка позволяет объяснить существование двух «дефектов» зрения [8]: 1) астигматизм именно по направлениям 5 (см. рис. 10); 2) цилиндрическую дисторсию по вертикали и горизонтали (см. рис. 8).

Утверждение 1. Диагональные направления планигона, на котором заданы направления верх/низ, лево/право, – градиентные направления интереса, а им обратные – направления внимания.

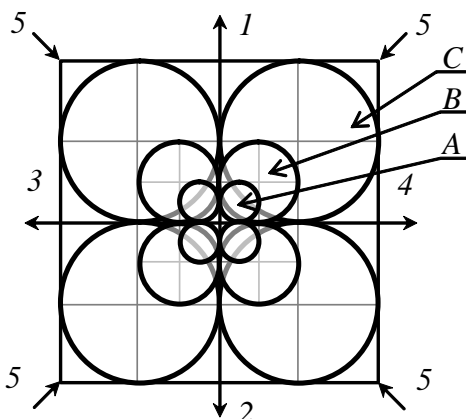


Рис. 10. «Конусы Маха» на планигоне с переменным разрешением:
1, 2 – верх, низ; 3, 4 – лево, право; 5 – направления распространения «интереса»;
A, B, C – зоны интересов

Заключение

Построена модель организации сетчатки глазного яблока как системного целого в ее взаимодействии со зрительными отделами головного мозга (определение 1), позволяющая выделить следующие задачи управления по обратной связи для технических систем (часть задач рассмотрена в работах [4, 5]):

- управление процессом дополнительной передачи данных;
- управление процессами сжатия или расширения поля зрения на планигоне;
- управление видеоглазом по внешней обратной связи с учетом поступающих данных;
- управление «зрачком» видеоглаза (по внешней обратной связи);
- реализация механизма саккад, тремора и дрейфа (при необходимости);
- отключение видеоглаза с сохранением «картинки» в буферной оперативной памяти.

Представлены модельные варианты пространственной ориентации слоя рецепторов сетчатки, позволяющие реализовать процедуру сжатия данных для их передачи в центр обработки и упорядочить отношения между двумя классами рецепторов (правило 1).

Рассмотрены вопросы структурной и функциональной организации сетчатки, позволяющие:

- выделить периферийные и центральные поля сетчатки в их представлении на планигоне (правило 2);
- сформулировать алгоритмы функционирования пирамидальной модели сетчатки;
- отметить специфику диагональных направлений сетчатки, представленной на планигоне (утверждение 1).

Библиографический список

1. **Рубин, А.Б.** Биофизика: В 2-х т. Т. 1. Теоретическая биофизика / А.Б. Рубин. – М.: Книжный дом «Университет», 1999. – 448 с.
2. **Утробин, В.А.** Информационные модели системы зрительного восприятия для задач компьютерной обработки изображений / В.А. Утробин; НГТУ. – Н. Новгород, 2001. – 234 с.
3. **Утробин, В.А.** Компьютерная обработка изображений. Анализ и синтез / В.А. Утробин; НГТУ. – Н.Новгород, 2003. – 228 с.
4. **Утробин, В.А.** Компьютерная обработка изображений. Принятие решений в пространстве эталонов / В.А.Утробин; НГТУ. – Н. Новгород, 2004. – 221 с.
5. **Утробин, В.А.** Компьютерная обработка изображений: Информационные модели этапа понимания / В.А. Утробин; НГТУ. – Н.Новгород, 2006. – 247 с.
6. **Утробин, В.А.** Информационная модель многомерной ячейки памяти // Системы обработки информации и управления. Труды НГТУ. 2004. С. 21-31.
7. **Джордж, Ф.** Мозг как вычислительная машина / Ф. Джордж. – М.: Изд-во иностр. литр-ра, 1963. – 528 с.
8. **Ивенс, Р.М.** Введение в теорию цвета / Р.М. Ивенс. –М.: Мир, 1964. – 184 с.

*Дата поступления
в редакцию 06.07.2010*

V.A. Utrobin

INFORMATION MODELS OF THE EYEBALL RETINA ORGANISATION

Considered architectural aspects of the eyeball retina organization from positions of the theory of active perception. Investigated properties of system «the retina - the center» as a whole. Variants of the structural and functional organisation of a retina are resulted.

Key words: visual perception, information model of a retina, the retina organisation.

УДК 681.3.513

П.С. Кулясов, Е.А. Никулин

АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО РАЗБИЕНИЯ СЦЕНЫ НА ФРАГМЕНТЫ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Описывается алгоритм разбиения сцены на фрагменты, позволяющий вычислять форм-факторы с заданной допустимой погрешностью, при построении изображения с помощью метода излучательности. Данный алгоритм позволяет значительно уменьшить объем и, соответственно, время вычислений без существенной потери качества получаемого изображения.

Ключевые слова: излучательность, форм-фактор.

С момента появления компьютерной графики одной из наиболее актуальных задач является построение высокореалистичных изображений, т.е. изображений, полностью или до некоторой степени детализации соответствующих реальности. В отличие от прочих существующих в настоящее время методов построения изображений, метод излучательности [1] основан на законе сохранения и переноса энергии в замкнутой системе. Благодаря этому возможен расчет глобальной освещенности объекта с учетом всей сцены, т.е. других объектов, их расположения и характеристик, расчет освещенности протяженными источниками света, а также возможен учет сложных оптических эффектов, например, диффузного отражения.

Метод излучательности требует решения следующих основных задач:

- разбиение объектов сцены на фрагменты с учетом требуемого уровня детализации;
- расчет *форм-факторов* для всех пар фрагментов сцены (форм-фактор представляет собой долю световой энергии, покинувшей один фрагмент и полученной другим фрагментом; имеет значение в диапазоне от 0 до 1);
- решение системы уравнений энергетического баланса [1];
- визуализация сцены с учетом рассчитанной освещенности.

Наибольшая доля от общего объема вычислений приходится на расчет форм-факторов. Трудоемкость данного этапа зависит от количества фрагментов, на которые разбивается сцена (для сцен со сложной геометрией их количество может составлять сотни тысяч). Классический алгоритм метода излучательности основан на алгоритме равномерного разбиения сцены на фрагменты [1], в связи с чем возможен только один способ уменьшения объема вычислений – уменьшение количества фрагментов путем увеличения их размеров. Однако применение данного способа нежелательно, поскольку оно приводит к потере точности вычислений и, как следствие, к ухудшению качества получаемого изображения. Таким образом, для того, чтобы добиться сокращения объема вычислений и не потерять при этом качество изображения, необходим алгоритм фрагментации, учитывающий взаимодействие между объектами сцены. В тех участках, где объекты расположены достаточно близко друг к другу и их взаимодействие выражено достаточно сильно, необходимо разбиение на достаточно мелкие фрагменты, чтобы избежать потери качества. В тех участках, где взаимодействие объектов сцены выражено достаточно слабо, допустимо разбиение на более крупные фрагменты, что позволит уменьшить объем вычислений без какой-либо ощутимой потери качества.

Таким образом, возникает вопрос о критерии определения степени взаимодействия между объектами с целью нахождения участков сцены, где допустимо разбиение на более крупные фрагменты. Основным показателем взаимодействия двух фрагментов сцены является форм-фактор, поэтому наиболее целесообразно использовать его в качестве такого критерия.

рия. В связи с этим возникает проблема: для того чтобы рассчитать форм-факторы, необходимо разбить сцену на фрагменты, т.е. получается, что сначала сцена равномерно разбивается на фрагменты, затем рассчитываются форм-факторы, а затем на их основании некоторые фрагменты объединяются в более крупные. Такая последовательность действий не даст никакого выигрыша времени, а, наоборот, увеличит объем и время вычислений. Следовательно, здесь необходимо другое решение.

Оптимальным будет следующий подход: выполнить предварительное разбиение сцены на фрагменты очень большого размера, вследствие чего их количество получится достаточно малым и расчет форм-факторов потребует малого объема вычислений и будет выполнен за достаточно малое время. Наиболее подходящим для предварительного разбиения сцены является алгоритм контролируемой триангуляции полигонов, описанный в [2]. Рассчитанные форм-факторы сравниваются с некоторым заданным значением допустимой погрешности вычислений (назовем это значение *пороговым значением форм-фактора*), которое и будет определять, насколько сильно взаимодействие между фрагментами. После этого фрагменты, взаимодействие которых достаточно сильно (форм-фактор больше порогового), разбиваются на более мелкие, а фрагменты, взаимодействие которых слабое (форм-фактор меньше порогового), остаются большими. Для получившихся более мелких фрагментов также определяются форм-факторы, сравниваются с пороговым значением и происходит дальнейшее разбиение в тех случаях, где оно необходимо. Таким образом, сцена оказывается разбитой на фрагменты, размер которых зависит от степени взаимодействия объектов (рис. 1, а). Для сравнения приведен результат равномерного разбиения этой же сцены (рис. 1, б).

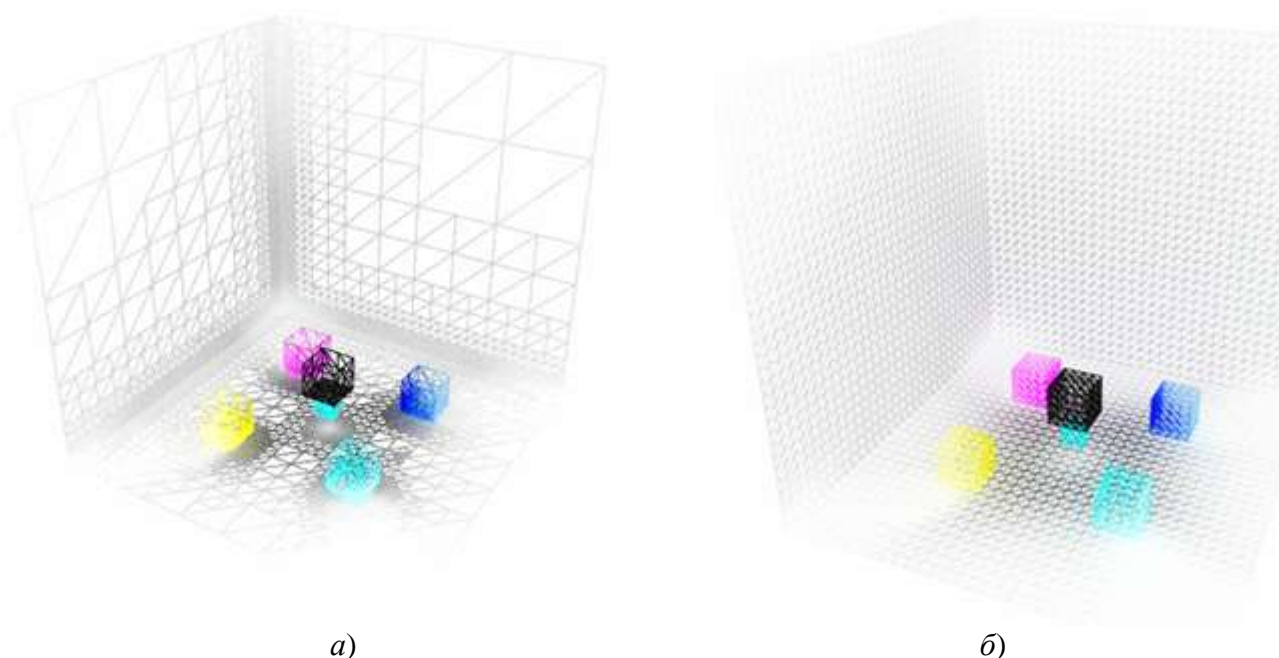


Рис. 1. Разбиение сцены на фрагменты

Разработанный алгоритм выглядит следующим образом.

Шаг 1. Выполняется предварительное разбиение сцены на небольшое количество треугольных фрагментов большого размера. Разбиение на треугольники обуславливается простотой их программной обработки.

Шаг 2. Составляется нумерованный список фрагментов.

Шаг 3. Вычисляются форм-факторы всех пар фрагментов. Для минимизации затрат времени рекомендуется использовать алгоритм, основанный на методе полукуба [3]. Следует

отметить, что вычисление форм-факторов на данном шаге занимает меньше (по сравнению с общим объемом) времени, поскольку начальное количество фрагментов невелико.

Шаг 4. Происходит последовательное рассмотрение фрагментов по списку. Фрагменты, форм-факторы которых больше заданного порогового значения, разбиваются на более мелкие. Для минимизации вычислительных затрат целесообразно разбивать каждый треугольный фрагмент так, как показано на рис. 2.

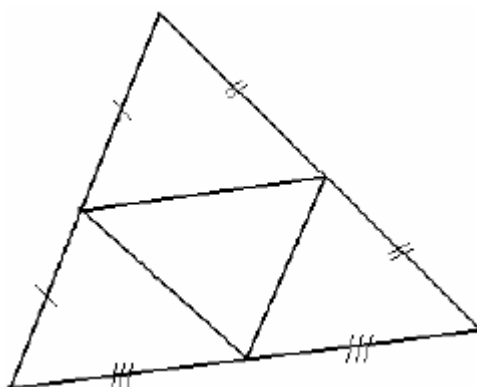


Рис. 2. Разбиение треугольника

Шаг 5. Из полученных более мелких фрагментов составляется новый нумерованный список.

Шаг 6. Дальнейшее разбиение происходит циклически. В одной итерации цикла происходит вычисление форм-факторов фрагментов, полученных на предыдущей итерации, сравнение их с пороговым значением, разбиение соответствующих фрагментов на более мелкие, и составление нового списка фрагментов. Также выполняется сравнение размера фрагмента с величиной $m = 2n$, где n — некоторое заданное минимальное значение размера фрагмента, что позволяет избежать получения чрезмерно большого количества фрагментов. Сравнение размера фрагмента с величиной m позволяет определить целесообразность последующего разбиения, так как в силу выбранного механизма разбиения (рис. 2), при размере исходного фрагмента, меньшего m , размер получаемых фрагментов меньше n . Разбиение завершается, когда получен список фрагментов, для которых форм-факторы меньше порогового значения или размер меньше m .

Следует отметить, что чем больше заданное значение n , тем меньше количество фрагментов, на которые разбивается сцена, и, соответственно, объем и время вычислений, но тем хуже качество получаемого изображения. Данное утверждение верно и для порогового значения форм-фактора.

Проиллюстрируем прирост производительности, получаемый благодаря разработанному алгоритму. Для анализа производительности замерялось время, затрачиваемое на построение изображений трех сцен с различным набором объектов (тестировалась программная реализация классического алгоритма метода излучательности и программная реализация нового алгоритма). В качестве тестовых использовались сцены, представленные на рис. 3:

- сцена 1 — пять простых объектов (кубов), один протяженный источник света кубической формы;
- сцена 2 — шесть простых объектов (четыре цилиндра, два прямоугольных параллелепипеда), один высокополигональный объект (чайник Юта), три протяженных источника света (сфера и два куба);
- сцена 3 — шесть простых объектов (четыре цилиндра, два прямоугольных параллелепипеда), один высокополигональный объект (чайник Юта), три протяженных источника света (два куба и источник в форме чайника Юта).



Рис. 3. Тестовые сцены

Каждая из этих сцен была рассчитана при четырех различных значениях размера фрагмента, на которые она разбивается. Пороговое значение форм-фактора задано равным 0.02 — наибольшему значению, при котором не наблюдается потери качества получаемого изображения. Результаты тестов и полученный прирост производительности представлены в табл. 1.

Таблица 1

Анализ полученного прироста производительности

№ сцены	Размер фрагмента	Количество фрагментов (классический алгоритм)	Количество фрагментов (новый алгоритм)	Время (классический алгоритм), с	Время (новый алгоритм), с	Прирост производительности
	10.0	456	408	1.7	2.6	-51.3%
	1.0	1788	1240	5.9	8.9	-51.5%
	0.7	6396	2880	23.7	20.6	13.0%
	0.1	25584	7722	128.2	68.9	46.2%
	10.0	4504	4293	14.2	30.6	-115.0%
	1.0	6568	6079	21.9	39.9	-82.8%
	0.7	12484	8272	48.0	60.6	-26.3%
	0.1	38032	14608	171.1	130.6	23.7%
	10.0	8316	8213	28.9	53.7	-85.7%
	1.0	10008	9492	35.9	65.3	-82.1%
	0.7	14940	11673	61.3	89.3	-45.8%
	0.1	41424	18354	207.4	171.3	17.4%

Как можно заметить, применение алгоритма адаптивного разбиения сцены дает выигрыш производительности только в случае достаточно малых размеров фрагментов разбиения сцены, т.к. только в этом случае затраты времени на применение алгоритма адаптивного разбиения не превышают выигрыша времени при последующем расчете форм-факторов. Еще одной особенностью является меньшая эффективность алгоритма при наличии в сцене высокополигональных объектов ввиду невозможности их разбиения на достаточно крупные фрагменты, вследствие чего уже на этапе предварительного разбиения сцены получается достаточно большое количество фрагментов.

Выводы

Результатом проведенного исследования является алгоритм адаптивного разбиения сцены на фрагменты в зависимости от степени взаимодействия между объектами сцены. Разработанный алгоритм позволяет существенно сократить время вычислений при построении изображений методом излучательности.

Библиографический список

1. **Cohen, M.F., Wallace, J.R.** Radiosity and realistic image synthesis / M.F. Cohen, J.R. Wallace. – New York: Academic Press Professional, 1995. – 381 с.
2. **Никулин, Е.А.** Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики: учеб. пособие для вузов / Е.А. Никулин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 560 с.
3. **Кулясов, П.С., Никулин Е.А.** Исследование метода излучательности для построения высокореалистичных изображений / П.С. Кулясов, Е.А. Никулин // Информационные системы и технологии: материалы XVI международной научно-технической конференции. – Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2010. С. 348.

*Дата поступления
в редакцию 06.07.2010*

P.S. Kulyasov, E.A. Nikulin

ALGORITHM OF ADAPTIVE SCENE SUBDIVISION

A new algorithm of adaptive scene subdivision which allows evaluation of form-factors with predefined reasonable error and may be used for realistic image synthesis by radiosity method is described. this algorithm is useful in order to decrease computation time and complexity without considerable quality loss.

Key words: radiosity, form factor.

УДК 629.12 – 531.3

М.И. Фейгин

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И КРИТИЧЕСКИХ ТОЧЕК ДИАГРАММЫ
УПРАВЛЯЕМОСТИ СУДНА ПРИ ВЕТРЕ**

Волжская государственная академия водного транспорта

Исследуется устойчивость движения судна прямым курсом на наиболее важном участке диаграммы управляемости. Получены уравнения для расчета случаев частичной и полной потери управляемости судном при ветре.

Ключевые слова: движение судна, ветровое воздействие, изменение управляемости.

Диаграмма управляемости судна при ветре определена как зависимость угла курса установившихся движений судна в прямолинейном направлении от угла перекладки руля при определенной скорости истинного ветра V_i . Были исследованы зарождение диаграммы и устойчивость установившихся движений судна на различных ее участках при слабом ветре [1].

Суждение об устойчивости или неустойчивости особых точек различных участков диаграммы можно сделать из общих качественных соображений теории бифуркаций, если не существуют другие стационарные решения. Для устойчивых в безветрии судов такой подход оказывается применим. Если при изменении параметра V_i происходит слияние двух точек с последующим их исчезновением, то они в общем случае должны соответствовать устойчивому и неустойчивому решениям.

Для неустойчивого в безветрии судна ситуация существенно сложнее. Это связано с сосуществованием наряду с особыми точками также и замкнутых траекторий – установившихся режимов циркуляций, а также предельных циклов ветровых автоколебаний. Поэтому в некоторых интервалах угла перекладки руля все особые точки могут оказаться неустойчивыми. В процессе эволюции диаграммы при усилении ветра происходит рождение новых критических точек диаграммы, соответствующих кратным особым точкам или бифуркациям.

Полученная теоретически качественная картина взаимных переходов установившихся режимов движения полностью совпадает с результатами компьютерного моделирования.

В данной работе исследуется устойчивость движения судна прямым курсом на наиболее важном участке диаграммы управляемости. Он включает режим, при котором оказываются равными по величине аэродинамические моменты, действующие на носовую и кормовую надводные части корпуса. Установлено, что существенная роль в выполнении условий устойчивости принадлежит функции $F(V_i, \psi)$, которая зависит только от скорости ветра и угла курса, соответствующих исследуемому решению. Она является универсальной по отношению ко всему классу рассматриваемых судов.

Исследованы случаи, когда при усилении ветра неустойчивое движение судна прямым курсом становится устойчивым, и при этом стационарное решение не является кратным. Следовательно, бифуркация не связана со слиянием пары особых точек – устойчивой и неустойчивой. Рассмотренный случай соответствует бифуркации Андронова – Хопфа, при которой неустойчивая точка типа фокус сливается с устойчивым циклом автоколебаний, порождая особую точку типа устойчивый фокус. Существование автоколебаний объясняет известную в практике судовождения повышенную рыскливость судна при ветре.

Выполнен расчет критических точек диаграммы. С усилением ветра четыре из шести точек перемещаются таким образом, что соответствующий угол перекладки руля может пре-

высить предельно возможный. Это является причиной потери управляемости судна при ветре. Получены уравнения для расчета указанных случаев.

Математическая модель

Принимаемая к рассмотрению динамическая модель судна описывается системой дифференциальных уравнений в безразмерной форме в следующем виде [2-4]

$$\dot{\omega} = a\omega + b\beta + s_1U + M(\psi, \gamma), \quad (1)$$

$$\dot{\beta} = c\omega + d\beta + h\beta|\beta| + s_2U + P(\psi, \gamma),$$

$$\dot{\psi} = \omega,$$

$$\dot{x} = \cos(\psi - \beta), \quad (2)$$

$$\dot{y} = \sin(\psi - \beta).$$

Здесь ψ - угол курса, ω - угловая скорость, β - угол дрейфа между линейной скоростью центра тяжести и продольной осью симметрии судна, U - параметр управления, равный углу отклонения пера руля. Система координат центра тяжести судна x, y введена таким образом, чтобы ось абсцисс совпадала с направлением истинного ветра V_i ($V_{iy} = 0, V_i = V_{ix} > 0$). Координаты x, y в начальный момент будем полагать совпадающими с началом отсчета.

Воздействие ветра характеризуют V и γ - скорость и угол ветра относительно судна. Заметим, что строго попутному ветру соответствует $\psi = 0, 2\pi$, а встречному $\psi = \pi$.

Аэродинамические момент и поперечная сила, создаваемые ветром, соответственно равны

$$M(\psi, \gamma) = g_1 V^2 \sin \gamma (1 - \cos \gamma (1 + n \sin^2 \gamma)), \quad (3)$$

$$P(\psi, \gamma) = g_2 V^2 \sin \gamma$$

$$n = \frac{1}{\cos \gamma_0 (1 + \cos \gamma_0)}$$

$$V^2 = V_i^2 - 2V_i \cos(\psi - \beta) + 1, \quad (4)$$

$$V_i \sin(\psi + \gamma) - \sin(\beta + \gamma) = 0$$

Соотношения (4) определяют характеристики ветра V, γ относительно судна от V_i, ψ, β .

Аэродинамический момент равен нулю в трех случаях: при строго попутном ($\gamma = \pm\pi$), строго встречном ($\gamma = 0$) ветре, а также при значении относительного угла $\gamma = \gamma_0$, при котором оказываются равными по величине моменты, действующие на носовую и кормовую надводные части корпуса [3].

Исследование устойчивости стационарных режимов в окрестности нулевого значения аэродинамического момента

Перейдем к исследованию устойчивости в окрестности стационарного режима движения, при котором $\gamma = \gamma_0$. Введем малую переменную ε с заменой $\gamma = \gamma_0 + \varepsilon$ и будем полагать $|\varepsilon| \ll 1, |\beta| \ll 1$. Тогда уравнения (3), (4) приводятся к виду

$$M = -\varepsilon g_1 V^2 \sin^2 \gamma_0 \frac{2 \cos^2 \gamma_0 - 1 - \cos \gamma_0}{\cos \gamma_0 (1 + \cos \gamma_0)}, \quad (5)$$

$$P = g_2 V^2 (\varepsilon \cos \gamma_0 + \sin \gamma_0), \quad (6)$$

$$V^2 = V_i^2 - 2V_i \cos \psi + 1,$$

$$V_i (\sin(\psi + \gamma_0) + \varepsilon \cos(\psi + \gamma_0)) - \sin \gamma_0 - \varepsilon \cos \gamma_0 = 0.$$

Из (6) определяем значение ε

$$\varepsilon = \frac{V_i \sin(\psi + \gamma_0) - \sin \gamma_0}{\cos \gamma_0 - V_i \cos(\psi + \gamma_0)} \quad (7)$$

Значение γ_0 зависит от степени загрузки судна. Вместе с тем, на основе приводимых в литературе характеристик шести типов судов можно принять среднее значение $\gamma_0 = \pm \pi/3$ [3]. Характеристическое уравнение для исследования устойчивости решения системы (1), (2) в окрестности γ_0 имеет вид:

$$\lambda^3 + a_1 \lambda^2 + a_2 \lambda + a_3 = 0. \quad (8)$$

Коэффициенты уравнения равны

$$a_1 = -(a + d), \quad (9)$$

$$a_2 = ad - bc - M'_\psi = q - M'_\psi,$$

$$a_3 = -bP'_\psi + dM'_\psi.$$

Условия устойчивости Гурвица записываются в виде

$$\Delta_1 = a_1 = -a - d > 0, \quad (10)$$

$$\Delta_2 = a_1 a_2 - a_3 = -(a + d)q + bP'_\psi + aM'_\psi > 0,$$

$$\Delta_3 = a_3 \Delta_2 > 0.$$

Для $\gamma_0 = \pi/3$

$$P'_\psi = g_2 (\sqrt{3} V_i \sin \psi - F(V_i, \psi)), \quad (11)$$

$$M'_\psi = -2g_1 F(V_i, \psi),$$

$$\varepsilon'_\psi = -\frac{4V_i (V_i - \cos \psi)}{(1 - V_i (\cos \psi - \sqrt{3} \sin \psi))^2},$$

$$F(V_i, \psi) = \frac{2V_i (V_i^2 - 2V_i \cos \psi + 1)(V_i - \cos \psi)}{(1 - V_i (\cos \psi - \sqrt{3} \sin \psi))^2}. \quad (12)$$

Как видно из выражений (9)-(12), существенная роль в выполнении условий устойчивости принадлежит функции $F(V_i, \psi)$. Она зависит только от скорости ветра и угла курса, соответствующих исследуемому решению, и является универсальной по отношению ко всему классу рассматриваемых судов.

“Ветровые” слагаемые в Δ_2

$$bP'_\psi + aM'_\psi = \sqrt{3} b g_2 V_i \sin \psi - (2a g_1 + b g_2) F. \quad (13)$$

Коэффициент a_3

$$a_3 = dM'_\psi - bP'_\psi = -\sqrt{3}bg_2V_i \sin \psi - (2ag_1 - bg_2)F. \quad (14)$$

Для рассматриваемого класса водоизмещающих судов коэффициенты $b > 0$, $a < 0$, $d < 0$, $g_2 \ll g_1$. Следовательно, достаточные условия устойчивости принимают вид

$$\Delta_2 \approx -(a+d)q - 2ag_1F > 0, \quad (15)$$

$$\Delta_3 \approx -2ag_1F\Delta_2 > 0. \quad (16)$$

Для устойчивых в безветрии судов, у которых $q > 0$, условия (13), (14) выполняются на интервалах значений угла курса ψ , если функция $F(V_i, \psi) > 0$ в интересующих нас случаях $V_i > 1$.

Для неустойчивых в безветрии судов значение $q < 0$. Выполнение $\Delta_2 > 0$ внутри указанных интервалов связано с характером зависимости F от V_i для базового решения, соответствующего $\varepsilon = 0$.

Соотношение между V_i и ψ для рассматриваемого решения при $\gamma_0 = \pi/3$ получим из (7), полагая $\varepsilon = 0$

$$V_i^* = \sqrt{3}/(\sqrt{3} \cos \psi + \sin \psi). \quad (17)$$

Условие $V_i > 1$ выполняется в интервале значений угла курса рассматриваемых решений

$$\pi/3 < \psi < 2\pi/3. \quad (18)$$

При этом, как следует из уравнений (1), значение $U = -bP/(s_2b - s_1d) < 0$.

Для аналогичного решения для $\gamma_0 = -\pi/3$ уравнения (12), (15)-(16) имеют вид

$$F(V_i, \psi) = \frac{2V_i(V_i^2 - 2V_i \cos \psi + 1)(V_i - \cos \psi)}{(1 - V_i(\cos \psi + \sqrt{3} \sin \psi))^2}, \quad (19)$$

$$V_i^* = \sqrt{3}/(\sqrt{3} \cos \psi - \sin \psi), \quad (20)$$

$$4\pi/3 < \psi < 5\pi/3. \quad (21)$$

Соответствующий угол перекладки руля $U = bP/(s_2b - s_1d) > 0$.

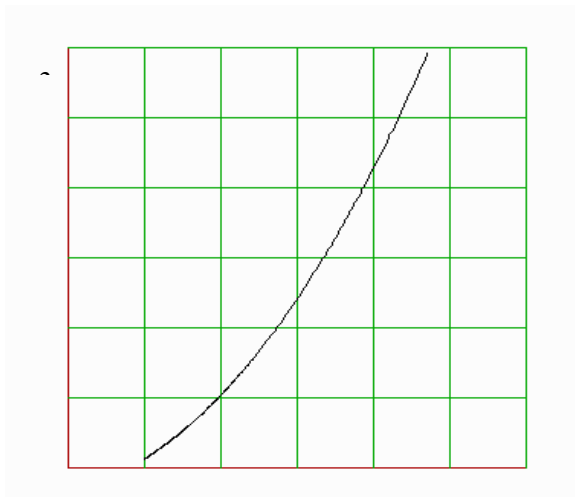


Рис. 1

Из уравнений (12), (15) и (17), (18) получим зависимость функции F только от параметра V_i . Обозначим ее $F_1(V_i)$. Значения функции $F_1(V_i^*)$, играющей основную роль в выполнении условий устойчивости, оказываются совпадающими на интервалах (16) и (19). Указанная функция представлена на рис. 1 Она неограниченно возрастает по мере приближения ψ к соответствующему концу интервалов существования рассматриваемых решений: $\psi \rightarrow 2\pi/3$ в интервале (16) и $\psi \rightarrow 4\pi/3$ в интервале (19).

Полученные результаты на основании условий устойчивости (13)-(14) позволяют сделать следующие выводы. У неустойчивых в безветрии судов движение прямым курсом становится устойчивым при усилении ветра до некоторого значения V_i^* .

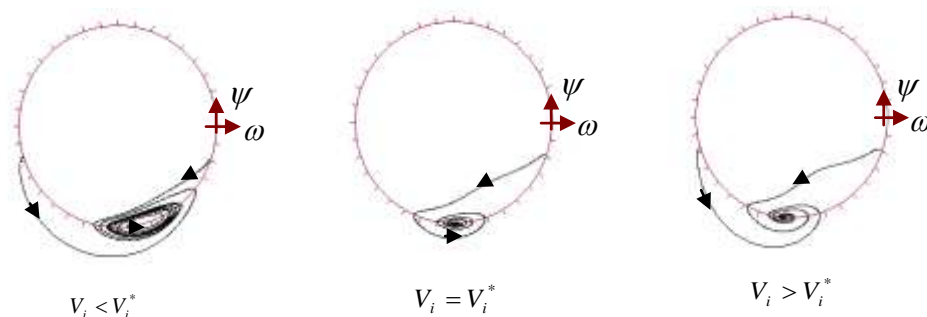


Рис. 2

Так как при этом соответствующее стационарное решение не является кратным, бифуркация не связана со слиянием и исчезновением пары особых точек – устойчивой и неустойчивой. Рассматриваемый случай соответствует бифуркации Андронова – Хопфа, при которой неустойчивая точка типа фокус сливается с устойчивым циклом автоколебаний, порождая особую точку типа устойчивый фокус. Компьютерное моделирование подтверждает этот вывод. На рис.2 представлены соответствующие фазовые портреты для случаев $V_i < V_i^*$, $V_i = V_i^*$ и $V_i > V_i^*$ для неустойчивого судна с динамическими коэффициентами, приведенными в [2], [4].

Другим следствием является подтверждение качественного предположения, что на участках устойчивых решений диаграммы управляемости наклон $\psi_U > 0$. Отметим также, что на характеристике аэродинамического момента $M(\gamma)$ в окрестности γ_0 производная $M'_\varepsilon = 4g_1 V^2 > 0$. Последнее вытекает из уравнения (5).

Расчет критических точек диаграммы управляемости судном при ветре

Понятие критического значения угла перекаладки руля было введено без учета ветра и соответствовало бифуркационной ситуации слияния с исчезновением двух особых точек или установившихся режимов движения – устойчивой и неустойчивой циркуляции [2]. Бифуркация происходит при определенном характере взаимодействия на корпус и рулевое устройство гидродинамических сил и моментов. При ветре существенное значение приобретает аэродинамическое воздействие. Роль порождаемого ветром «рулевого органа» принадлежит носовой и кормовой частям корпуса судна, а углом отклонения «ветрового руля» является разность $\gamma - \gamma_0$.

По аналогии с U_{kr} естественно предположить существование критических углов γ_i^{kr} для конкретного типа судна. Математическое моделирование динамики судна при ветре полностью подтвердило такую гипотезу. Исследовались два типа судов, устойчивое и неус-

тойчивое, у которых отличие состоит лишь в одном из динамических коэффициентов (примеры Р.Я. Першица [2]). Из шести критических значений $\pm \gamma_1^{kr}$, $\pm \gamma_2^{kr}$, $\pm \gamma_3^{kr}$ две пары практически совпадают. И это естественно, так как отличие в поведении судов в безветрии существенно при $|U| < U_{kr}$ и менее значительно при $|U| > U_{kr}$.

Для приближенного аналитического определения критических углов γ_i^{kr} обратимся к аэродинамическим характеристикам надводных частей различных судов [3]. В приводимых характеристиках моментов для шести типов судов видно, что экстремумы имеют место при $\gamma_1 \approx 45^\circ$ и $\gamma_2 \approx 120^\circ$. Следовательно, даже у устойчивых в безветрии судов при γ , соответствующим экстремумам $M(\gamma)$, исследуемые режимы движения прямым курсом должны быть неустойчивыми. В окрестности указанных значений $\gamma > \gamma_1$ и $\gamma < \gamma_2$ следует ожидать слияния с последующим исчезновением устойчивой и неустойчивой особых точек, что соответствует критическим углам перекаладки руля.

Так как в точках экстремумов $M'_\gamma = 0$, а на основной части рассматриваемого участка характеристик $M'_\gamma \approx 3.4$, будем полагать, что потеря устойчивости происходит при $M'_\gamma \approx 1.7$. Этот наклон имеет место при $\gamma_1^{kr} \approx \pm 1.9$ и $\gamma_2^{kr} \approx \pm 0.82$. Отыскание установившихся решений исходной системы трансцендентных уравнений существенно упрощается, если предполагать известными углы γ .

Обозначим момент и поперечную силу

$$\begin{aligned} M(\psi, \gamma_i^{kr}) &= g_1 V^2 \sin \gamma_i^{kr} (1 - \cos \gamma_i^{kr} (1 + n \sin^2 \gamma_i^{kr})) = V^2 Q_1, \\ P(\psi, \gamma_i^{kr}) &= g_2 V^2 \sin \gamma_i^{kr} = V^2 Q_2. \end{aligned} \quad (20)$$

Пренебрегая $h\beta|\beta|$, получим уравнения

$$\begin{aligned} b\beta + s_1 U + V^2 Q_1 &= 0, \\ d\beta + s_2 U + V^2 Q_2 &= 0. \end{aligned} \quad (21)$$

$$V^2 = V_i^2 - 2V_i \cos(\psi - \beta) + 1, \quad (22)$$

$$V_i \sin(\psi + \gamma_i^{kr}) - \sin(\beta + \gamma_i^{kr}) = 0.$$

Из четырех уравнений (21)–(22) необходимо найти β, ψ, U, V^2 , если задавать значение скорости истинного ветра V_i . Существенное упрощение состоит в том, что в уравнения (21) U и V^2 входят линейно. Поэтому они легко находятся

$$U = \frac{\beta(dQ_1 - bQ_2)}{s_1Q_2 - s_2Q_1}, \quad (23)$$

$$V^2 = \frac{\beta(s_2b - s_1d)}{s_1Q_2 - s_2Q_1}. \quad (24)$$

После подстановки (24) в (22) получаем два уравнения для нахождения β_i^{kr} и ψ_i^{kr} , а, следовательно, и U_i^{kr} из уравнения (23) в соответствующих особых точках. Результаты рас-

чета зависимостей $U_i^{kr}(V_i)$ и $\psi_i^{kr}(V_i)$ у неустойчивого судна для $\gamma_1^{kr} \approx -1.9$ приведены на рис. 3, а для $\gamma_2^{kr} \approx -0.82$ - на рис. 4.

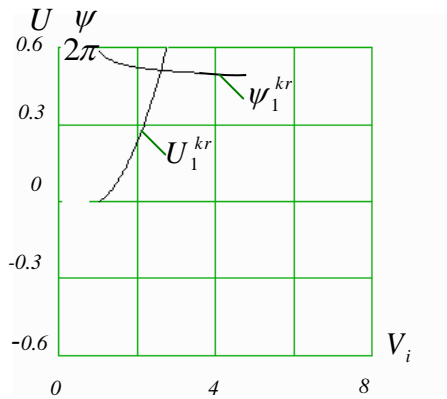


Рис. 3

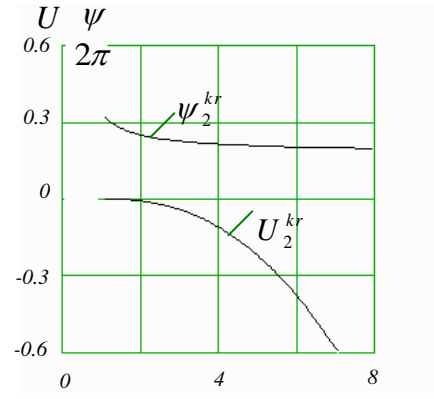


Рис. 4

Для критической точки $\pm \gamma_3^{kr}$ качественный подход затруднителен, так как при незначительности этого угла уже нельзя отдавать предпочтение воздействию аэродинамического момента над аэродинамической силой. Однако значение $\pm \gamma_3^{kr}$ можно получить аналитически в предположении $|\gamma_3^{kr}| < 0.3$, $|\psi_3^{kr} - \pi| < 0.3$, $|\beta| \ll 1$. Из уравнений (4) имеем

$$V^2 \approx V_i^2 - 2V_i \cos \psi + 1 \approx (V_i - 1)^2, \quad d(V^2)/d\psi = 2V_i \sin \psi \approx 2V_i \psi, \quad (25)$$

$$V_i \sin(\psi + \gamma) - \sin \gamma \approx V_i \psi + (V_i - 1)\gamma = 0, \quad d\gamma/d\psi \approx V_i/(1 - V_i). \quad (26)$$

Для исследования устойчивости особой точки можно воспользоваться уравнениями (8), (9) и критериями устойчивости Гурвица (10). Коэффициент $a_3 = -bP'_\psi + dM'_\psi$ зависит от ветрового воздействия. Нарушение устойчивости происходит при $a_3 = 0$. Это условие и позволяет определить искомое $\pm \gamma_3^{kr}$. Дифференцируя функции аэродинамического момента и поперечной силы (3), получаем

$$\begin{aligned} M'_\psi &\approx g_1 \gamma^2 (V_i - 1)(2\gamma^2 + 3nV_i) \approx 3g_1 \gamma^2 nV_i (V_i - 1), \\ P'_\psi &\approx g_2 (V_i - 1)(2\gamma^2 - V_i) \approx -g_2 V_i (V_i - 1). \end{aligned} \quad (27)$$

Следовательно, искомое критическое значение

$$\gamma_3^{kr} = \pm \sqrt{\frac{-bg_2}{3dng_1}}. \quad (28)$$

Результаты расчета U_3^{kr} и ψ_3^{kr} по уравнениям (22)-(24) для устойчивого судна ($d = -1.287, \gamma_3^{kr} = -0.18$) приведены на рис. 5, а для неустойчивого судна ($d = -0.476, \gamma_3^{kr} = -0.29$) - на рис. 6.

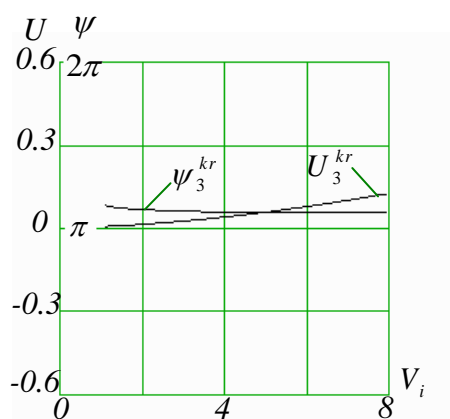


Рис. 5

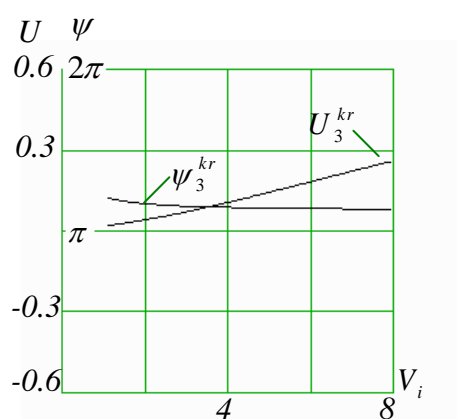


Рис. 6

Выполненные расчеты критических точек хорошо совпадают с результатами компьютерного моделирования исходной динамической модели.

Уравнения (22)-(24) позволяют выполнить расчет показателей частичной и полной потери управляемости $\beta^0, V^0, V_i^0, \psi^0$, если полагать $|U| = U_{\max}$. Соответствующие критические точки для устойчивого в безветрии судна выделены на рис.7 ($V_i = 2.58$) и рис. 8 ($V_i = 5.6$). Полной потерей управляемости будем называть ситуацию, когда при перекладке руля в максимально возможном диапазоне $-U_{\max} \leq U \leq U_{\max}$ курс судна изменяется незначительно. На соответствующих участках диаграммы, приведенной на рис. 8, это 10 – 15 градусов.

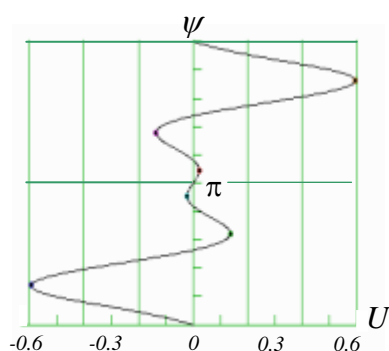


Рис. 7

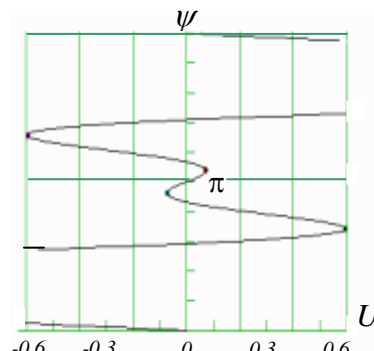


Рис. 8

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 04-01-00815.

Библиографический список

1. **Фейгин, М.И.** Зарождение и эволюция диаграммы управляемости судна при ветре // Вестник. Межвузовская серия: Моделирование и оптимизация сложных систем. Новые информационные технологии и развитие образования / ВГАВТ. Н. Новгород. 2005. Вып. 14. С. 9-17.
2. **Войткунский, Я.И.** Справочник по теории корабля / Я.И. Войткунский, Р.Я. Першиц, И.А. Титов. – Л.: Судостроение, 1973. – 512 с.
3. **Гофман, А.Д.** Теория и расчет поворотливости судов внутреннего плавания / А.Д. Гофман. – Л.: Судостроение, 1971. – 256 с.

4. **Фейгин, М.И.** Бифуркационный подход к исследованию управляемости судна при ветровом воздействии // Вестн. Нижегород. ун-та. Мат. моделирование и оптимальное управление / ННГУ. Н. Новгород. 1998. Вып. 2(19). С. 41–49.

*Дата поступления
в редакцию 13.07.2010*

M.I. Feigin

**INVESTIGATION OF STABILITY OF SHIP CONTROLLABILITY DIAGRAM
AND ITS BIFURCATION POINTS UPON THE WIND**

By the analysis of the ship controllability diagram, the crucial conditions of ship strait course motion upon strengthening wind are investigated. The relations for bifurcation values of the parameters, which conform to partial as well as full loss of controllability, are obtained.

Key words: ship motion, wind influence, controllability changing.

МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

УДК 53

П.Э. Букин, И.Н. Фролова

МОНИТОРИНГ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ОАО ПКО «Теплообменник»

Актуальные задачи по учету реального времени загрузки механообрабатывающего оборудования можно решить только при помощи извлечения требуемой информации напрямую со стоек с числовым программным управлением.

Ключевые слова: мониторинг, станки, стойка с числовым программным управлением (ЧПУ), программное обеспечение, управляющая программа, диспетчеризация.

Современные мировые тенденции требуют от промышленности повышения гибкости производства и улучшения эффективности планирования загрузки оборудования на предприятии.

Чтобы повысить эффективность организации производства на уровне цеха и выявить способы повышения гибкости управления, в первую очередь необходимо выявить схему информационных потоков на уровне цеха (рис. 1). Из анализа существующих систем организации передачи информации в реальном производстве информационные потоки по скорости передачи данных можно разделить на две основные группы:

- потоки, имеющие *постоянно высокую скорость* передачи информации, то есть потоки, за которыми осуществляется постоянное наблюдение руководства цеха или автоматизированные;
- потоки, имеющие *переменную скорость* передачи информации (от высокой до почти полной остановки), то есть потоки, за которыми не осуществляется постоянное наблюдение руководства цеха или неавтоматизированные.

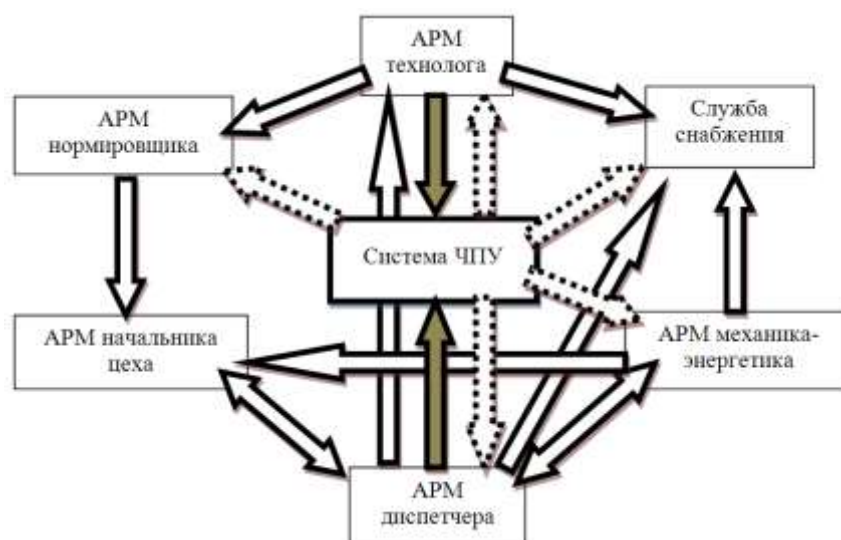


Рис. 1. Информационная структура цеха

Потоки, имеющие *постоянно высокую* скорость передачи информации, образуются, в основном, как следствие развития автоматизированных систем, предназначенных для решения той или иной задачи, а также средств передачи данных от одного рабочего места к другому. На современном этапе развития автоматизации, на уровне цеха получать актуальную информацию о процессе изготовления деталей можно только на входе заготовок в процесс обработки и в момент сдачи готовых деталей на склад. При этом, несмотря на существование систем диспетчеризации, позволяющих автоматизированным путем составлять план загрузки оборудования, получение актуальной информации о состоянии оборудования, о процессе обработки данных деталей обеспечивается вручную. Происходит своеобразный разрыв (рис. 2) в автоматизированной цепочке жизненного цикла информации (ЖЦИ).

В результате каких-либо технических неисправностей в процессе обработки деталей, план, рассчитанный с применением MES-систем, является практически бесполезным, так как большой вклад в точность получаемых данных вносит «человеческий фактор», не позволяющий иногда адекватно, а главное вовремя оценить ситуацию в цехе. Поэтому возникает необходимость в автоматическом сборе и обработке информации о процессе обработки деталей в цехе (см. рис. 2, блок, выделенный пунктиром).



Рис. 2. Часть цепочки ЖЦИ

При этом сравнение реального и расчетного времен практически всегда дают расхождение (рис. 3).

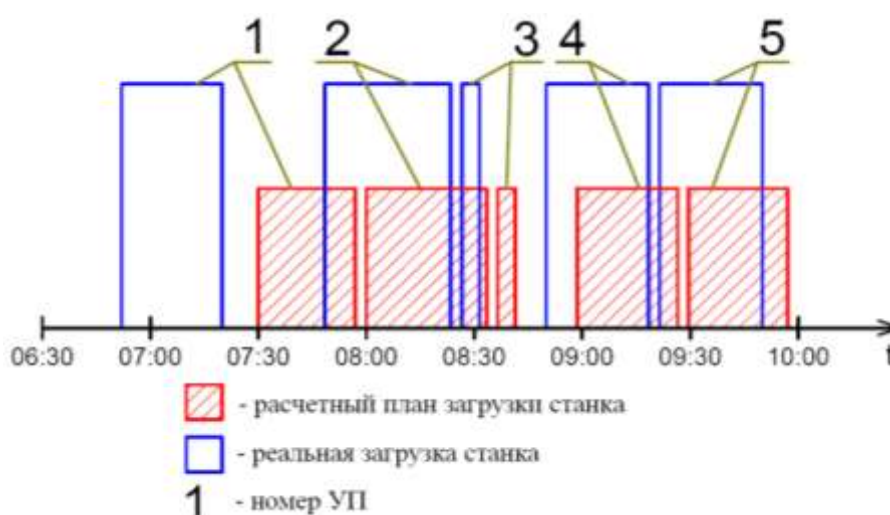


Рис. 3. Сравнение реального и расчетного плана обработки корпусной детали

Чтобы избежать постоянного срыва производственных планов, предприятия зачастую вынуждены либо искусственно завышать нормы времени, либо вовсе составлять план загрузки оборудования «по факту». Это особенно актуально для мелкосерийных и среднесе-

рийных производств. Очевидно, что оба варианта приводят к нерациональной загрузке оборудования и уменьшению эффективности работы цеха.

Причины отставания в автоматизации на уровне «единицы оборудования» кроются в следующих факторах:

- невозможность снятия информации автоматизированным путем с универсального оборудования;
- в парк станков часто входят стойки с «морально» устаревшими промышленными компьютерами, которые неспособны обрабатывать и компоновать требующуюся информацию;
- связь станков с сервером (PLM-системой) осуществляется тремя основными способами (рис. 4). При этом только третий позволяет организовать автоматизированную передачу информации;
- модельный ряд стоек в цехе зачастую достаточно значителен (результат закупки оборудования по принципу минимизации расходов), что серьезно осложняет организацию единой системы обмена информацией, так как для каждой модели, как правило, требуется «персональный» способ подключения к сети и свой метод формирования отчета о выполняемой работе.

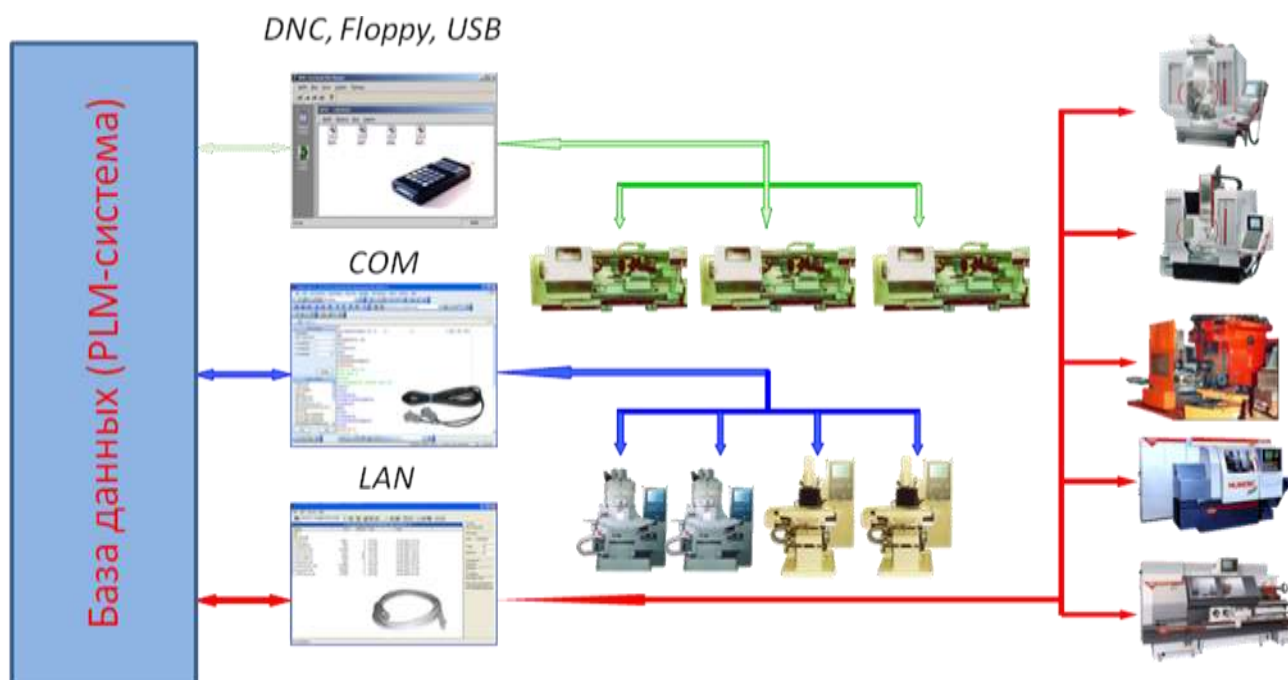


Рис. 4. Способы организации связи со станками

С учетом всего сказанного можно сформулировать четыре основных варианта организации мониторинга оборудования:

- передача информации осуществляется за счет макросов, встроенных внутрь УП;
- передача информации осуществляется за счет установленного на станке ПО, которое в автоматизированном режиме передает необходимую информацию;
- передача информации осуществляется за счет установленного на станке ПО, которое создает во время отработки отчет и затем пересылает его на сервер (в PLM-систему);
- передача информации осуществляется за счет установленного на сервере (имеющегося в PLM-системе) ПО, которое в режиме реального времени «опрашивает» станок.

Наиболее эффективно работа будет производиться, если сбор и передача данных о процессе обработки деталей в цехе будет происходить в режиме «реального времени». Этого

можно добиться только путем извлечения информации напрямую с технологического оборудования. Практическая реализация сбора информации возможна двумя способами:

- путем опрашивания стойки станка через определенный заданный интервал времени (интервал должен колебаться в зависимости от типа и специфики применения оборудования);
- путем накопления log-файла. Стойка станка, при завершении какого-либо действия, сама передает информацию о выполненных процессах.

Для реализации любого из двух способов должны выполняться несколько обязательных условий:

1. Стойка станка должна входить в локальную сеть предприятия.

2. Стойка станка должна быть создана на основе достаточно мощного промышленного компьютера, чтобы исключить возможность ее повисания в процессе сбора и передачи требующегося объема информации. В противном случае придется приостанавливать работу на станке для снятия с него информации или использовать для этого технологические паузы.

3. Программное обеспечение, установленное на стойке станка, должно позволять собирать информацию. Наиболее хорошо по этому показателю выглядят системы ЧПУ, разработанные на базе MS Windows. В противном случае придется использовать дополнительно устанавливаемые датчики для сбора информации.

Введение данной автоматической обратной связи позволяет получить ряд преимуществ перед «классическим» способом организации передачи информации на уровне цеха:

- план загрузки оборудования может пересчитываться с нужным для данного предприятия диапазоном времени с учетом постоянно получаемой информации;
- руководство цеха всегда может получить реальную картину о ситуации с обработкой каждой конкретной детали, что наиболее актуально для единичного, мелко- и средне-серийных производств;
- ремонтные службы цеха получают наиболее полную и своевременную информацию о техническом состоянии каждой единицы оборудования, что приводит к минимизации времени на техническое обслуживание и ремонт оборудования.

*Дата поступления
в редакцию 24.06.2010*

P.E. Bukin, I.N. Frolova

MONITORING OF INDUSTRIAL EQUIPMENT

Currently, there are enough challenges to the integration of real-time use of machining equipment. These problems may be solved only by retrieving necessary information directly from the CNC racks.

Key words: monitoring, machines, CNC, software, supervisor, dispatching.

УДК 621. 735.32 : 621.882

В.В. Галкин, С.А. Кудрявцев, Е.Г. Терещенко, А.А. Дербенев

МЕТОД РАСЧЕТА ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ХОЛОДНОЙ ВЫСАДКОЙ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева

Предложен метод расчета деформированного состояния металла крепежных изделий в многопереходных процессах холодной высадки на примере изготовления двенадцатигранной гайки с фланцем из стали 30ХГ1Ф. Значение конечных пластических деформаций выделенных зон крепежного изделия определено как арифметическая сумма интенсивностей деформаций в соответствующих зонах заготовки на переходах высадки. Расчет интенсивностей деформаций проводился микроструктурным методом Г.А.Смирнова-Аляева, а прослеживание перемещения выделенных зон крепежных изделий в высаживаемой заготовке – с применением программного комплекса DEFORM. Оценка достоверности полученных результатов проводилась сравнением с данными, полученными методом замера микротвердости материала в выделенных зонах заготовки на переходах высадки на шлифах.

Ключевые слова: расчет деформированного состояния, интенсивность деформаций, выделенные зоны заготовки на переходах высадки.

В настоящее время прогрессивный крепеж отличается сложной формой и высокой точностью. Для его изготовления, а также с учетом обеспечения стойкости инструмента, технологические процессы высадки выполняются за несколько переходов, число которых достигает шести. Холодная объемная штамповка характеризуется упрочнением (наклепом) металла в процессе деформации, что для холодновысадочного производства имеет двойственное значение:

- к положительному можно отнести возможность повышения прочностных характеристик материала, в частности, при производстве гаечных изделий получение десятого класса прочности без последующей термической обработки;
- к отрицательному относится снижение стойкости инструмента.

Одним из основных факторов, влияющих на упрочнение материала в процессе обработки давлением, является степень деформации. Как правило, на практике оценка деформированного состояния материала крепежных изделий, полученных холодной высадкой, проводится по усредненным коэффициентам, в частности, по степени деформации по высоте, что не отражает истинную картину изменения их прочностных характеристик в объеме изделия. Очевидно, оптимальным критерием может служить значение степени деформации в характерных зонах высаживаемого изделия, которые отвечают за его эксплуатационные характеристики.

Математический расчет конечных пластических деформаций материальной точки в общем виде был предложен в 1958 г. А.А. Илюшиным, которое в формулировке Г.А. Смирнова-Аляева выглядит следующим образом: "степень деформации рассматриваемой материальной частицы называется арифметическая сумма интенсивностей последовательных малых деформаций, на которые можно было разделить весь процесс конечного формоизменения этой частицы, в случае монотонного протекания процесса деформации степень деформации равна интенсивности главных логарифмических деформации"[1]. Очевиден вопрос о правомерности данного положения для многопереходных процессов, в частности, технологии холодной высадки.

До настоящего времени при оценке конечных пластических деформаций в реальном объеме материала изделия наиболее перспективным является микроструктурный метод Г.А. Смирнова-Аляева, основанный на замере линейных размеров зерен недеформированной и деформированной структур, по результатам которых рассчитываются компоненты дефор-

мированного состояния [1]. На практике метод включает изготовление микрошлифов путем реза штампованных заготовок в установленных зонах, их фотографирование и обработка. На фотографиях микрошлифов для каждой исследуемой точки, как из центра окружности, проводятся отрезки через постоянное число градусов (рис. 1).

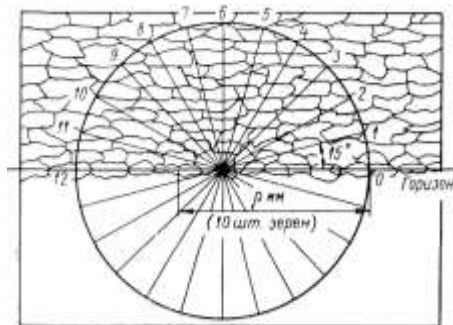


Рис. 1. Сетка-транспарант разметки замеров искаженной деформацией микроструктуры [1]

В базу измерений входят значения длин отрезков ρ , пересекающих установленное число деформированных зерен. Полученные значения ρ сравниваются с длиной отрезка ρ_0 , пересекающего установленное число зерен недеформированной структуры, на основании чего рассчитываются главные компоненты деформации $\varepsilon_a, \varepsilon_b, \varepsilon_N$ с простановкой их индексации, характеристика вида деформированного состояния v_ε (коэффициент В. Лоде) и величина его интенсивности ε_i по выражениям

$$\varepsilon_a = -0,5 \ln \left(\frac{\rho_0^2}{\rho_i^2} \right)_{\min}; \quad \varepsilon_b = -0,5 \ln \left(\frac{\rho_0^2}{\rho_i^2} \right)_{\max}; \quad \varepsilon_N = -(\varepsilon_a + \varepsilon_b);$$

$$v_\varepsilon = \frac{2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}; \quad \varepsilon_i = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{1}{2}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + \frac{1}{2}(\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + \frac{1}{2}(\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}.$$

Анализ данных научно-технической литературы позволяет предположить, что для многопереходных процессов холодной высадки метод расчета конечной степени деформации выделенной зоны крепежного изделия отсутствует, что свидетельствует об актуальности исследования данного вопроса. При этом, с учетом сложной траектории перемещения исследуемой материальной точки заготовки по переходам высадки, надо отметить отсутствие технологических приемов ее прослеживания. В практике оценки деформированного состояния в реальном материале заготовки одним из основных методов является замер его твердости, так как между деформированным состоянием и прочностными характеристиками, в частности, временным сопротивлением при растяжении и твердостью материала, наблюдается корреляция согласно положениям Г.Д. Деля [2]:

$$\sigma_b = (0,33 \dots 0,36) HV.$$

Целью данной работы стала разработка метода расчета деформированного состояния металла крепежных изделий в многопереходных процессах холодной высадки на примере изготовления двенадцатигранной гайки с фланцем из стали 30X1P, имеющей наибольшее число переходов (пять).

Для достижения поставленной цели было обозначено решение следующих задач:

- выбор технологических приемов для прослеживания перемещения выделенных зон крепежных изделий по переходам холодной высадки заготовки с целью определения их координат на поверхности шлифа для микроструктурного анализа;
- определение компонентов деформированного состояния материала в выделенных зонах высаженных заготовок на переходах высадки с использованием микроструктурного метода Г.А. Смирнова-Аляева;

- оценка достоверности расчета деформированного состояния материала путем его сравнения с данными, полученными методом замера микротвердости в выделенных зонах крепежных изделий по переходам высадки на шлифах.

В качестве технологического приема прослеживания перемещения выделенных зон высаживаемой заготовки по переходам использовалось программное обеспечение комплекса DEFORM, основанного на методе конечных элементов (МКЭ) [3]. В высаженной заготовке двенадцатигранной гайки (рис. 2, *е*) были выбраны характерные зоны: зона под накатку резьбы (1, 4), зона опорной поверхности (2, 3), и зона внешней поверхности, контактирующей с инструментом (5, 6). Их перемещение по переходам высадки заготовки приведено на рис. 2, *а - д*.

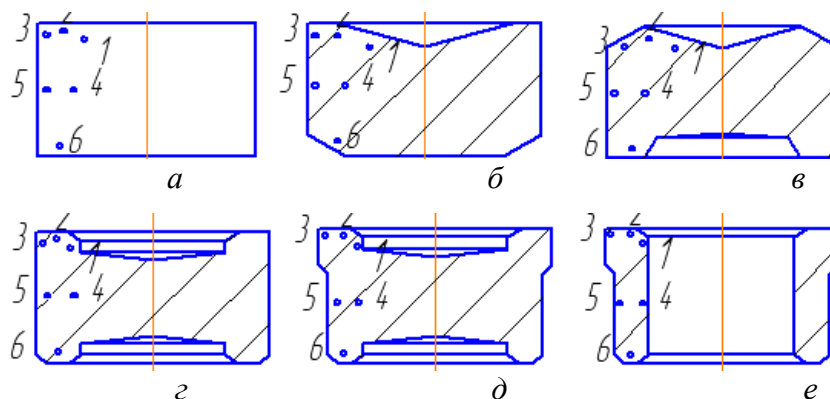


Рис. 2. Положение исследуемых зон двенадцатигранной гайки на переходах высадки:
а – исходная заготовка; *б* – первая осадка; *в* – вторая осадка; *г* – третья осадка; *д* – формовка наружного двенадцатигранного профиля и бурта; *е* – пробивка отверстия;
 1-6 – исследуемые зоны высаженной заготовки гайки

Компоненты деформированного состояния в выделенных зонах заготовки на переходах высадки определялись с по методу Г.А. Смирнова-Аляева с использованием его развития [3]. Оно включило применение программных продуктов, основанных на оптических замерах, что позволило автоматизировать процедуру измерения линейных размеров структурных составляющих металла и расчета компонентов деформированного состояния. В частности, в настоящей работе использовано программное обеспечение NI Vision и среда разработки LabVIEW фирмы National Instruments (рис. 3).

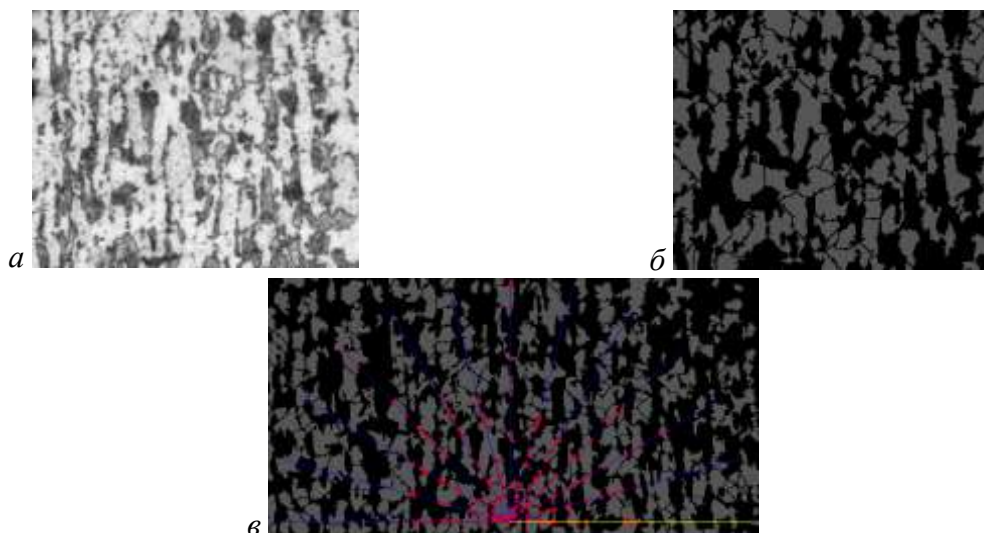


Рис. 3. Результаты автоматизированной обработки данных:
а – фотография микроструктуры x340; *б* - бинаризованная фотография микроструктуры x340; *в* - сетка-транспарант, построенная с угловым шагом 15⁰

При обachte исходное изображение микроструктуры, полученное с микроскопа, например, точки 2 (рис. 3, а), подвергается бинаризации (рис. 3, б), в результате которой элементы изображения разделяются на объекты – зерна и фон. Далее производится дополнительная сегментация изображения с целью разделения частично перекрывающихся объектов – зерен. Для этого используется встроенная функция пакета NI Vision, основанная на многократном применении операции эрозии к объектам изображения, в ходе которого узкие перешейки, соединяющие отдельные зерна, исчезают. При построении сетки по методу Г.А.Смирнова-Аляева указывается точка на изображении, для которой выполняется анализ. Разработанная программа автоматически строит из указанной точки-центра серию радиус-векторов с заданным угловым шагом (рис. 3, в) и находит заданное количество k точек пересечения этих векторов с границами зерен. Угловой шаг при измерениях может быть достаточно малым, что позволяет повысить точность расчетов метода по сравнению с ручными вычислениями, когда число секторов задается не более пятнадцати.

Значения рассчитанных компонентов деформированного состояния материала выделенных зон по переходам высадки приведены в табл. 1, по переходам результатам построены зависимости итоговой суммарной деформации по данным (рис. 4).

Таблица 1

Расчет компонентов деформированного состояния материала выделенных зон по переходам высадки

Переход	Точка	ε_a	ε_b	ε_N	ε_i	ν_ε
1-й переход	1	0,369	0,548	-0,917	0,922	0,756
	2	-0,183	-0,353	0,536	0,544	-0,618
	3	0,588	0,391	-0,979	0,985	0,749
	4	0,555	0,466	-1,021	1,022	0,887
	5	0,586	0,586	-1,172	1,172	1,000
	6	0,295	0,480	-0,775	0,782	0,705
2-й переход	1	-0,257	0,127	0,130	0,257	0,984
	2	0,077	0,340	-0,417	0,443	0,305
	3	0,284	-0,157	-0,127	0,284	-0,864
	4	-0,415	-0,114	0,529	0,556	-0,362
	5	-0,312	0,012	0,300	0,353	0,059
	6	0,138	-0,396	0,258	0,402	0,633
3-й переход	1	0,275	0,023	-0,298	0,331	0,120
	2	0,167	-0,348	0,181	0,348	0,947
	3	0,272	0,416	-0,688	0,693	0,739
	4	0,397	0,422	-0,452	0,493	0,194
	5	0,266	0,327	-0,688	0,693	0,719
	6	0,284	-0,222	-0,611	0,611	0,908
4-й переход	1	-0,425	0,312	0,647	0,657	-0,621
	2	0,239	-0,034	-0,542	0,544	0,808
	3	0,206	0,182	-0,172	0,220	-0,270
	4	-0,355	0,317	0,173	0,355	0,966
	5	0,418	-0,020	-0,735	0,737	0,825
	6	0,318	0,474	-0,298	0,356	-0,097
5-й переход	1	0,145	0,277	-0,619	0,647	0,398
	2	-0,082	-0,060	-0,195	0,284	-0,521
	3	-0,280	0,327	0,340	0,362	-0,290
	4	0,323	-0,415	-0,650	0,650	0,992
	5	0,318	0,168	0,097	0,434	0,397
	6	-0,461	0,157	0,293	0,466	0,668

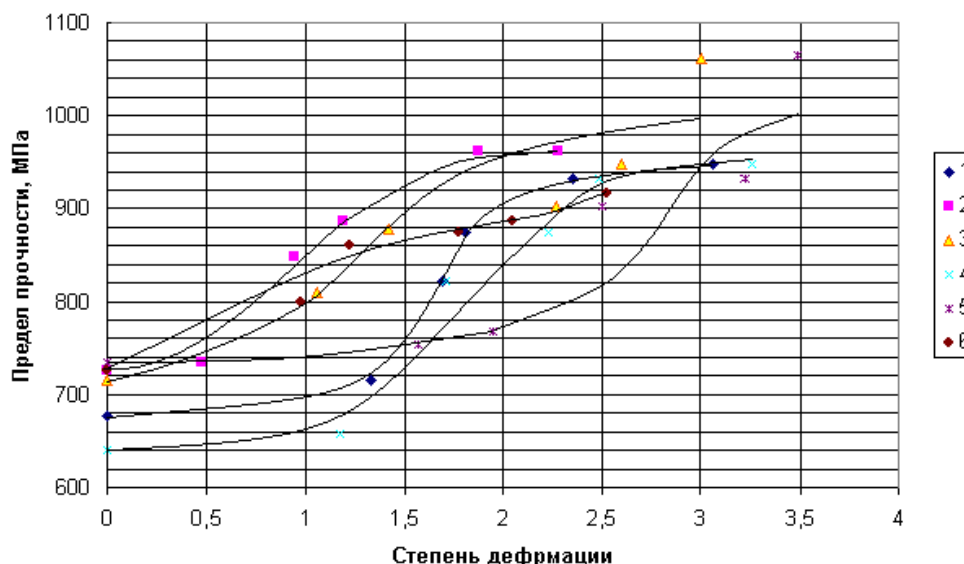


Рис. 4. Зависимости упрочнения материала от степени деформации в исследуемых зонах высаживаемой заготовки:
цифры: 1, 2, 3, 4, 5, 6 – номера исследуемых зон (рис. 2)

Результаты замеров твердости металла в исследуемых зонах на шлифах по переходам высадки приведены в табл. 2. В каждой зоне проводилось по пять замеров, по которым рассчитывалось среднее значение. Измерения проводились с использованием микротвердомера ПМТЗ с нагрузкой 100 г и увеличением х 300 (для отпечатков 76..125 мкм). Для перевода значений длин диагоналей отпечатков использовалась таблица переводов согласно ГОСТ 9450-76.

Таблица 2

Результаты замеров микротвердости в исследуемых зонах заготовки на переходах высадки

номер зоны \ переход	1	2	3	4	5	6
1	206	221	254	274	297	297
	206	221	254	274	274	322
	221	221	254	254	297	274
	206	221	254	274	297	297
	206	221	254	274	274	274
Среднее значение	209	221	254	270	288	293
2	221	236	274	274	297	297
	236	221	254	274	297	297
	221	221	274	274	297	297
	221	236	254	274	297	297
	221	221	254	274	297	297
Среднее значение	224	227	262	274	297	297
3	221	236	254	274	322	322
	221	254	297	297	297	351
	221	254	254	274	297	322
	221	254	274	274	274	322
	221	254	274	274	274	322
Среднее значение	221	250	271	279	293	328

Оокнчание табл. 2

номер зоны \ переход	1	2	3	4	5	6
Среднее значение	221	250	271	279	293	328
4	193	206	254	254	297	297
	193	193	254	274	274	297
	206	206	254	274	274	274
	193	206	254	274	297	274
	206	206	254	274	297	322
Среднее значение	198	203	254	270	288	293
5	221	236	236	297	297	351
	236	236	236	274	297	297
	221	221	254	274	297	322
	221	236	236	274	274	351
	236	236	221	274	274	322
Среднее значение	227	233	237	279	288	329
6	221	236	254	254	274	274
	236	254	274	274	274	297
	221	236	254	274	274	297
	221	254	274	274	274	274
	221	254	274	274	274	274
Среднее значение	224	247	266	270	274	283

Выводы

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

Значения твердости материала во всех исследуемых зонах высаживаемой заготовки на переходах посадки постоянно увеличиваются, что свидетельствует о монотонном повышении деформированного состояния материала. Как следствие, можно предположить, что итоговое значение деформированного состояния исследуемых зон высаживаемого изделия по переходам посадки определяется арифметическим суммированием значений интенсивностей деформаций на каждом из переходов в соответствии с формулировкой Г.А. Смирнова-Аляева, предложенной для оценки степени деформации материальной частицы в случае монотонности протекания процесса.

Различие величины упрочнения, полученного в исследуемых зонах при одной и той же интенсивности деформации на различных переходах, может быть объяснено различием в видах деформации, о чем свидетельствуют значения коэффициента В. Лоде.

Библиографический список

1. Смирнов-Аляев, Г. А. Сопротивление металлов пластическому деформированию / Г.А. Смирнов-Аляев. – Л.: Машиностроение, 1978. – 386 с.

2. Дель, Г.Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твердости / Г.Д. Дель. – М.: Машиностроение, 1971. – 200 с.
3. Галкин, В.В. Развитие микроструктурного метода исследования конечных пластических деформаций / В.В. Галкин, С.А. Кудрявцев, Е.Г. Терещенко // Заготовительное производство. 2010. № 2. С. 22-24.

*Дата поступления
в редакцию 24.06.2010*

V.V.Galkin, S.A.Kudryavtsev, E.G. Tereshchenko, A.A. Derbenev

A METHOD FOR CALCULATING THE STRAIN STATE OF THE METAL FASTENERS IN MULTISTAGE COLD UPSETTING PROCESS

A method for calculating the strain state of the metal fasteners in multistage cold upsetting process is proposed for the fabrication of the nut with flange. The final value of the plastic deformation for selected area is defined as the arithmetic sum of intensities of deformation in that area at all stages. Calculation the intensity of microstructure deformation is carried out by the Smirnov-Alyaeв method. Tracking the movement of the areas in workpiece is made using software DEFORM. Evaluation of the reliability of the results is made by comparison with data obtained by measuring the microhardness of the material in selected areas of the workpiece at different stages

Key words: the calculation of the strain state, the intensity of microstructure deformation, selected areas of the workpiece at different stages.

УДК. 621.01

Б.А. Гордеев¹, К.В. Голубева², Г.В. Горсков², А.Н. Осмехин¹

САМОСИНХРОНИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ВИБРАЦИИ, КАК ПРИЧИНА ВОЗНИКНОВЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ БИЕНИЙ

Нижегородский филиал института машиноведения РАН¹,
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет²

В данной статье рассматриваются основные причины, вызывающие низкочастотные колебания строительных конструкций и предлагаются способы и устройства для их снижения. Приведены результаты исследований, проведенных в поверочной лаборатории НФ ИМАШ РАН. Рассмотрены различные методы снижения вибрации и, как следствие, устранение низкочастотных колебаний.

Ключевые слова: переходный процесс; синхронизация; вибрация ротора; гидравлическая опора; эксперимент.

Не подверженное действию внешних сил тело, вращающееся с постоянной угловой скоростью ω вокруг одной из своих главных центральных осей инерции, находится в состоянии динамического равновесия, характеризующегося равенством нулю главных вектора и момента неуравновешенных сил.

$$\sum F_i = \omega^2 \sum m_i r_i = \omega^2 \sum D_i = \omega^2 D = \omega^2 m_p e_{ct} = 0, \quad (1)$$

$$\sum M_i = \sum z_i \times F_i = \omega^2 \sum m_i r_i \times z_i = \omega^2 \sum D_i \times z_i = \omega^2 M_D = 0, \quad (2)$$

где m_i, r_i, D_i – соответственно неуравновешенная точечная масса, ее эксцентриситет и дисбаланс; $m_p = \sum m_i$ – масса; $e = \sum m_i r_i / m_p$ – эксцентриситет ротора; D, M_D – главный вектор и главный момент дисбалансов.

Для выполнения условия (1) необходимо и достаточно, чтобы ось вращения ротора проходила через его центр масс ($e_{ct} = 0$).

Для выполнения условия (2) необходимо и достаточно, чтобы ось вращения ротора совпадала с одной из его главных осей инерции, т. е. чтобы были равны нулю его центробежные моменты инерции.

При вращении ротора вокруг оси, не совпадающей с главной центральной осью инерции, он становится неуравновешенным.

Неуравновешенность — это состояние ротора, характеризующееся таким распределением масс, которое во время вращения вызывает переменные нагрузки на опорах ротора и его изгиб.

Мерой неуравновешенности считают дисбаланс D . Для сопоставления роторов различных масс вводят дисбаланс, численно равный эксцентриситету:

$$e_{cm} = D / m_p. \quad (3)$$

Виды неуравновешенности

1. Статическая неуравновешенность (см. рис. 1)

$$\lambda = F_2 / F_1 = 1,$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = 0,$$

$$\sum F_i = 2m_1 r_1 \omega^2 = m_p e_{cm} \omega^2 \neq 0. \quad (4)$$

Здесь и далее через φ_1 и φ_2 обозначены углы между векторами эквивалентных сил

неуравновешенности F_1 и F_2 и некоторой начальной осью, которая в рассматриваемом случае совмещена с вектором F_1 .

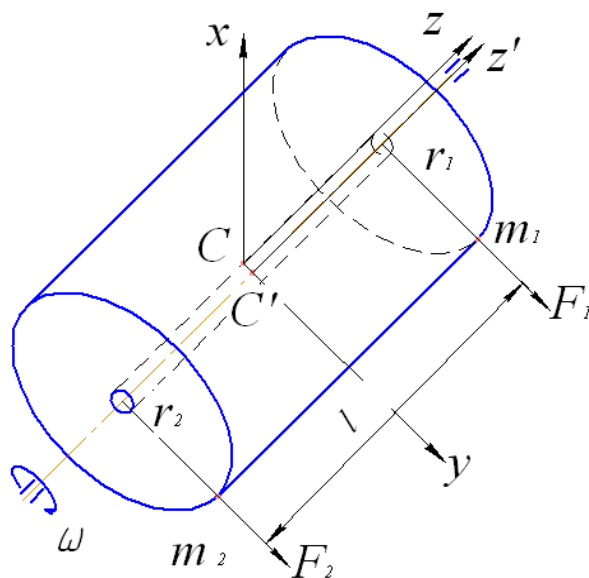


Рис. 1. Статическая неуравновешенность

При статической неуравновешенности оси z и z' параллельны. Эта неуравновешенность полностью определяется главным вектором дисбалансов D или эксцентриситетом e_{cm} .

2. Моментная неуравновешенность.

$$\begin{aligned} \lambda &= -1, \\ \varphi_1 &= 0, \\ \varphi_2 &= \pi, \end{aligned}$$

$$\sum F_i = m_p e_{cm} \omega^2 = 0, \tag{5}$$

$$\sum M_i = m_1 r_1 l \omega^2 = J_{xz} \neq 0. \tag{6}$$

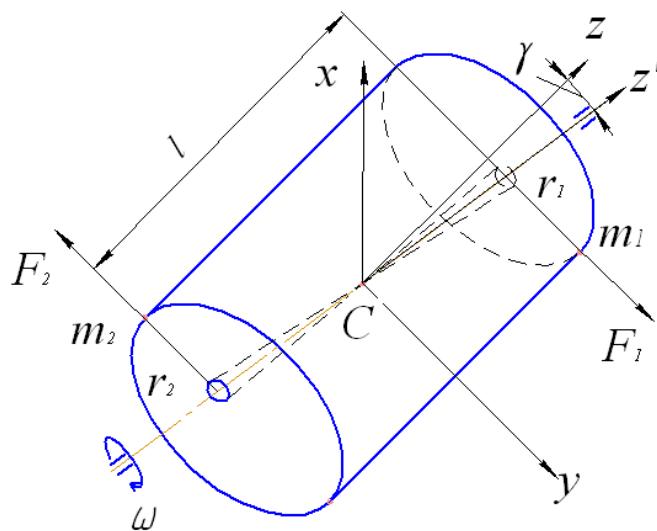


Рис. 2. Моментная неуравновешенность

При моментной неуравновешенности ось ротора и его главная центральная ось инерции пересекаются в центре масс (рис. 2). Моментная неуравновешенность полностью определяется главным моментом дисбалансов ротора M_D или его центробежными моментами инерции.

3. Динамическая неуравновешенность.

$$|\lambda| \neq 1, \varphi_1 = \varphi_2 = 0,$$

или

$$|\lambda| = 1, \varphi_1 = 0, \varphi_2 = 0 \text{ либо } \varphi_2 = \pi,$$

или

$$|\lambda| \neq 1, \varphi_1 = 0, \varphi_2 = \alpha, \alpha \neq 0 \neq \pi.$$

$$\sum F_i = m_1 r_1 \omega^2 \times \sqrt{1 - \lambda^2 + 2\lambda \cos \varphi_2} \neq 0, \tag{7}$$

$$A = [m_1 r_1 \lambda \sin(\varphi_2 - \varphi_C)]^2 + \left[\frac{\sum F_i \lambda \cos(\varphi_2 - \varphi_C) - \cos \varphi_C}{2\varphi^2 \lambda \cos(\varphi_2 - \varphi_C) + \cos \varphi_C} \right]^2. \tag{8}$$

При динамической неуравновешенности, состоящей из статической и моментной, ось ротора и его главная центральная ось инерции пересекаются не в центре масс ротора или перекрещиваются (рис. 3). Динамическая неуравновешенность определяется главными вектором и моментом дисбалансов ротора.

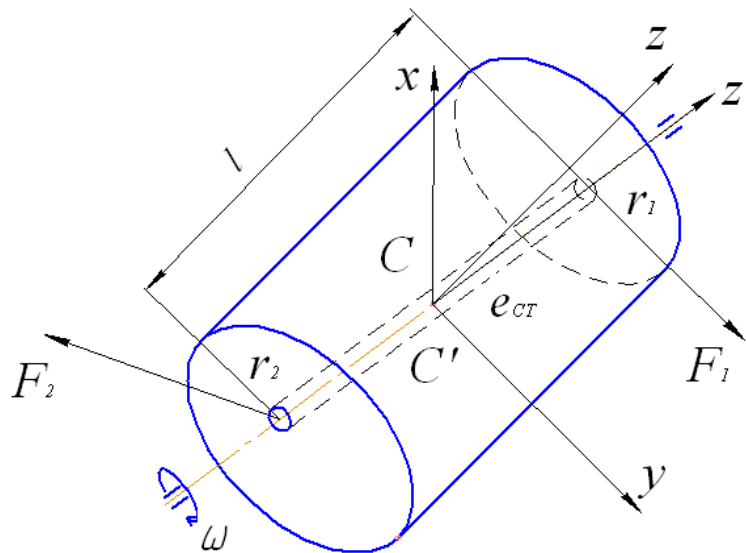


Рис. 3. Динамическая неуравновешенность

В любом из вариантов неуравновешенности ротора при его вращении возникают дополнительные перегрузки в подшипниках, являющиеся причиной возникновения вибраций, передающихся на опоры. Если на одном основании установлены несколько механизмов циклического действия, то в переходных режимах их работы возникают явления синхронизации частоты вращения роторов и биения. В задачах взаимодействия источника возбуждений с линейной одномассовой системой кроме уравнений колебаний необходимо рассматривать уравнения, которые описывали бы динамику источника возбуждения. Если источником является электродвигатель, а колебательная система, в первом приближении, одномассная, то при работе двигателя вращающийся ротор с радиусом дисбаланса r деформирует упругую связь c_1 , создавая силу $c_1 r \sin \varphi$ и момент $c_1 r \times r \sin \varphi \cos \varphi$. Колебания возбуждаются двига-

телом с моментной характеристикой $L(\varphi)$. Тогда уравнения движения можно представить в виде [1]:

$$m\ddot{x} + (c_1 + c_0)x = \varepsilon(c_1 r \sin \varphi - k\dot{x}), \quad (9)$$

$$I\ddot{\varphi} = \varepsilon[L(\dot{\varphi}) - H(\dot{\varphi}) + c_1 r(x - r \sin \varphi) \cos \varphi], \quad (10)$$

где φ - угол поворота ротора; x - перемещение колеблющейся массы; I - момент инерции вращающихся частей, приведенный к валу двигателя; $L(\dot{\varphi})$ - движущий момент; $H(\dot{\varphi})$ - момент сил сопротивления вращению,

$$\varepsilon = c_1 r^2 / I\Omega^2, \quad (11)$$

где Ω - угловая скорость вращения ротора двигателя.

Уравнение (10) описывает динамику источника возбуждения, т.е. вращение ротора двигателя. При $\varepsilon = 0$ уравнения (9) и (10) описывают колебания осциллятора и вращение ротора с постоянной угловой скоростью. При малых ε амплитуда колебаний a частота Ω и сдвиг фаз ϕ определяются из соотношений:

$$a = c_1 r / m \sqrt{4\omega^2(\omega - \Omega)^2 + k^2\omega^2 / m^2}, \quad (12)$$

$$\operatorname{ctg} \phi = k / 2m(\omega - \Omega), \quad (13)$$

$$L(\Omega) - S(\Omega) = 0, \quad (14)$$

$$S(\Omega) = H(\Omega) + k\omega a^2 / 2, \quad (15)$$

где функция $S(\Omega)$ характеризует момент сил сопротивления вращению вала двигателя.

Уравнение $L(\Omega) - S(\Omega) = 0$ - является уравнением динамического равновесия моментов, действующих на вал двигателя.

Необходимым условием устойчивости работы двигателя является выполнение неравенства:

$$\frac{d}{d\Omega} [L(\Omega) - S(\Omega)] < 0, \quad (16)$$

которое означает требование достаточной мощности двигателя. Это обусловливается ограниченной мощностью электродвигателя. При пуске электродвигателя потребляемая мощность возрастает и, как следствие, увеличивается крутизна характеристики $L(\Omega)$. При дальнейшем увеличении мощности происходит "срыв" колебаний. Потребляемая мощность снижается. Отмеченные эффекты вызывают синхронизацию частоты вращения ротора с частотой внешнего вибросигнала.

В тех случаях, когда опоры двигателя представляют нелинейные системы, а источником вибрационного сигнала является электродвигатель с неуравновешенным ротором, уравнения движения принимают следующий вид:

$$m\ddot{x} + cx = \varepsilon(mr\varphi^2 \cos \varphi + mr\dot{x} \sin \varphi - k\dot{x} - \gamma x^3), \quad (17)$$

$$I\ddot{\varphi} = \varepsilon[L(\varphi) - H(\varphi) + mr\dot{x} \sin \varphi]. \quad (18)$$

Малым параметром неуравновешенного ротора электродвигателя можно считать отношение несбалансированной массы к массе ротора m / m_1 . Амплитуда, сдвиг фаз и частота окolorезонансных колебаний в этом случае определяются из соотношений:

$$a = \frac{mr\Omega^2}{m_1 \sqrt{4\omega^2(\omega - \Omega)^2 + k^2\omega^2 / m_1^2}}, \quad (19)$$

$$\operatorname{tg} \phi = -\frac{k}{2m_1(\omega - \Omega)}, \quad (20)$$

$$L(\Omega) - S(\Omega) = 0, \quad (21)$$

$$S(\Omega) = H(\Omega) + \frac{k\omega^2 a^2}{2\Omega}. \quad (22)$$

где

Функция $S(\Omega)$ характеризует момент сил оказывающих сопротивление вращению ротора двигателя. В выражениях (19) – (21) не учитывались явления диссипации энергии колебаний в опорах ротора двигателя. Из выражений (19) – (21) следует, что амплитуду резонансных колебаний в переходных режимах можно уменьшить двумя путями:

- сократить время переходного процесса;
- обеспечить удовлетворительное демпфирование внешних и возникающих при разгоне вибрационных полей [3].

Поэтому, если снизить уровень вибрации хотя бы на 10 дБ, то время переходных процессов сократится, по крайней мере, вдвое, а энергопотребление уменьшится до 40% [1; 4].

Балансировка быстро вращающихся роторов (гибких роторов) в значительной степени влияет на долговечность их опор и конструктивных элементов и, таким образом, определяет надежность силового агрегата в целом. Применяемые на машиностроительных предприятиях технологические установки для балансировки основаны на применении стенов, в которых балансируемый ротор устанавливается на одной или двух подвижных виброопорах, каждая из которых связана с вибропреобразователем сигналов. Стенд снабжен импульсной лампой, которая управляется от электронной схемы выделения максимального уровня сигнала вибропреобразователя, в цепи которого встроены фильтры низких частот и индикатор-измеритель величины дисбаланса. Если число типов балансируемых на одном стенде роторов велико, то становится невозможным определение величины дисбаланса по показаниям аналогового индикатора. С другой стороны, колебания ротора на подвижных виброопорах зависят не только от величины дисбаланса, но и от неравномерных сил привода стенда. Последние определяют предельную разрешающую способность стенда по выделению малых величин дисбаланса.

Повысить точность балансировки можно несколькими способами. Первый реализуется простым увеличением частоты вращения ротора, с которым связано увеличение инерционных центробежных сил пропорционально квадрату частоты. Однако его трудно осуществить, если частота вращения была задана максимально допустимой исходя из прочности привода.

Второй способ - снизить величину помех привода. Его реализация, как правило, требует реконструкции механической основы стенда и часто неосуществима.

Третий способ заключается в возможности более тщательного анализа сигнала датчика колебаний с целью исключения влияния помех. Последние могут быть случайными и коррелированными с частотой вращения ротора. Алгоритмы обработки могут реализовываться аналоговыми фильтрами или численными методами. Аналоговые фильтры более быстродействующие. Численные алгоритмы обработки сигнала в отличие от аналоговых обладают неизменяемыми во времени характеристиками и возможностью их связи с базой данных по коэффициентам масштабирования амплитуды для каждого из объектов балансировки.

Во всех перечисленных способах необходимо снижать ошибки измерения вибрационных перегрузок.

Применение в качестве датчиков колебаний ультразвукового фазового вибропреобразователя позволяет снять эту проблему, а высокочастотные помехи, коррелированные с вибросигналом, не воспринимаются данным вибропреобразователем из-за малости их амплитуд перемещений.

В системах со многими источниками вибрации всегда возможна синхронизация на одной или нескольких частотах. Вследствие этого эффекта уровень виброактивности может резко возрасти. Для гашения повышенной вибрации необходимо, прежде всего, развязать между собой источники вибрации. Широко применяемые в настоящее время для гашения вибрации обычные резинометаллические демпферы не всегда удовлетворяют требованиям, предъявляемым в системах с повышенной виброактивностью. Поэтому усилия исследователей и разработчиков виброзащитных устройств в последнее время направлены на изыскание

способов гашения вибрации, основанных на иных физических принципах и на разработку соответствующих систем виброзащиты, в частности, управляемых гидравлических виброопор нового поколения. Принцип их действия основан на эффекте диссипации энергии колебаний в вязкоупругих средах с изменяющимися под действием внешних и внутренних электромагнитных полей магнитореологическими свойствами [5].

Таким образом, эффект синхронизации, проявляющийся при взаимодействии различных источников вибрации в механических системах, часто приводит к неточным измерениям. Одним из путей снижения вредного действия вибрации в энергоёмких системах является изолирование её источников друг от друга. Поскольку в производственных условиях не всегда представляется возможным пространственное их разделение, возникает необходимость гасить вибрации в самих источниках. Виброизолирующие устройства должны обладать широкой полосой настройки на различные частоты и повышенным ресурсом. Экспериментально установлено, что наиболее полно удовлетворяют данным требованиям гидравлические виброопоры с управляемыми магнитореологическими трансформаторами.

Работа выполняется при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 08-08-970557-Р Поволжье.

Библиографический список

1. Взаимодействие силового агрегата моторкомпрессора электровоза с вибрационными полями в переходных режимах / Б.А. Гордеев [и др.]. 2002. № 4. С. 105-111.
2. Пат. № 2104424 РФ. Гидравлическая виброопора // Гордеев Б.А., Весницкий А.И., Марков В.И., Аббакумов Е.И. Заявлено. № 96100147/28; заявл. 03.01.96; опубл. 10.02.98. Бюл. № 4.
3. Пат. РФ на полезную модель по заявке № 2004118550/22(020057) от 18.06.2004. Гидравлическая виброопора // Гордеев Б.А., Тумаков С.Ф., Перевезенцев В.Н., Ерофеев В.И., Федюнин П.Н.
4. Пат. РФ на полезную модель № 56979 по заявке №. Гидравлическая виброопора // Гордеев Б.А., Тумаков С.Ф.
5. Пат. №2307267 РФ. Гидравлическая виброопора // Гордеев Б.А., Тумаков С.Ф.; опубл. 27.09.2007. Бюл. № 27.
6. ОСТ Р ИСО/ТС 10811-1-2007 «Вибрация в помещениях с установленным оборудованием».

*Дата поступления
в редакцию 24.06.2010*

B.A. Gordeev, K.V. Golubeva, V.P. Gorskov, A.N. Osmekhin

SELF-SYNCHRONISATION OF VIBRATING SOURCES IS THE REASON OF OCCURRENCE LOW-FREQUENCY PALPATIONS

In given article the principal causes causing low-frequency fluctuations of building designs are considered and ways and devices for their decrease are offered. Results of the researches spent in testing laboratory and the Nizhniy Novgorod branch IMASH the Russian Academy of Sciences are resulted. Various methods of decrease in vibration and as consequence elimination of low-frequency fluctuations are considered.

Key words: transient process; synchronization; rotor vibrations; hydraulic dampers; experiment.

ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

УДК 621.039

С.С. Бородин, С.М. Дмитриев, М.А. Легчанов, А.В. Львов, Д.Н. Солнцев,
В.Д. Сорокин, А.Е. Хробостов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛОКАЛЬНОГО МАССООБМЕНА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТВС–КВАДРАТ РЕАКТОРОВ ТИПА PWR

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлены результаты и анализ экспериментальных данных по исследованию локального массообмена и гидродинамики потока теплоносителя в ТВС реакторов PWR с поясами перемешивающих решеток различной конструкции.

Ключевые слова: ядерный реактор, тепловыделяющая сборка, гидродинамика теплоносителя, межканальный массообмен, перемешивающая решетка.

Введение

Перспективным направлением развития атомной энергетики является создание реакторных установок, способных работать на более высоком уровне мощности и с повышенной безопасностью. Увеличение единичной мощности установки и вместе с тем безопасность реактора зависят от эффективной эксплуатации тепловыделяющих сборок.

Российская корпорация «ТВЭЛ» выходит на западный рынок ядерного топлива. В ОАО «ОКБМ Африкантов» проведены принципиально новые разработки тепловыделяющих сборок для реакторов типа PWR ТВС-КВАДРАТ (ТВС-К), конкурентоспособных с зарубежными аналогами по надежности, безопасности, экономичности и технологичности. В данной конструкции применяются перемешивающие дистанционирующие решетки (ПДР), которые турбулизируют поток и интенсифицируют теплообмен.

Для обоснования теплотехнической надежности активных зон РУ PWR при постановке ТВС-К с различными перемешивающими решетками необходимо определить влияние конструкции решеток на гидродинамику и массообмен потока теплоносителя. Оптимальная конструкции перемешивающей решетки требует поиска вариантов, обеспечивающих наиболее благоприятное сочетание таких параметров, как интенсивность перемешивания, гидравлические потери и запасы до кризиса теплоотдачи.

Экспериментальный стенд и методика проведения исследований

Учитывая сложность математического описания трехмерного течения жидкости в пучке твэлов, основным методом изучения массообмена и гидродинамики сборок и активных зон реакторов в целом является экспериментальное исследование масштабных и полно-размерных моделей кассет и активных зон на аэро- и гидродинамических стендах. Поэтому исследования локальных характеристик межъячеечного массообмена потока теплоносителя проводились на аэродинамическом экспериментальном стенде методом диффузии газового трассера на масштабной экспериментальной модели (ЭМ) (рис. 1), которая представляет со-

бой фрагмент ТВС-К реактора типа PWR. Она выполнена с коэффициентом геометрического подобия $K_g=4,2$ и состоит из квадратного чехла, двадцати пяти цилиндрических твэлов-имитаторов, поясов пластинчатых и перемешивающих дистанционирующих решеток.

Пояс перемешивающей дистанционирующей решетки (рис. 2) представляет из себя квадратную пластинчатую решетку, набранную из взаимно перпендикулярных пластин. Верхние кромки пластин каждой перемешивающей дистанционирующей решетки снабжены дефлекторами соответствующего типа 725 (высота 7 мм, угол отгиба 25°), 925 (высота 9 мм, угол отгиба 25°) и 7730 (высота 7,7 мм, угол 30°), и на каждый твэл приходится по два дефлектора, расположенных диагонально.

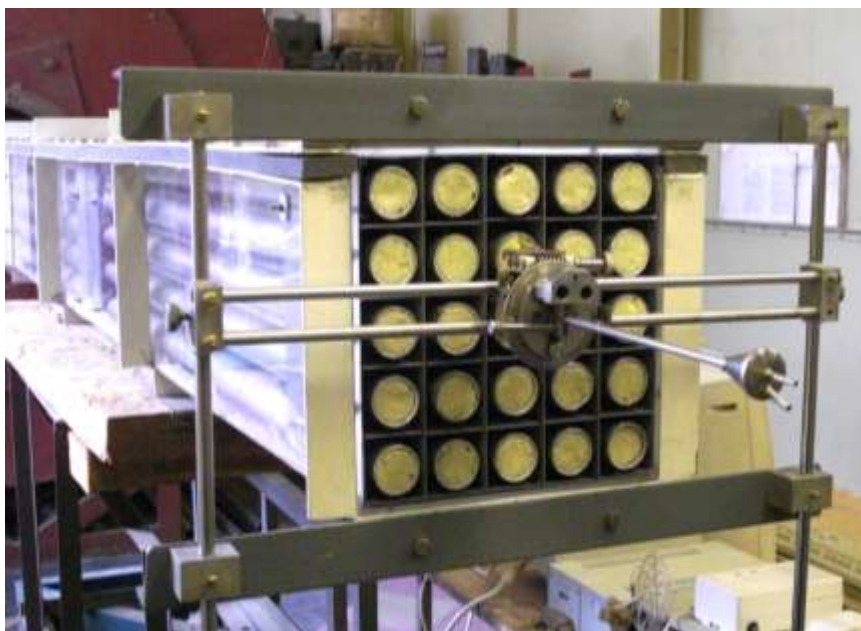


Рис. 1. Экспериментальная модель

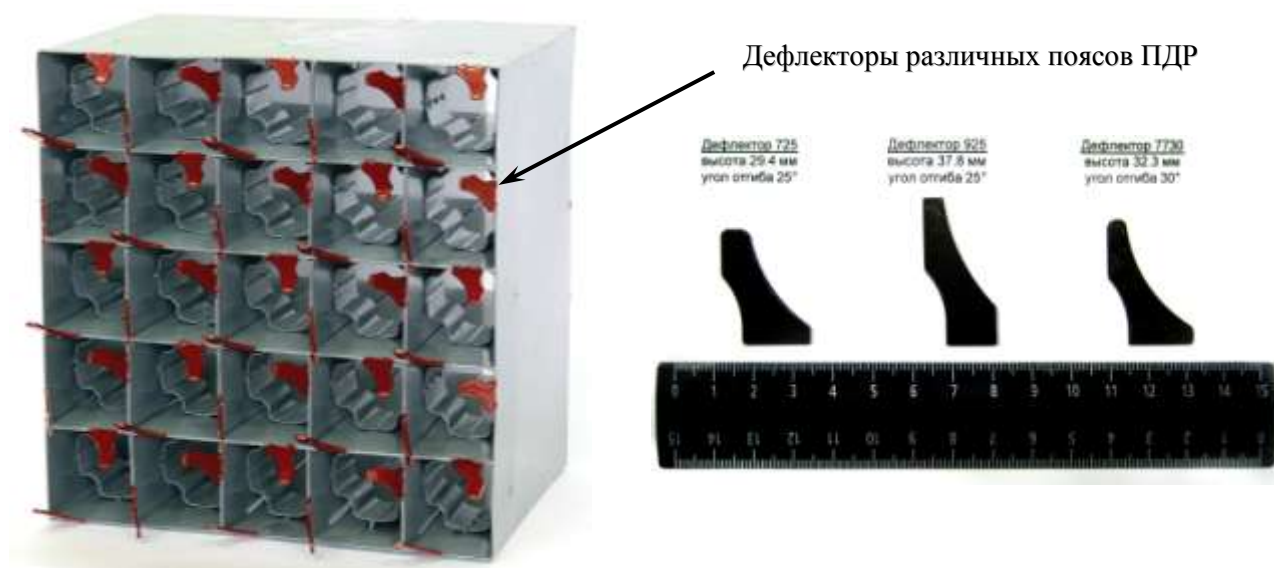


Рис. 2. Исследуемый пояс экспериментальной модели и различные типы дефлекторов

Для изучения массообмена теплоносителя сконструирован и изготовлен отборный зонд, позволяющий определять значения осевой скорости, статического и полного давлений в исследуемой точке, а также одновременно выполняющий функцию транспортного газопровода для пробы трассера в газоанализатор. Для измерения концентрации углеводородов C_nH_m в газо-воздушной смеси использовался газоанализатор, принцип работы которого основан на измерении величины погло-

щения инфракрасного излучения. Для управления и постоянного мониторинга экспериментальных данных, получаемых газоанализатором, разработан программный комплекс «ТРАССЕР – П». В программном комплексе реализованы возможности построения графика изменения концентрации в зависимости от времени, а также непосредственный мониторинг динамики изменения концентрации в режиме реального времени и записи значений в файл.

Для обоснования представительности экспериментальных исследований гидродинамики и массообмена в модели фрагмента ТВС-К необходимо соблюдение равенства местного гидравлического сопротивления натуральных перемешивающих дистанционирующих решеток и перемешивающих дистанционирующих решеток экспериментальной модели. На рис. 3 приведены зависимости коэффициента местного гидравлического сопротивления поясов перемешивающих решеток экспериментальной модели от числа Re . По результатам проведенных исследований значения коэффициента гидравлического сопротивления перемешивающих решеток с различными типами дефлекторов в зоне автомодельного течения составили:

- для ПДР с дефлектором типа 725 $\xi_{ПДР} = 1,05$;
- для ПДР с дефлектором типа 925 $\xi_{ПДР} = 1,1$;
- для ПДР с дефлектором типа 7730 $\xi_{ПДР} = 1,135$.

Полученные значения соответствуют гидравлическому сопротивлению натуральных перемешивающих дистанционирующих решеток.

Все экспериментальные исследования проводились в диапазоне чисел Re от $8 \cdot 10^4$ до 10^5 на участке автомодельного течения теплоносителя, что подтверждено соответствующими исследованиями.

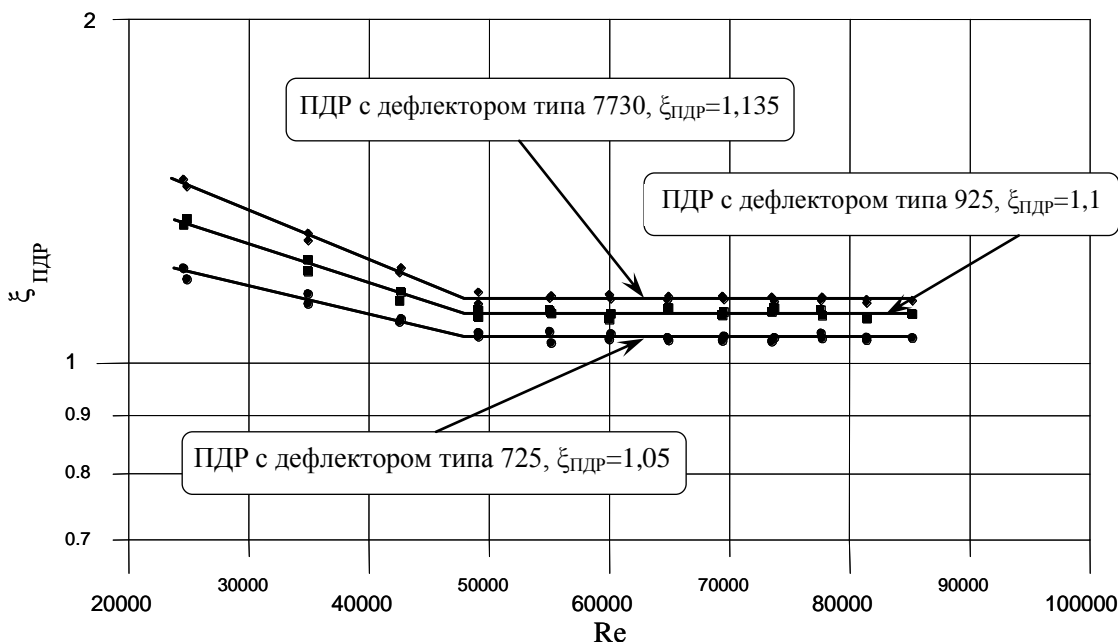


Рис. 3. Зависимость коэффициента местного гидравлического сопротивления поясов перемешивающих дистанционирующих решеток от числа Re

Результаты исследований распределения концентрации трассера в модели фрагмента ТВС-КВАДРАТ при постановке перемешивающих решеток с различными типами дефлекторов

На основе полученных данных были построены графики зависимости концентрации трассера по длине экспериментальной модели от относительной координаты для характерных зон поперечного сечения (рис. 4) при постановке поясов перемешивающих решеток с различными дефлекторами и картограммы, позволяющие визуально оценить распределение газа в поперечном сечении и по длине ЭМ.

Рассмотрев, как изменяется концентрация трассера из зоны №20 в соседние ячейки (рис. 5), можно отметить, что за дефлекторами перемешивающей дистанционирующей решетки происходит направленное, постепенно затухающее движение трассера, обусловленное соответствующим расположением дефлекторов.

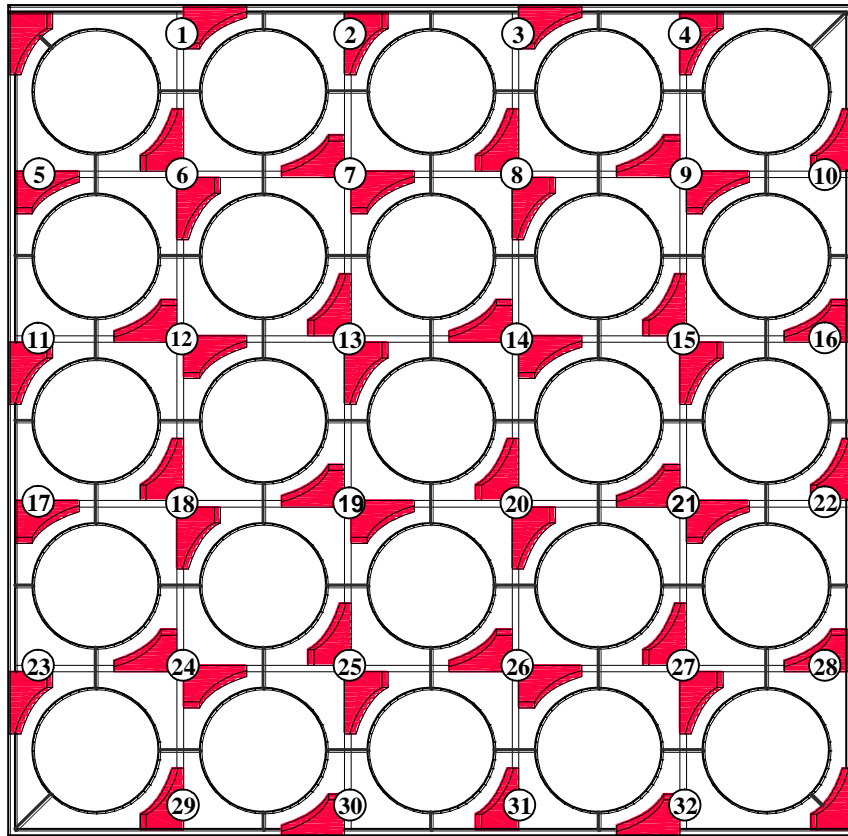


Рис. 4. Расположение зон измерения в поперечном сечении ЭМ с ПДР

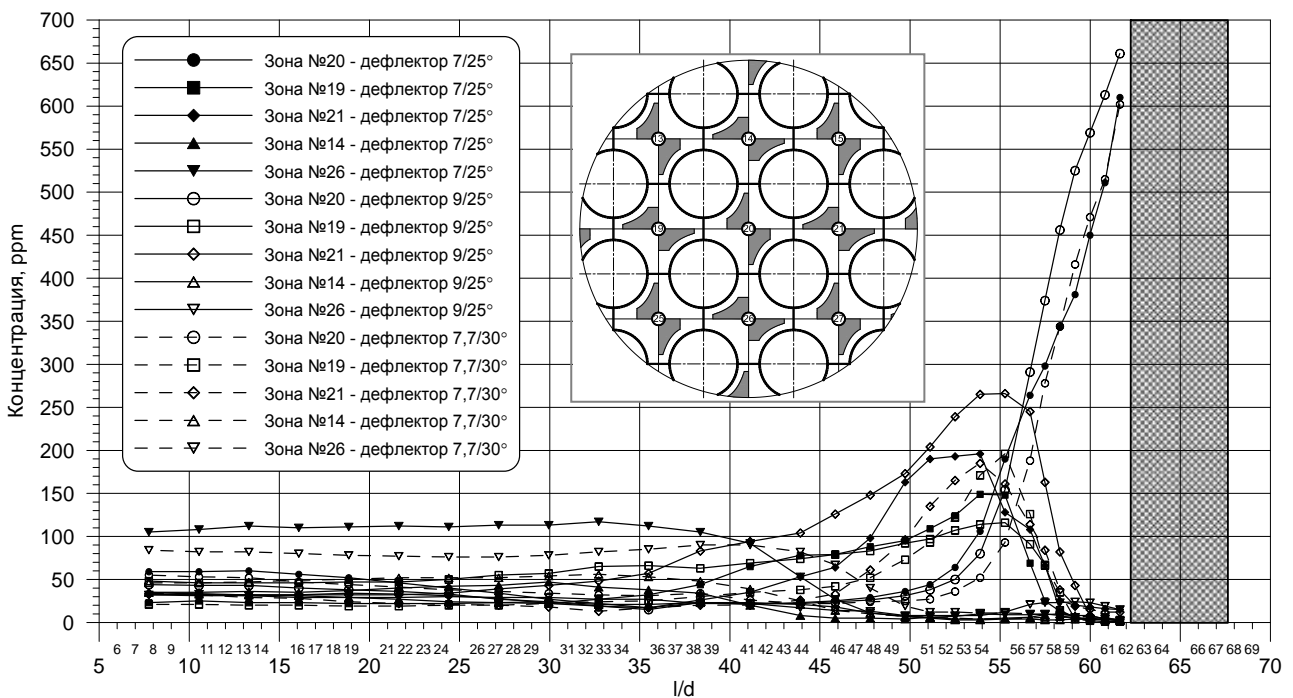


Рис. 5. Распределение концентрации трассера по длине экспериментальной модели для характерных зон при постановке ПДР с дефлекторами различных типов

Экспериментально определено, что не весь поток теплоносителя движется в направлении, определенном дефлектором. Часть трассера передается в соседние ячейки за счет турбулентного массообмена, имеющего значительно большую величину за ПДР, вследствие дополнительной турбулизации потока.

За решеткой перемешивающие свойства ПДР снижаются вследствие уменьшения поперечных составляющих скорости, а интенсивность массообмена определяется степенью повышения турбулентности потока за решеткой. Наличие турбулентного трения приводит к диссипации энергии движения потока, что быстро уменьшает интенсивность поперечных конвективных течений, создаваемых дефлекторами решетки, но при этом сама исследуемая решетка создает достаточно высокую интенсивность перемешивания за счет конвективного переноса на выходе из ПДР.

Затухание возмущений массообменных процессов за перемешивающей дистанционирующей решеткой происходит на расстояниях:

- а) для ПДР с дефлектором типа 725 (высота 7 мм, угол отгиба 25°) – $\Delta l/d=23-25$;
- б) для ПДР с дефлектором типа 925 (высота 9 мм, угол отгиба 25°) – $\Delta l/d=25-27$;
- в) для ПДР с дефлектором типа 7730 (высота 7,7 мм, угол отгиба 30°) – $\Delta l/d=24-26$.

Эти значения соответствуют длинам затухания возмущений в ЭМ с поясом ПДР, в то время как затухание поперечных скоростей потока за турбулизирующими дефлекторами происходит на значительно меньшем расстоянии. Конвективные потоки, создаваемые дефлекторами, также турбулизируют течение за перемешивающей решеткой. Это способствует увеличению диффузионного массообмена за поясом ПДР.

На рис. 6 – рис. 8 показано распределение концентрации трассера в выходных сечениях по длине экспериментальной модели при постановке поясов ПДР. Из данных картограмм видно, что ПДР с дефлектором типа 925 имеет более равномерное распространение концентрации пропана в поперечном сечении ЭМ на значительном расстоянии от решетки.

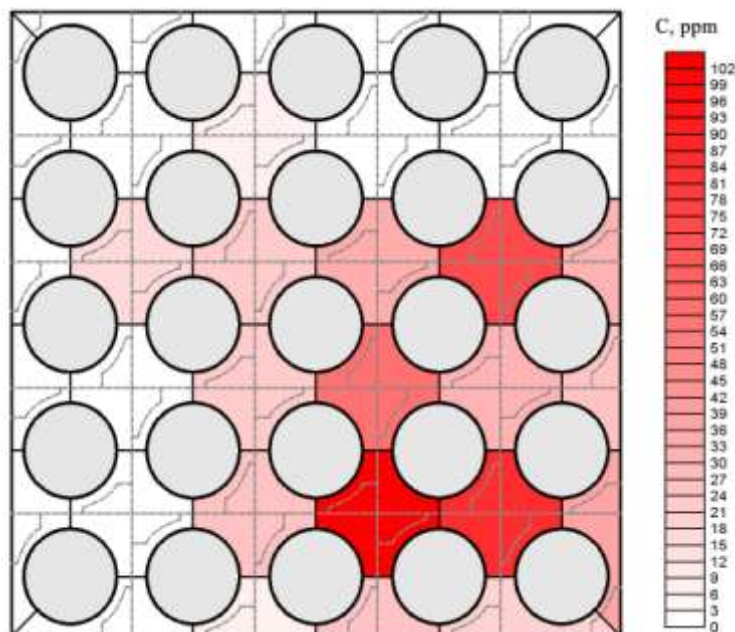


Рис. 6. Картограмма распределения концентрации трассера в выходном сечении ЭМ при постановке ПДР с дефлекторами типа 725

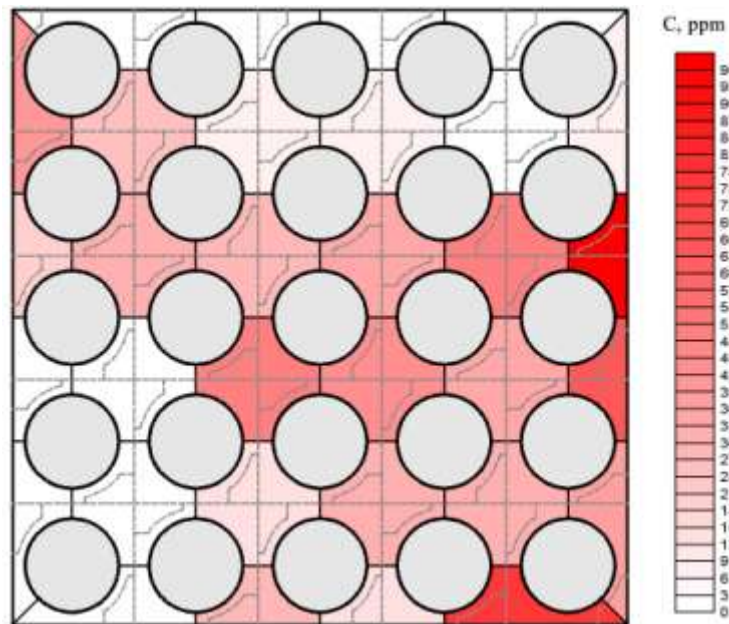


Рис. 7. Картограмма распределения концентрации трассера в выходном сечении ЭМ при постановке ПДР с дефлекторами типа 925

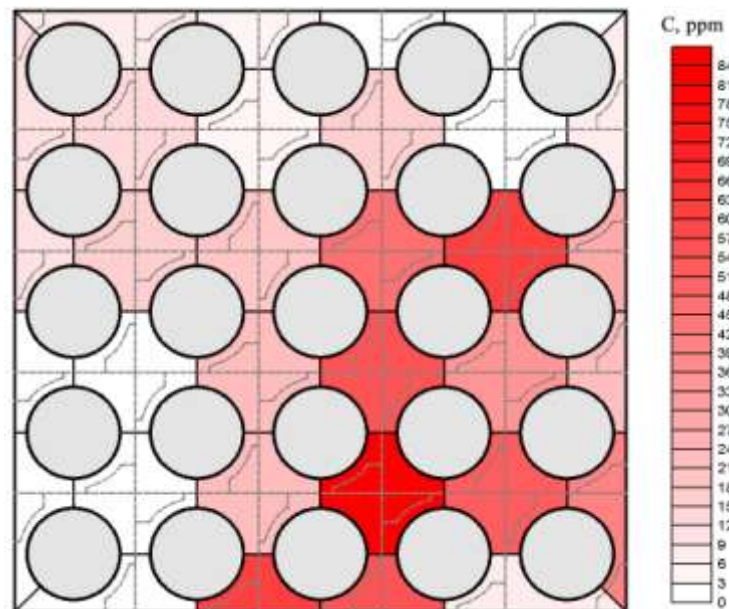


Рис. 8. Картограмма распределения концентрации трассера в выходном сечении ЭМ при постановке ПДР с дефлекторами типа 7730

Выводы

На основе комплексного анализа экспериментальных данных по исследованию характеристик межъячеечного массообмена и гидродинамики потока теплоносителя в ТВС-КВАДРАТ с перемешивающими дистанционирующими решетками с дефлекторами различных типов сделаны следующие выводы:

1. За дефлекторами перемешивающей дистанционирующей решетки происходит направленное, постепенно затухающее движение трассера, обусловленное соответствующим расположением дефлекторов.
2. Экспериментально определено, что не весь поток теплоносителя движется в направлении, определенном дефлектором. Часть трассера передается в соседние ячейки за счет

турбулентного массообмена, имеющего значительно большую величину за перемешивающей дистанционирующей решеткой вследствие дополнительной турбулизации потока.

3. Определены расстояния, на которых происходит эффективное перемешивание трассера в поперечном сечении для перемешивающих дистанционирующих решеток различного конструктивного исполнения, и они составляют:

- а) для ПДР с дефлектором типа 725 – $\Delta l/d=23-25$;
- б) для ПДР с дефлектором типа 925 – $\Delta l/d=25-27$;
- в) для ПДР с дефлектором типа 7730 – $\Delta l/d=24-26$.

4. Затухание возмущений массообменных процессов за перемешивающей решеткой происходит на большем расстоянии по сравнению с затуханием поперечных скоростей потока, возникающих за турбулизирующими дефлекторами.

5. Распределение концентрации трассера в выходном сечении экспериментальной модели при постановке перемешивающих дистанционирующих решеток с различными типами дефлекторов позволяет заключить, что ПДР с дефлектором типа 925 имеет более равномерное распространение концентрации пропана в поперечном сечении экспериментальной модели на значительном расстоянии от решетки.

Полученные результаты используют для расчета эффективности перемешивающих дистанционирующих решеток, нахождения коэффициентов турбулентного и эффективного межъячеечного массообмена в программах поячеечного расчета активных зон реакторов PWR и являются базой данных при расчетах теплотехнической надежности активных зон с ТВС-К.

*Дата поступления
в редакцию 17.06.2010*

**S.S. Borodin, S.M. Dmitriev, M.A. Legchanov, A.V. Lvov, D.N. Solntsev,
V.D. Sorokin, A.E. Khrobostov**

LOCAL MASS EXCHANGE EXPERIMENTAL RESEARCHES OF THE HEAT CARRIER IN FUEL ASSEMBLY OF PWR REACTORS

The results and analysis of experimental data on investigation of the local mass exchange and hydrodynamics of coolant in alternative fuel assembly of reactor PWR at use different construction.

Key words: nuclear reactor, fuel assembly, hydrodynamics of heat carrier, mass exchange, mixing grid.

УДК 621.039.533; 621.81-25.001.4

И.В. Друмов, А.В. Ходыкин

**РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗГОНА РОТОРА ТУРБОМАШИНЫ
В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОДШИПНИКАХ**

ОАО «Опытное конструкторское бюро машиностроения им. И.И. Африкантова»

В работе приведены результаты расчетных исследований разгона ротора турбомашин в электромагнитных подшипниках. При этом оценивается величина дифференциального коэффициента регулятора, при которой обеспечивается отсутствие касания ротором страховочного подшипника. Кроме того, показывается возможность за счет изменения дифференциального коэффициента регулятора исключить нелинейные эффекты системы.

Ключевые слова: электромагнитный подшипник, турбомашин, ротор, дифференциальный коэффициент, разгон.

Введение

В рамках проекта высокотемпературного гелиевого реактора с прямым газотурбинным циклом ГТ-МГР ОАО «ОКБМ Африкантов» [1] проводятся исследования движения ротора турбомашин на электромагнитном подвесе. Вертикальный ротор турбомашин общей массой 65 тонн состоит из роторов генератора и турбокомпрессора, соединенных между собой диафрагменной муфтой. Каждый из роторов имеет по две собственные изгибные резонансные частоты. Наличие изгибных частот, большая масса (вес ротора генератора составляет 35 тонн) при частоте вращения до 73 с^{-1} , высокие требования надежности, гелиевое охлаждение существенно отличают конструкцию турбомашин от других известных машин, в которых достаточно широко применяются ЭМП. Необходимость снижения степени риска изготовления подобной турбомашин предопределяет необходимость всесторонних исследований динамики ротора на электромагнитном подвесе - аналитическими методами, расчетами и экспериментами на моделях различного масштаба и в составе полномасштабного турбокомпрессора.

В методическом плане исследования ведутся от наиболее простых к постепенно усложняющимся расчетным моделям. При этом исследования динамики ротора на электромагнитных подшипниках целесообразно проводить по моделям, учитывающим основные нелинейности. Из литературных источников [2-4] известно, что основными нелинейностями, приводящими к неоднозначности зависимости амплитуды вынужденных колебаний от частоты гармонической вынуждающей силы (т.е. качественное изменение динамики ротора), являются нелинейная зависимость силы электромагнита от управляющего тока. При этом наличие неоднозначности амплитуды колебаний ротора может приводить к значительному повышению данной амплитуды, вызывающее касание ротором страховочного подшипника.

Данные, полученные расчетным путем, сопоставляются с экспериментальными данными, проводится верификация расчетных программ, а наиболее важные части уточняются на более сложных физических моделях.

С целью верификации расчетных программ созданы два исследовательских стенда: маломасштабная модель ротора турбомашин, имитирующая некоторые условия его эксплуатации; масштабная модель ротора турбомашин массой 1100 кг, которая позволяет расширить возможности получения экспериментальных данных по электромагнитному подвесу.

Главной задачей расчетных исследований на сегодня является определение возможности разгона ротора до номинальных оборотов без касания страховочных подшипников и условий, при которых это реализуется. При этом исследуется зависимость амплитуды вынужденных колебаний ротора под воздействием вынуждающей силы (при разных настроечных параметрах регуляторов). Определяются величины настроечных коэффициентов регуляторов, при которых отсутствует неоднозначность зависимости амплитуды колебаний от частоты.

1. Нелинейная математическая модель ротора и системы управления электромагнитным подшипником

Модель одно-массового ротора без токов смещения и с учетом выражения для пропорционально-дифференциального регулятора имеет вид [1,5]:

$$m\ddot{x} = \frac{L_0 S_0}{2} \cdot \begin{cases} -\frac{(\kappa_n x + \kappa_d \dot{x})^2}{(S_0 + x)^2}, & \text{если } \kappa_n x + \kappa_d \dot{x} > 0 \\ \frac{(\kappa_n x + \kappa_d \dot{x})^2}{(S_0 - x)^2}, & \text{если } \kappa_n x + \kappa_d \dot{x} < 0, \end{cases} \quad (1)$$

где m - масса ротора; S_0 - номинальный воздушный зазор при центральном положении ротора; L_0 - индуктивность электромагнитов при центральном положении ротора; x - смещение ротора из центрального положения; κ_n - пропорциональный коэффициент пропорционально-дифференциального регулятора; κ_d - дифференциальный коэффициент пропорционально-дифференциального регулятора.

Исходное уравнение (1) динамики ротора исследуется при воздействии сил дисбаланса. Уравнение (1), с учетом предположения: $(S_0 \pm x)^2 \approx S_0^2$ (данное предположение справедливо для смещений ротора в пределах всего воздушного зазора, поскольку, характеристика «сила-смещение» при воздушном зазоре больше S_0 имеет пологий вид), преобразуется к виду

$$m\ddot{x} = -\frac{L_0}{2S_0} \cdot [|\kappa_n x + \kappa_d \dot{x}|(\kappa_n x + \kappa_d \dot{x})] + A_g \cdot e^{-j\omega t}, \quad (2)$$

где A_g - амплитуда внешнего воздействия; ω - частота вращения ротора.

Таким образом, в уравнении системы (2) отсутствует линейный член. Для исследований в данной работе используется метод гармонической линеаризации [2], поскольку он не требует малого значения нелинейности, но требует, чтобы колебания ротора были бы близки к гармоническим. Это имеет место при гармоническом возмущении – дисбалансе.

2. Исследование исходного уравнения методом гармонической линеаризации

Метод гармонической линеаризации позволяет исследовать вынужденные колебания ротора. Структурная схема неавтономной системы представлена на рис. 1.

Передаточную характеристику замкнутой цепи можно записать следующим образом:

$$1 + W(p)W_h(A)x(t) = W(p)g(t), \quad (3)$$

где $W_h(p)$ - передаточная характеристика гармонически линеаризованной отрицательной обратной связи.

Гармонически линеаризованное уравнение (3) может быть переписано следующим образом:

$$\frac{x(t)}{g(t)} = \frac{W(p)}{1 + W(p)W_h(A)}. \quad (4)$$

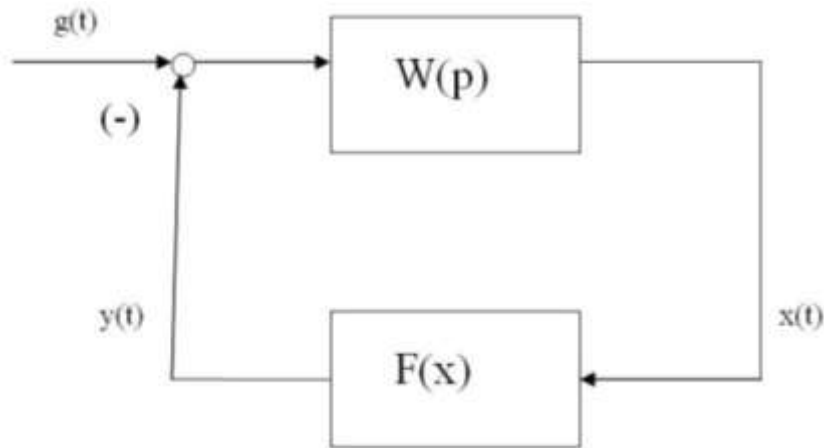


Рис. 1. Блок-диаграмма неавтономной системы с отрицательной обратной связью:

$W(p)$ - передаточная функция объекта управления; $x(t)$ - перемещение ротора;
 $g(t)$ - внешняя периодическая сила (например, дисбалансная периодическая сила);
 $F(x)$ - нелинейная зависимость между силой и перемещением в цепи обратной
 связи регулятора; p - параметр преобразования ($p = j\omega$)

Примем входной и выходной сигналы в комплексной форме:

$$g(t) = A_g e^{-j\omega t}, \quad (5)$$

$$x(t) = A e^{-j(\omega t + \phi)}. \quad (6)$$

Тогда уравнение (4) дает

$$\frac{A_g}{A} e^{-j\phi} = W^{-1}(j\omega) + W_h(A) \quad (7)$$

или

$$\frac{A_g}{A} = |W^{-1}(j\omega) + W_h(A)|. \quad (8)$$

В соответствии с методом гармонической линейризации решение ищем в виде $x = A \sin(\omega t)$, где A - амплитуда периодического решения; ω - частота периодического решения; t - текущее время.

Разложим нелинейный член в уравнении (2) в ряд Фурье и ограничимся только первым членом разложения. Это справедливо, так как ротор представляет собой фильтр низких частот. При этом коэффициенты гармонической линейризации равны:

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{k}{\pi A} \int_0^{2\pi} |k_n x + k_d \dot{x}| (k_n x + k_d \dot{x}) \sin u \, du = \\ &= \frac{A k}{\pi} \int_0^{2\pi} |k_n \sin \tau + k_d \omega \cos \tau| (k_n \sin \tau + k_d \omega \cos \tau) \sin u \, du = \\ &= \frac{A k}{\pi} \int_0^{2\pi} (k_n^2 + \omega^2 k_d^2) |\sin u| \sin^2 u \, du = \frac{8 A k}{3 \pi} (k_n^2 + \omega^2 k_d^2), \end{aligned} \quad (9)$$

$$q_1' = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} |k_n x + k_d \dot{x}| (k_n x + k_d \dot{x}) \cos u \, du = 0, \quad (10)$$

где $\tau = \omega t$, $u = \tau + \Delta\tau$, $\arcsin \Delta\tau = \frac{k_d \omega}{\sqrt{k_n^2 + k_d^2 \omega^2}}$, $\arccos \Delta\tau = \frac{k_n}{\sqrt{k_n^2 + k_d^2 \omega^2}}$, $k = L_0 / 2S_0$.

Передаточная функция гармонически линеаризованной обратной связи

$$W_h(j\omega) = \frac{(k_n^2 + k_d^2 \omega^2) \frac{8Ak}{3\pi} \sin u}{\sin \tau} = \frac{\sqrt{(k_n^2 + k_d^2 \omega^2)} \frac{8Ak}{3\pi} (k_n \sin \tau + k_d \omega \cos \tau)}{\sin \tau} = \quad (11)$$

$$= \sqrt{(k_n^2 + k_d^2 \omega^2)} \frac{8Ak}{3\pi} (k_n + k_d p) = \sqrt{(k_n^2 + k_d^2 \omega^2)} \frac{8Ak}{3\pi} (k_n + k_d j\omega).$$

В соответствии с уравнением (2) передаточная функция объекта управления

$$W^{-1}(j\omega) = -m\omega^2. \quad (12)$$

Таким образом, при $A_g = m\omega^2$ уравнение (8) может быть представлено в следующей форме:

$$\frac{m\omega^2}{A} = \left| -m\omega^2 + \sqrt{(k_n^2 + k_d^2 \omega^2)} \frac{8Ak}{3\pi} (k_n + k_d j\omega) \right|, \quad (13)$$

где me - величина дисбаланса.

$$\begin{aligned} (m\omega^2)^2 &= A^2 m^2 \omega^4 - 2m\omega^2 \sqrt{(k_n^2 + k_d^2 \omega^2)} \frac{8A^3 k}{3\pi} k_n + (k_n^2 + k_d^2 \omega^2) \left(\frac{8k}{3\pi} k_n\right)^2 A^4 + \\ &+ (k_d^2 (k_n^2 + k_d^2 \omega^2) \left(\frac{8k}{3\pi} \omega\right)^2 A^4. \end{aligned}$$

Исходное уравнение для анализа имеет вид

$$[(k_n^2 + k_d^2 \omega^2)^2 \left(\frac{8k}{3\pi}\right)^2] A^4 - 2m\omega^2 \sqrt{(k_n^2 + k_d^2 \omega^2)} \frac{8k}{3\pi} k_n A^3 + m^2 \omega^4 A^2 - (m\omega^2)^2 = 0. \quad (14)$$

Исследования исходного уравнения проводились с помощью прикладного математического пакета MATHCAD (так как уравнение (14) не разрешается относительно амплитуды периодического решения A) численным образом для параметров модели ротора турбомашин (при вариации ω и дифференциального коэффициента k_d): $me = 2.5 \cdot 10^{-3}$ кгм (величина дисбаланса).

На рис. 2 приведена зависимость амплитуды (A) периодического решения от частоты вынуждающей силы (ω) при варьировании дифференциального коэффициента.

Как видно из рис. 2:

- при малом (в рамках проведенного исследования) значении дифференциального коэффициента 0.01 А·с/м на средних частотах, начиная с 30 Гц, резонансная кривая имеет неоднозначный вид и существуют устойчивое и неустойчивое периодические решения;
- при большом (в рамках проведенного исследования) значении дифференциального коэффициента 5 А·с/м резонансная кривая имеет однозначный вид и существуют только устойчивые периодические решения;
- значение дифференциального коэффициента, равное 1 А·с/м, является найденным в процессе исследования граничным значением, при котором резонансная кривая имеет неоднозначный вид, ниже которого существуют только устойчивые периодические решения, а выше - устойчивое и неустойчивое периодические решения.

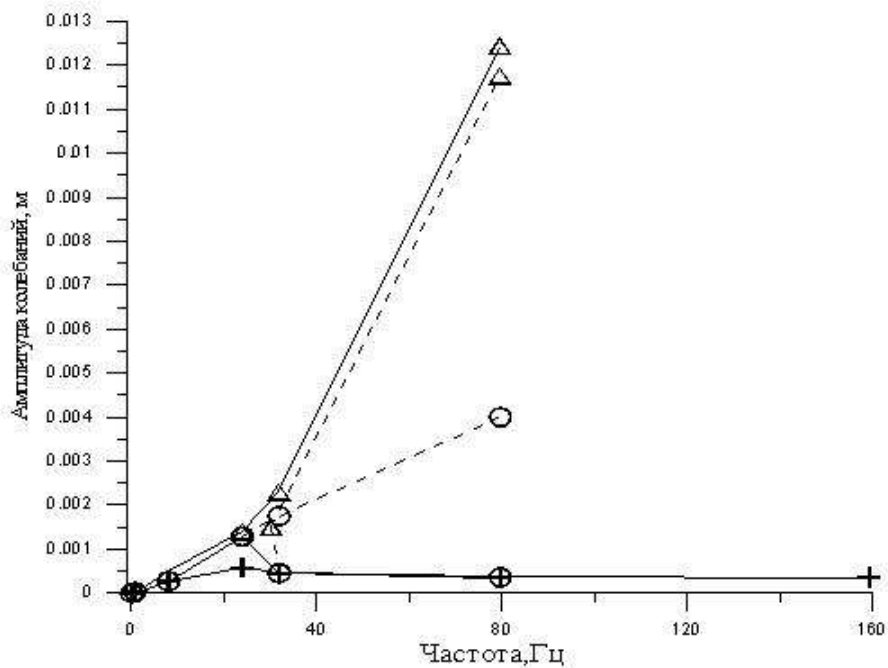


Рис. 2. Зависимость амплитуды периодического решения от частоты возбуждающей силы при различных k_d :

- +— - устойчивое периодическое решение при большом значении дифференциального коэффициента (5 А·с/м);
- - устойчивое периодическое решение при среднем значении дифференциального коэффициента (1 А·с/м);
- ⊖— - неустойчивое периодическое решение при среднем значении дифференциального коэффициента (1 А·с/м);
- △— - устойчивое периодическое решение при малом значении дифференциального коэффициента (0,01 А·с/м);
- △— - устойчивое периодическое решение при малом значении дифференциального коэффициента (0,01 А·с/м)

Выводы

Активный магнитный подшипник имеет несколько нелинейностей, которые должны быть учтены при математическом моделировании. Основная из них, квадратичная зависимость силы электромагнита от тока. Представленная математическая модель включает данную нелинейность. Анализ математической модели проводился методом гармонической линеаризации и позволил определить как устойчивые периодические решения, так и неустойчивые. В результате анализа получено следующее:

- 1) на частоте вынуждающей силы выше 30 Гц и при k_d менее 1 А·с/м наблюдается неоднозначность амплитуды колебаний ротора, появление двух устойчивых периодических решений и одного неустойчивого периодического решения;
- 2) при любых параметрах системы до 30 Гц наблюдается только одно устойчивое периодическое решение;
- 3) когда частота вынуждающей силы превышает 30 Гц, наблюдаются явления скачков;
- 4) наличие неоднозначности амплитуды и величина амплитуды зависят от k_d ;
- 5) при частоте выше 30 Гц и $k_d < 1$ А·с/м из-за наличия эффектов скачков возможно касание ротором страховочного подшипника;
- 6) при $k_d > 1$ А·с/м отсутствуют неоднозначность амплитуды и, следовательно, явления скачков.

Библиографический список

1. Расчетно-аналитические исследования процессов в электромагнитных подшипниках при вывешивании ротора турбомшины / Ф.М. Митенков [и др.] // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2008. № 1. С. 87–90
2. **Горяченко, В.Д.** Элементы теории колебаний / В.Д. Горяченко. – М.: Высш. шк., 2001. – 395 с.
3. **Попов, Е.П.** Прикладная теория процессов управления в нелинейных системах / Е.П. Попов. – М.: Наука, 1973. – 584 с.
4. Вибрации в технике: справочник: в 2 т. Т. 2. Колебания нелинейных механических систем / И.И. Блехман [и др.]; под ред. И.И. Блехмана. – М.: Машиностроение, 1979. – 351 с.
5. Обоснование устойчивости полного электромагнитного подвеса / В.С. Востоков [и др.] // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2008. №2. С. 28-32

*Дата поступления
в редакцию 17.06.2010*

I.V. Drumov, A.V. Hodykin

ANALYTICAL STUDIES OF TM ROTOR ACCELERATION IN ELECTROMAGNETIC BEARINGS

The paper contains the results of analytical studies of turbomachine (TM) rotor acceleration on electromagnetic bearings (EMB). The controller differential coefficient value which prevents the rotor touchdown on catcher bearings is estimated. Besides, the possibility of excluding system non-linear effects by changing controller differential coefficient is shown.

Key words: electromagnetic bearing, turbomachine, rotor, differential coefficient, acceleration.

УДК 621.039.55 + 621.039.312.45

С.М. Дмитриев¹, В.А. Малышев¹, М.С. Осипов², В.В. Самусенков²

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРОВ-ФИЗИКОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
ОАО «Опытное конструкторское бюро машиностроения им. И.И. Африкантова»²

Рассмотрен проект универсального нейтронного конвертора - исследовательской установки, предназначенной для обеспечения заданного (стандартного) значения плотности потока тепловых и замедляющихся нейтронов. Приведен краткий структурный анализ развития конструкции при реализации научно-инженерного подхода к проектированию. Освещены особенности конструкции, этапы создания и научно-практическая ценность изделия.

Ключевые слова: нейтронная физика, детекторы, активационный метод, измерения, нейтронный конвертор, конструкция.

Введение

Базовым учебным заведением, готовящим кадры для ОАО «ОКБМ Африкантов», является Институт ядерной энергетики и технической физики (ИЯЭ и ТФ), входящий в состав Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. В связи с интенсивным развитием ядерной энергетики повышаются требования к качеству подготовки специалистов и формированию соответствующих компетенций. В рамках создания экспериментально-стендовой базы для подготовки инженеров-физиков поставлена задача по созданию универсального нейтронного конвертора - устройства для конвертирования быстрых нейтронов изотопных источников в потоки тепловых (термализованных) и замедляющихся нейтронов с заданными спектральными параметрами общепринятой двухкомпонентной модели энергетического распределения (например, таких, как эффективная температура нейтронного газа $T_{\text{эфф}}^{н.г}$ и параметр отклонения спектра замедляющихся нейтронов от закона $1/E$) [1, 2].

Основное назначение универсального нейтронного конвертора – сличение и калибровка (по эффективности регистрации) различных типов детекторов в потоках тепловых и замедляющихся нейтронов: ионизационных камер, камер деления, борных счетчиков, активационных и трековых детекторов (мишеней) и т. п., используемых в исследованиях на подкритических, критических стендах, ядерно-физических установках и энергетических реакторах – как в рамках обучения будущих специалистов, так и в рамках выполнения научно-практических задач [1–6].

Кроме того, универсальный нейтронный конвертор должен обеспечивать возможность выполнения других исследовательских и практических работ, таких как определение изотопного состава делящихся материалов активационным методом и методом подсветки нейтронами с низкоэнергетическим спектром.

При проектировании универсального нейтронного конвертора учитывалось, что его устройство должно отвечать требованиям по безопасности в соответствии с действующей нормативной документацией.

Принципиальная схема и конструктивные особенности проекта

Для выполнения поставленных задач универсальный нейтронный конвертор должен обеспечивать конвертирование потока нейтронов спектра деления, излучаемых изотопными источниками, в «стандартизованное» значение плотности потока с известными (заданными) параметрами спектра тепловой (термализованной) и замедляющейся компонент плотности потока нейтронов в объеме центральной части изделия, который является рабочей полостью универсального нейтронного конвертора.

Работы по созданию универсального нейтронного конвертора начались с теоретического анализа аналогичных установок, используемых как в нашей стране, так и за рубежом [1] и последующей разработки и расчетного обоснования принципиальной схемы, обеспечивающей необходимую функциональность изделия (рис. 1).



Рис. 1. Принципиальная схема универсального нейтронного конвертора

Схема и способ размещения изотопных источников нейтронов обеспечивают предельно возможную однородность (изотропность и равномерность аксиально-радиального распределения) плотности потока тепловых нейтронов в объеме рабочей полости изделия. Кроме того, снаружи предусмотрена биологическая защита для обеспечения безопасного доступа к изделию для проведения работ.

Для конвертирования потока быстрых нейтронов использована комбинированная (двойная) замедляющая нейтроны среда – водородосодержащий замедлитель (парафин) и реакторный графит. Источник нейтронов симметрично размещен в водородосодержащей компоненте на расстоянии двух длин диффузии тепловых нейтронов от границы с центральным графитовым замедлителем.

В качестве источников нейтронов спектра деления использованы закрытые малогабаритные источники нейтронов спектра деления на основе оксида радионуклида калифорния – 252 (Cf-252) типа НК252М41.28 в двойной оболочке из коррозионностойкой стали. Мощность нейтронных источников $\sim 2 \times 10^6$ нейтр./с в 4π телесный угол.

Идеальным вариантом могла быть шарообразная конструкция универсального нейтронного конвертора, однако на практике реализация такого решения представляется весьма затруднительной. Была выбрана цилиндрическая конструкция с профилированной геометрией, приближающей конструкцию к шарообразной (рис. 2).

В качестве графитовой замедляющей среды использованы цилиндрические блоки из реакторного графита. Графитовая замедляющая вставка формируется из трех таких блоков.

Графитовая конструкция предусматривает:

- по центру: рабочую полость с линейными размерами, обеспечивающими размещение в ней нейтронных детекторов типа пропорциональных борных счетчиков, малогабаритных камер деления, родиевых детекторов прямого заряда, активационных детекторов и т.п.;
- на периферии - три вертикальные сквозные цилиндрические проходки, равномерно расположенные относительно друг друга, предназначенные для тестирования “закор-

пусных” нейтронных ионизационных камер аппаратуры контроля нейтронного потока критических стенов.

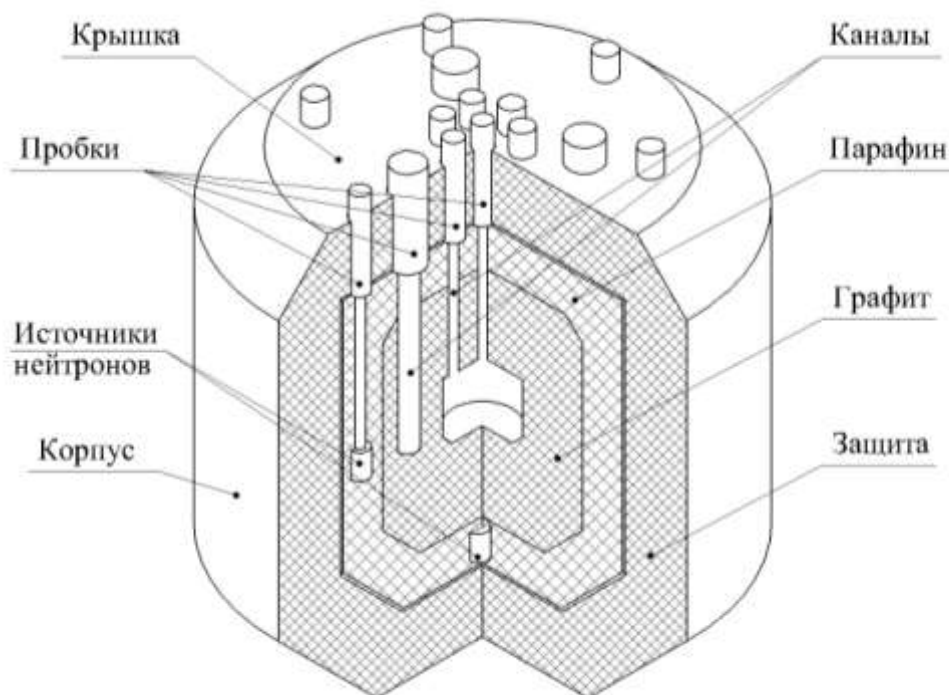


Рис. 2. Конструктивная схема универсального нейтронного конвертора

Периферия универсального нейтронного конвертора выполняет функции биологической защиты. В качестве материалов биологической защиты использованы водородосодержащие материалы с добавками бора. Такой вариант представляется наиболее рациональным по результатам анализа научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области защиты от ионизирующих излучений [7]. Корпус выполняет несущую функцию, на нем установлены все вспомогательные устройства изделия, в качестве материала корпуса использована коррозионностойкая сталь.

Нейтронные источники на основе радионуклида Cf-252, использованные в составе изделия, являются источниками повышенной активности с выходом смешанного гамма-нейтронного излучения. Биологическая защита собрана таким образом, чтобы обеспечивать максимально возможное снижение как фона тепловых и надтепловых нейтронов, так и гамма-фона (первичного и вторичного (захватного) гамма-излучения) за пределами наружной поверхности корпуса универсального нейтронного конвертора. Расчетная мощность эквивалентной дозы на наружных поверхностях изделия (с установленными источниками) по результатам расчетов, выполненных по программе DOT-III, не превышает допустимых значений.

Для снижения нейтронного и гамма-фона приняты следующие меры: каждый из источников экранирован слоем свинца, свинцовая защита вмонтирована в фиксированных точках в водородосодержащей компоненте.

В верхней торцевой защите изделия предусмотрены сквозные вертикальные цилиндрические каналы-проходки для установки нейтронных детекторов в центральную полость графитового блока посредством специальных держателей, с их помощью осуществляется фиксация детекторов в определенном положении относительно радиальной и продольной координаты рабочей полости универсального нейтронного конвертора. Количество проходок – шесть. Доступ к периферийным каналам-проходкам центрального графитового блока для постановки ионизационных камер во время проведения работ по сличению и калибровке осуществляется путем извлечения цилиндрических стержней-заглушек, изначально предна-

значенных для перекрытия пучков гамма-нейтронного излучения (имеющегося при отсутствии заглушек), а также для восстановления геометрии центральной части изделия при проведении работ без ионизационных камер. Нижние части стержней-заглушек изготовлены из графита, а верхние - из замедляющих и поглощающих нейтроны материалов, в точности аналогичных соответствующим материалам верхней торцевой части универсального нейтронного конвертора.

В качестве вспомогательных конструкционных материалов, используемых непосредственно по месту расположения замедляющей среды конверторного устройства, использованы материалы с минимально возможными величинами сечения захвата нейтронов, количество вспомогательных конструкционных материалов в составе центральной части выбрано минимальным для уменьшения локальных возмущений тепловой компоненты плотности потока нейтронов.

Особо проработан вопрос о загрузке и выгрузке нейтронных источников, в результате чего была разработана методология обеспечения качественного проведения указанных операций с минимальным присутствием человека в зоне повышенного радиационного воздействия. Основным принципом обеспечения безопасности является дистанционное проведение перегрузочных работ с применением приспособлений, позволяющих обеспечить защиту персонала и окружающей среды.

Разработка проектных материалов ведется с соблюдением действующих нормативных документов по безопасности, разрабатывается комплекс конструктивных и организационных мер для исключения несанкционированного доступа посторонних лиц к источникам нейтронов и исключения радиационного загрязнения окружающей среды и облучения людей. К конструктивным мерам следует отнести замки, закрывающие каналы с установленными источниками нейтронов, конструкцию самих каналов, которая не позволяет (максимально затрудняет) извлечение нейтронных источников из универсального нейтронного конвертора.

Конструкция универсального нейтронного конвертора позволяет провести ее утилизацию после окончания срока службы с использованием минимального числа инструментов, основные детали и материалы могут быть утилизированы в общем порядке, металлические детали из стали и циркониевого сплава могут быть направлены на переработку после проверки службой радиационной безопасности. Изделие не содержит токсичных и взрывоопасных веществ. Парафиновый замедлитель является горючим веществом, однако конструкция изделия обеспечивает исключение его самовозгорания или умышленного поджога.

Выводы

Разработан проект многофункциональной установки-конвертора, позволяющей решать учебные, исследовательские и практические задачи.

Использование универсального нейтронного конвертора позволит обучающимся приобрести практические навыки нейтронно-физических измерений, применить полученные теоретические знания на практике еще в процессе обучения, то есть до поступления на работу на предприятия, и предоставит возможность углубленного изучения средств и методик измерений, связанных с нейтронной физикой и с физикой ядерных реакторов. Навыки, полученные при использовании изделия, пригодятся как специалистам эксплуатационных организаций, так и инженерам-проектировщикам, и в целом использование изделия позволит сформировать новые компетенции специалистов для атомной промышленности.

Библиографический список

1. **Климентов, В.Б.** Активационные измерения потоков и спектров нейтронов в ядерных реакторах / В.Б. Климентов, Г.А. Копчинский, В.В. Фрунзе. Издательство стандартов, 1974. – 208 с.
2. **Ломакин, С.С.** Радиометрия нейтронов активационным методом / С.С. Ломакин, В.И. Петров, П.С. Самойлов. – М.: Атомиздат, 1975.

3. **Крамер-Агеев, Е.А.** Активационные методы спектрометрии нейтронов / Е.А. Крамер-Агеев, В.С. Трошин, Е.Г. Тихонов. – М.: Атомиздат, 1976.
4. Метрология нейтронных измерений на ядерно-физических установках: материалы I Всесоюзной школы; под ред. Р.Д. Васильева. – М.: ЦНИИАТОМ-ИНФОРМ, 1976. Т. 2.
5. **Абрамов, А.И.** Основы экспериментальных методов ядерной физики / А.И. Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матусевич. – М.: Атомиздат, 1977.
6. **Фролов, В.В.** Ядерно-физические методы контроля делящихся веществ / В.В. Фролов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 184 с.
7. **Бродер, Д.Л.** Малогабаритная защита реакторов / Д.Л. Бродер, К.К. Попков, С.М. Рубанов. – М.: Атомиздат, 1967.

*Дата поступления
в редакцию 17.06.2010*

S.M. Dmitriev, V.A. Malichev, M.S. Osipov, V.V. Samusenkov

RESEARCH FACILITY FOR TRAINING OF ENGINEERS-PHYSICISTS

The paper discusses the design of a universal neutron converter, which is a research facility intended to provide the assigned (standard) flux density of thermal and slowing-down neutrons. The paper gives a brief structural analysis of design evolution resulting from the scientific-engineering approach to the design process. Design features, development stages and scientific and practical relevance of the converter are discussed.

Key words: Neutron physics, detectors, activation method, measurements, neutron converter, design.

УДК 621.372.8

В.В. Ермошин, Т.В. Кожевникова, А.В. Назаров, И.Д. Слестникова

**РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ОТ ВОЛНОВОДНОЙ НАГРУЗКИ
МЕТОДОМ КОЛЛОКАЦИЙ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Показана возможность применения метода коллокаций при расчете коэффициента отражения от волноводной нагрузки. При выборе распределения узлов коллокаций использован математический аппарат теории корреляции. Представлены результаты исследования сходимости, расчета невязки касательных составляющих электромагнитного поля на границе раздела областей. Приведена частотная зависимость коэффициента отражения.

Ключевые слова: прямоугольный волновод, волноводная нагрузка, дифракционная задача, метод коллокаций, коэффициент отражения.

Экранированные волноводы с резистивными пленками широко применяются в технике СВЧ при создании фильтров паразитных мод, широкодиапазонных аттенюаторов, вентиляционных устройств, направленных ответвителей, согласованных нагрузок и др. [1].

Волны в таких волноводах обладают рядом особенностей: у большинства из них отсутствуют критические частоты; несмотря на принципиальную диссипативность направляющих систем, некоторые из волн в широких частотных интервалах распространяются практически без затухания; при введении в волноводы резистивных пленок существенно меняются энергетические характеристики волн, возникают неоднозначные дисперсионные зависимости, аномальная дисперсия, частотные зависимости формы фазовых фронтов и т.д.

Экспериментальный подбор оптимальных параметров таких структур, обеспечивающих заданные рабочие характеристики в широкой полосе частот, требует больших материальных и временных затрат, поэтому актуальной задачей является разработка инженерных алгоритмов для конструкторского расчета.

В работе приводится алгоритм расчета коэффициента отражения от волноводной нагрузки, которая представляет собой закороченный отрезок прямоугольного волновода, перегороженный в продольном сечении диэлектрической вставкой с нанесенными на ее поверхность резистивными пленками. Расчет коэффициента отражения сводится к решению задачи дифракции электромагнитных волн на стыке волноводов. Ранее было показано [2], что при алгебраизации граничных условий в данной задаче удобнее применять метод коллокаций. Однако, как известно, существенным недостатком метода коллокаций является отсутствие правила, строго определяющего выбор распределения точек, в которых записываются граничные условия (так называемых узлов коллокаций). В данной работе рассматриваются два варианта распределения узлов коллокаций: равномерное распределение узлов как наиболее простое с точки зрения численной реализации и распределение, полученное на основе корреляционного подхода [3].

Во втором случае выбор оптимального распределения узлов коллокаций осуществляется на основе методов теории корреляции путем максимизации (на стыке структур) коэффициента корреляции касательных составляющих электромагнитного поля, что соответствует наилучшему выполнению граничных условий.

Рассмотрим процедуру расчета коэффициента отражения от стыка полого прямоугольного волновода и волноводной нагрузки. Стенки волноводов считаем идеально проводящими. Продольное и поперечное сечения системы «волновод – нагрузка» показаны на рис. 1. В полом волноводе (рис. 1, а, область I) распространяется основная волна H_{10} , тогда

на стыке при симметричном расположении резистивной пленки будут возбуждаться только волны H_{m0} , где индекс m принимает лишь нечетные значения.

На первом этапе рассмотрим процедуру получения дисперсионных характеристик волн H_{m0} в нагрузке. В силу симметрии структуры относительно продольного центрального сечения дисперсионное уравнение можно составлять на основе половины поперечного сечения. Для применения метода частичных областей поперечное сечение разбивается на области I и 2 (рис. 1, б).

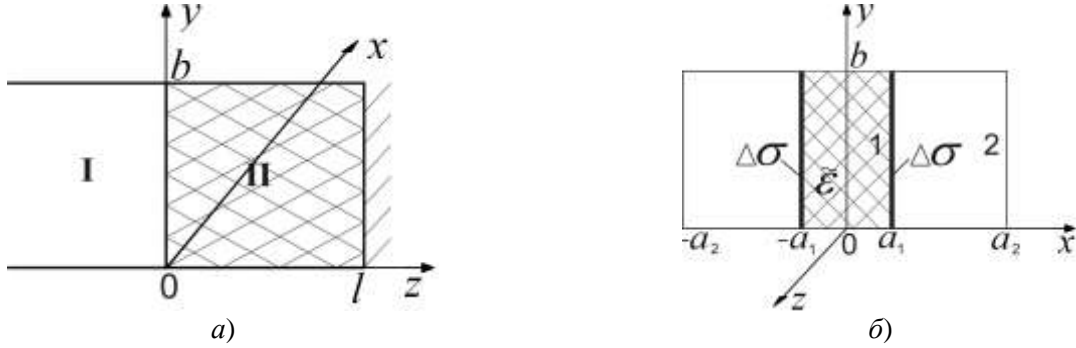


Рис. 1

В каждой из частичных областей формулируется краевая задача относительно продольной составляющей магнитного вектора Герца:

$$\Delta \Pi_{z_{1,2}}^m + \omega^2 \varepsilon_{1,2} \mu_{1,2} \Pi_{z_{1,2}}^m = 0, \quad (1)$$

$$\left. \frac{\partial \Pi_{z_{1,2}}^m}{\partial x} \right|_{x=a_2} = 0; \quad \left. \frac{\partial \Pi_{z_{1,2}}^m}{\partial y} \right|_{y=0,b} = 0, \quad (2)$$

где ε_1, μ_1 – диэлектрическая и магнитная проницаемости материала в области I; ε_2, μ_2 – диэлектрическая и магнитная проницаемости среды в области 2; ω – частота электромагнитного поля.

Уравнение (1) решается методом разделения переменных. Общие решения ищутся в виде

$$\Pi_{z_{1,2}}^m = (A \cos \chi_x x + B \sin \chi_x x)(C \cos \chi_y y + D \sin \chi_y y) e^{-i\beta z}, \quad (3)$$

где A, B, C, D – неизвестные амплитудные коэффициенты; χ_x, χ_y – поперечные волновые числа; β – продольное волновое число.

Подставив решения в виде (3) в граничные условия (2) и учитывая, что у волн H_{m0} отсутствует зависимость поля от координаты y , получаем выражения для продольной составляющей магнитного вектора Герца в каждой из выделенных областей:

$$\Pi_{z_1}^m = \tilde{B} \sin(\chi_1 x) e^{-i\beta z},$$

$$\Pi_{z_2}^m = \tilde{A} \cos[\chi_2(x - a_2)] e^{-i\beta z}.$$

Выражая составляющие электромагнитного поля через векторы Герца по формулам

$$\vec{E} = -i\omega \mu \text{rot} \vec{\Pi}_z^m; \quad (4)$$

$$\vec{H} = \text{grad} \text{div} \vec{\Pi}_z^m + \varepsilon \mu \omega^2 \vec{\Pi}_z^m,$$

имеем

$$H_{x1} = -i\beta \tilde{B} \chi_1 \cos(\chi_1 x) e^{-i\beta z};$$

$$E_{y1} = i\omega \mu_1 \tilde{B} \chi_1 \cos(\chi_1 x) e^{-i\beta z}; \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
H_{z1} &= \chi_1^2 \tilde{B} \sin(\chi_1 x) e^{-i\beta z}; \\
H_{x2} &= -i\beta \tilde{A} \chi_2 \sin[\chi_2(x - a_2)] e^{-i\beta z}; \\
E_{y2} &= -i\omega \mu_2 \tilde{A} \chi_2 \sin[\chi_2(x - a_2)] e^{-i\beta z}; \\
H_{z2} &= \chi_2^2 \tilde{A} \cos[\chi_2(x - a_2)] e^{-i\beta z}.
\end{aligned} \tag{6}$$

Для составления дисперсионного уравнения запишем граничные условия при $x = a_1$ (рис. 1, б). На границе раздела областей 1 и 2 должны быть непрерывными касательные составляющие вектора напряженности электрического поля:

$$\vec{E}_{\tau 1} = \vec{E}_{\tau 2}.$$

Наличие тонкой (по сравнению с толщиной скин-слоя) резистивной пленки на границе раздела частичных областей учтем, воспользовавшись методом поверхностного тока, согласно которому для касательных составляющих вектора напряженности магнитного поля записываются разрывные граничные условия на границе раздела областей 1 и 2:

$$[\vec{n}, (\vec{H}_2 - \vec{H}_1)] = \Delta\sigma \vec{E}_1,$$

где $\Delta\sigma$ – поверхностная проводимость материала резистивной пленки; \vec{n} – нормаль к границе раздела, направленная в сторону области 2.

Для волн типа H_{m0} граничные условия при $x = a_1$ примут вид

$$\begin{aligned}
E_{y1}(x = a_1) &= E_{y2}(x = a_1), \\
H_{z2}(x = a_1) - H_{z1}(x = a_1) &= -\Delta\sigma E_{y1}(x = a_1).
\end{aligned} \tag{7}$$

Подставив составляющие электромагнитного поля (5) и (6) в граничные условия (7), получаем систему однородных линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) относительно неизвестных амплитудных коэффициентов \tilde{A} и \tilde{B} . Условие нетривиальности решений этой системы дает дисперсионное уравнение (ДУ) волн волноводной нагрузки.

Поскольку рассматриваемая направляющая структура является диссипативной системой, продольные и поперечные волновые числа будем искать на комплексных плоскостях с использованием метода вариации фазы.

Дисперсионные характеристики волны H_{10} , полученные при различных значениях относительной диэлектрической проницаемости $\tilde{\epsilon}_1 = \epsilon_1 / \epsilon_0$ и нормированной поверхностной проводимости пленки $\Delta\sigma_n = \Delta\sigma \sqrt{\mu_1 / \epsilon_1}$, приведены на рис. 2, где β_1 и β_2 – вещественная и мнимая части продольного волнового числа, соответственно сплошными линиями представлены частотные зависимости фазовой постоянной (β_1) и коэффициента затухания (β_2) при $\tilde{\epsilon}_1 = 9,6$, пунктирными – при $\tilde{\epsilon}_1 = 5$.

Из рис. 2, а видно, что в волноводе с резистивной пленкой волна H_{10} не имеет критической частоты, кроме того, при малой проводимости резистивной пленки дисперсионная характеристика волны H_{10} данной структуры близка к дисперсионной характеристике волны H_{10} полого волновода.

Из рис. 2, б следует, что на частотах выше критической частоты основной волны полого волновода (при $ka_2 > \pi$) волна распространяется с малым затуханием. При любых значениях поверхностной проводимости коэффициент затухания при стремлении частоты к бесконечности стремится к нулю. Это объясняется увеличением экранирующего действия резистивной пленки на высоких частотах: с ростом частоты уменьшается амплитуда электрического поля на пленке, а следовательно, и тепловые потери в пленке, связанные с протеканием в ней тока.

Следует также отметить, что в интервале значений нормированной поверхностной проводимости $\Delta\sigma_n = 3 \div 5$ можно найти такое значение $\Delta\sigma_n$, при котором постоянная затухания

хания волны H_{10} будет мало изменяться в широкой полосе частот, а замедление будет практически постоянным. Это явление может быть использовано при создании широкополосных СВЧ-устройств.

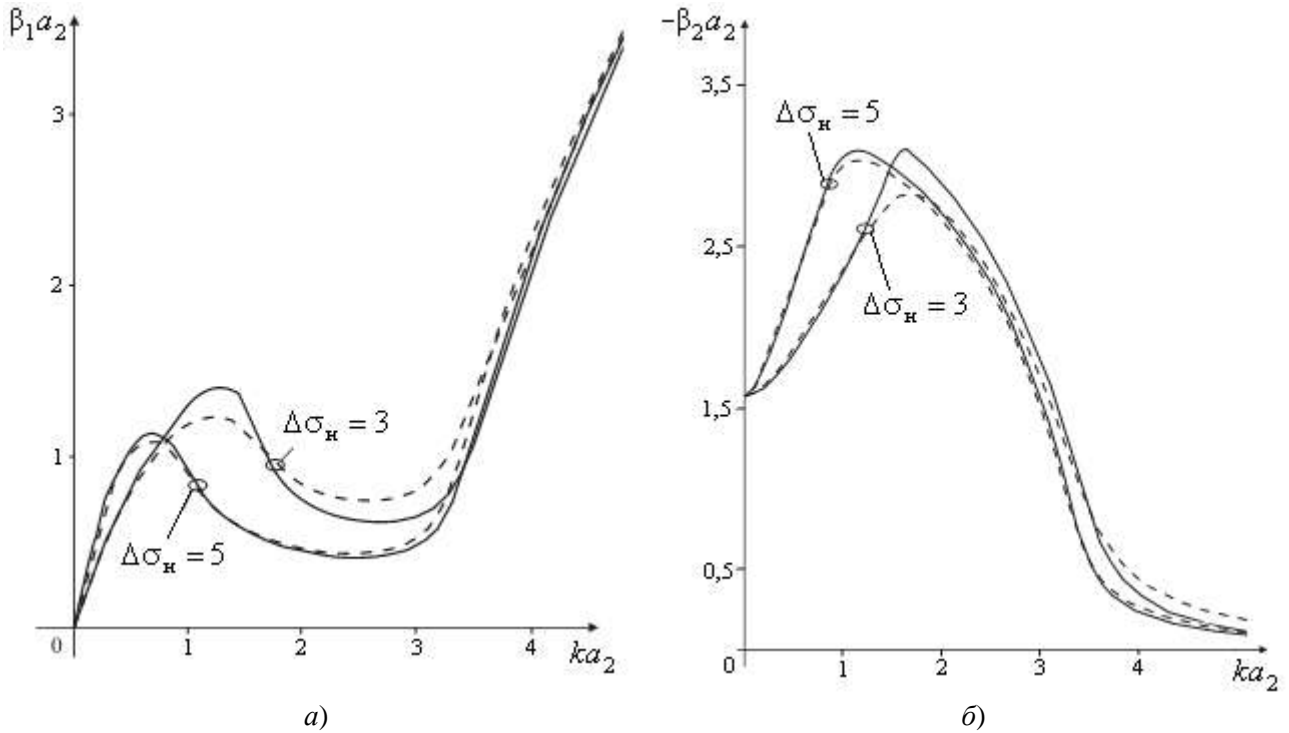


Рис. 2

На втором этапе решим задачу о стыке (рис. 1, а) полого прямоугольного волновода и волновода с резистивной пленкой (волноводной нагрузкой). При этом поля в волноводах представим в виде сумм полей их собственных волн: в первом (I) волноводе – в виде суммы полей первоначально распространяющейся в нем волны H_{10} (возбуждающей стык) и отраженных от стыка волн H_{m0} ($m = 1, 3, 5, \dots$), во втором (II) волноводе – в виде суммы полей прошедших волн и волн, отраженных от закорачивающей поверхности $z = l$.

Продольные составляющие магнитного вектора Герца в волноводах I и II будут иметь вид

$$\begin{aligned} \Pi_{zI}^m &= A \cos\left[\frac{\pi}{2a_2}(x-a_2)\right] e^{-i\beta_{10}z} + \sum_m R_{m0} \cos\left[\frac{\pi m}{2a_2}(x-a_2)\right] e^{i\beta_{m0}z}, \\ \Pi_{zII}^m &= \sum_m T_{m0} \sin(\chi_{1m0}x) e^{-i\beta_{m0}z} + \sum_m \tilde{T}_{m0} \sin(\chi_{1m0}x) e^{i\beta_{m0}(z-l)} \quad \text{при } 0 < x < a_1, \\ \Pi_{zII}^m &= \sum_m T_{m0} \cos[\chi_{2m0}(x-a_2)] e^{-i\beta_{m0}z} + \sum_m \tilde{T}_{m0} \cos[\chi_{2m0}(x-a_2)] e^{i\beta_{m0}(z-l)} \quad \text{при } a_1 < x < a_2, \end{aligned}$$

где A , T_{m0} – амплитудные коэффициенты волн, распространяющихся вдоль оси z ; R_{m0} , \tilde{T}_{m0} – амплитудные коэффициенты волн, распространяющихся навстречу оси z ; χ_{1m0} (χ_{2m0}), β_{m0} – поперечные и продольные волновые числа соответственно; $m = 1, 3, 5, \dots$

Составляющие электромагнитного поля выражаются через вектор Герца $\Pi_{zI,II}^m$ по формулам (4).

На закорачивающей поверхности $z = l$ должно выполняться условие равенства нулю касательной составляющей электрического поля:

$$E_{yII}(z=l) = 0,$$

что позволяет установить связь между амплитудными коэффициентами T_{m0} и \tilde{T}_{m0} :

$$\tilde{T}_{m0} = -T_{m0}e^{-i\beta_{m0}l}.$$

Записав условия непрерывности касательных составляющих электрического и магнитного полей в плоскости стыка волноводов I и II:

$$\begin{aligned} E_{yI}(z=0) &= E_{yII}(z=0); \\ H_{xI}(z=0) &= H_{xII}(z=0), \end{aligned} \quad (8)$$

получаем систему линейных функциональных уравнений (СЛФУ), которая после алгебраизации, в общем случае, приобретает бесконечную размерность. При ее численном решении будем учитывать лишь ограниченное число членов в каждой из сумм.

Для перехода от СЛФУ к СЛАУ используем метод коллокаций: в плоскости $z=0$ выберем N точек (узлов коллокаций) и приравняем касательные составляющие полей в этих точках. Коэффициент A положим равным единице ($A=1$). В результате получаем систему линейных неоднородных алгебраических уравнений относительно нормированных на A неизвестных амплитудных коэффициентов R_{m0} и T_{m0} в разложениях полей. Количество N выбранных узлов коллокаций определяет номер приближения, в котором решается задача.

Корректность работы программы расчета коэффициента отражения от волноводной нагрузки была проверена путем выполнения предельного перехода от нагрузки с металлическим напылением, нанесенным на диэлектрическую подложку, к нагрузке с тонкой резистивной пленкой ($a_1 \rightarrow 0$) в продольном сечении.

В табл. 1 приведены значения коэффициента отражения основной волны $|R_{10}|$ от волноводной нагрузки с параметрами: $\Delta\sigma_n = 2,5$, $\Delta\sigma_n = 5$; $l = 3a_2$; число волн в полом волноводе – 11, в отрезке волновода с резистивной пленкой – 3, полученные при равномерном распределении узлов коллокаций вдоль оси Ox в плоскости стыка (от координаты у электромагнитное поле не зависит), а также результаты работы [2].

Таблица 1

Результаты выполнения предельного перехода

ka_2	$ R_{10} $			
	$\Delta\sigma_n = 2,5$		$\Delta\sigma_n = 5,0$	
	$a_1 \rightarrow 0$	Результаты работы	$a_1 \rightarrow 0$	Результаты работы
1,8	0,6400	0,6200	0,7800	0,7665
1,9	0,4800	0,5003	0,7000	0,6912
2,1	0,4300	0,4417	0,6100	0,6158
2,2	0,4000	0,4089	0,5800	0,5850

Из табл. 1 видно, что относительное расхождение результатов, полученных двумя разными методами, не превышает 5%, что позволяет сделать вывод о корректной работе созданной в соответствии с описанным алгоритмом программы.

В табл. 2 и табл. 3 приведены результаты исследования сходимости по значению коэффициента отражения $|R_{10}|$ и амплитудного коэффициента T_{10} соответственно, при равномерном распределении узлов коллокаций. Параметры структуры: $\Delta\sigma_n = 1$, $\tilde{\epsilon}_1 = 5$, $a_1 = 0,05a_2$, $l = 2a_2$.

Исследование сходимости показало, что значения $|R_{10}|$ и T_{10} , полученные в низких приближениях ($N < 5$), существенно отличаются от значений, полученных в более высоких приближениях. Это свидетельствует о том, что при равномерном распределении «сшивание» касательных составляющих полей на стыке волноводов необходимо производить не менее чем в пяти точках. В то же время при $N > 8$ значения амплитудных коэффициентов пере-

стают изменяться при увеличении N , поэтому в качестве рабочего следует брать восьмое приближение ($N_{\text{раб}} = 8$).

Таблица 2
Исследование сходимости по значению
коэффициента отражения $|R_{10}|$

ka_2	Номер приближения N				
	5	6	7	8	9
1,6	0,7820	0,7820	0,7820	0,7820	0,7820
2,0	0,4048	0,4049	0,4050	0,4050	0,4050
2,4	0,2893	0,2894	0,2895	0,2895	0,2895
2,8	0,2328	0,2330	0,2331	0,2331	0,2331
3,2	0,1960	0,1962	0,1963	0,1963	0,1963
3,6	0,1564	0,1567	0,1568	0,1569	0,1569
4,0	0,1110	0,1113	0,1115	0,1115	0,1116

Таблица 3
Исследование сходимости по значению амплитудного коэффициента T_{10}

ka_2	Номер приближения N				
	5	6	7	8	9
3,0	0,1853-0,0164i	0,1856-0,0169i	0,1858-0,0172i	0,1860-0,0172i	0,1861-0,0172i
3,2	0,1494+0,004i	0,1497+0,0035i	0,1499+0,0033i	0,1501+0,0033i	0,1502+0,0034i
3,4	0,1132+0,0167i	0,1136+0,0163i	0,1138+0,0161i	0,1140+0,0161i	0,1141+0,0162i
3,6	0,0809+0,0212i	0,0813+0,0209i	0,0815+0,0208i	0,0816+0,0208i	0,0817+0,0209i

Проверим качество выполнения граничных условий (8). На рис. 3 приведены результаты расчета нормированных невязок для составляющих $E_{y,I,II}$ (рис. 3, а) и $H_{x,I,II}$ (рис. 3, б) при следующих параметрах структуры: $\Delta\sigma_n = 1$, $\tilde{\epsilon}_1 = 5$, $a_1 = 0,05a_2$, $l = 2a_2$, $N = 8$, $ka_2 = 1,6$.

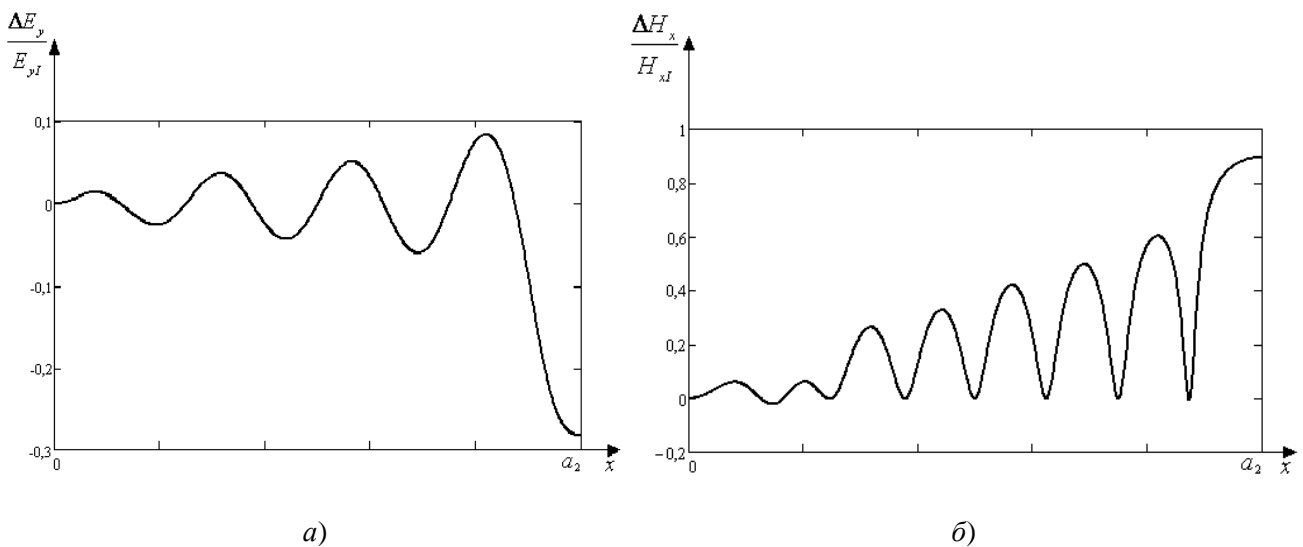


Рис. 3

Как видно из рис. 3, при равномерном распределении узлов коллокаций относительная невязка касательных составляющих электрического поля не превышает 20%, в случае же магнитного поля невязка достигает 70%.

Численные эксперименты показали, что при расчете коэффициента отражения необходимо учитывать одинаковое количество слагаемых в суммах, описывающих «сшиваемые» поля. При этом значение коэффициента отражения практически не изменяется, но значительно улучшается выполнение граничных условий.

Рассмотрим результаты, полученные с использованием корреляционного подхода к выбору узлов коллокаций.

В табл. 4 и табл. 5 приведены результаты исследования сходимости по значению коэффициента отражения $|R_{10}|$ и амплитудного коэффициента T_{10} соответственно при следующих параметрах структуры: $\Delta\sigma_{\text{н}} = 1$, $\tilde{\varepsilon}_1 = 5$, $a_1 = 0,05a_2$, $l = 2a_2$. В каждом из стыкуемых волноводов учитывалось по 8 волн.

Таблица 4

Исследование сходимости по значению
коэффициента отражения $|R_{10}|$

ka_2	Номер приближения N				
	5	6	7	8	9
1,6	0,7820	0,7815	0,7812	0,7814	0,7814
2,0	0,4032	0,4041	0,4038	0,4032	0,4035
2,4	0,2879	0,2880	0,2874	0,2877	0,2877
2,8	0,2332	0,2306	0,2307	0,2309	0,2309
3,2	0,1989	0,1939	0,1946	0,1940	0,1939
3,6	0,1523	0,1543	0,1530	0,1537	0,1543
4,0	0,1277	0,1210	0,1202	0,1197	0,1202

Таблица 5

Исследование сходимости по амплитудному коэффициенту T_{10}

ka_2	Номер приближения N				
	5	6	7	8	9
3,0	0,1845-0,0160i	0,1874-0,0175i	0,1875-0,0171i	0,1879-0,0171i	0,1877-0,0171i
3,2	0,1471+0,0044i	0,1505+0,0038i	0,1487+0,0039i	0,1517+0,0037i	0,1517+0,0037i
3,4	0,1156+0,0161i	0,1158+0,0163i	0,1148+0,0165i	0,1160+0,0170i	0,1153+0,0167i
3,6	0,0831+0,0221i	0,0834+0,0213i	0,0830+0,0214i	0,0822+0,0214i	0,0826+0,0216i

Из табл. 4 и табл. 5 следует, что при использовании корреляционного подхода в качестве рабочего можно брать шестое приближение ($N_{\text{раб}} = 6$).



Рис. 4

Расчеты показывают (рис. 4), что значения коэффициента отражения $|R_{10}|$, полученные в рабочих приближениях при равномерном распределении узлов коллокаций и при использовании корреляционного подхода, совпадают.

На рис. 5 представлены результаты исследования точности «сшивания» касательных составляющих электрического (рис. 5, а) и магнитного (рис. 5, б) полей в плоскости стыка $z = 0$ при равномерном распределении узлов (сплошная линия) и распределении, полученном на основе корреляционного подхода (пунктирная линия). Параметры структуры: $\Delta\sigma_n = 2$, $\tilde{\epsilon}_1 = 9,6$, $a_1 = 0,1a_2$, $l = 2a_2$, $N = 8$, $ka_2 = 2,2$.

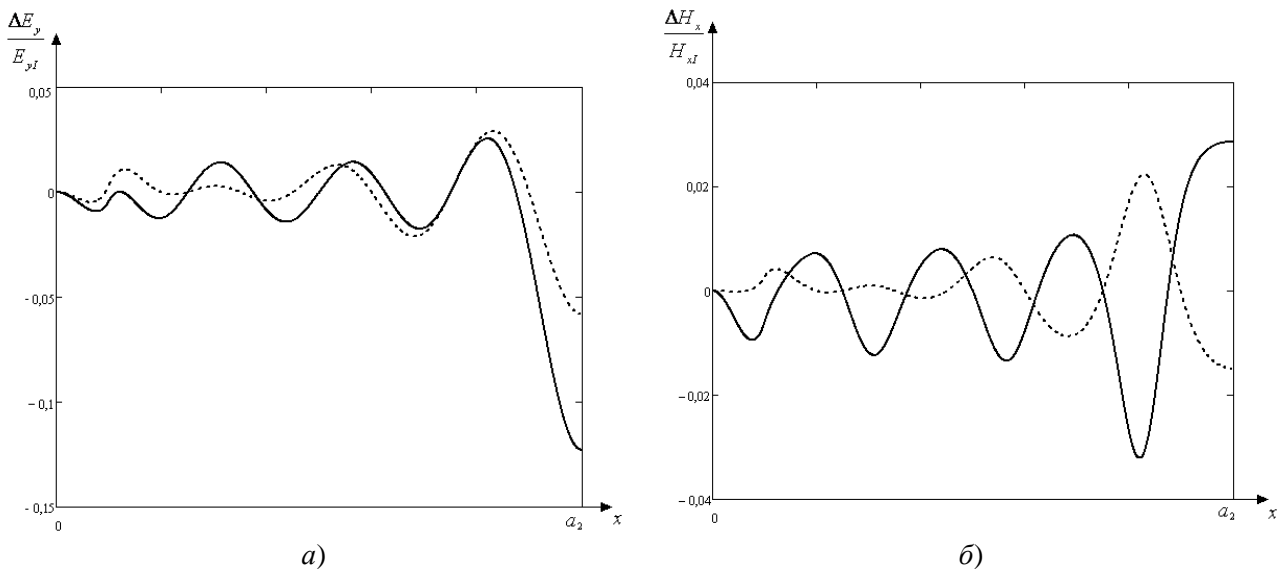


Рис. 5

Как видно из рис. 5, использование корреляционного подхода при выборе узлов коллокаций обеспечивает лучшее выполнение граничных условий: при равномерном распределении относительная невязка касательных составляющих электрического поля достигает 12%, что вдвое больше максимального значения невязки, полученной при использовании корреляционного подхода; для магнитного поля максимальное значение относительной невязки при равномерном распределении составляет 3%, при использовании корреляционного подхода – 2%.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод о возможности применения метода коллокаций при решении дифракционных электродинамических задач. При этом использование корреляционного подхода к выбору распределения узлов коллокаций позволяет получить решение, обеспечивающее более быструю сходимость результатов и лучшее выполнение граничных условий в плоскости стыка направляющих структур (по сравнению с равномерным распределением).

Библиографический список

1. **Веселов, Г.И.** Слоистые металлодиэлектрические волноводы / Г.И. Веселов, С.Б. Раевский. – М.: Радио и связь, 1988. – 248 с.
2. **Иванов, А.Е.** Расчет волноводной нагрузки на базе отрезка волновода с резистивной пленкой / А.Е. Иванов, В.А. Калмык, Т.В. Кожевникова // Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника. – 1982. Т.25. № 11. С. 62-65.

3. **Ермошин, В.В.** К вопросу о выборе узлов коллокаций при исследовании открытого прямоугольного диэлектрического волновода / В.В. Ермошин, А.В. Назаров // Радиотехника и электроника. 2007. Т. 52. №10.– С. 1189-1193.

*Дата поступления
в редакцию 17.06.2010*

V.V. Ermoshin, T.V. Kozhevnikova, A.V. Nazarov, I.D. Slastnikova

CALCULATION OF REFLECTION COEFFICIENT FROM WAVEGUIDE LOAD BY COLLOCATION METHOD

The possibility of application of collocation method to the calculation of reflection coefficient from waveguide load is shown. The mathematical apparatus of the correlation theory is used to choose the distribution of collocation nodes. Convergence of the solution is investigated, the components of the electromagnetic field on the medium interface are calculated. A frequency dependence of reflection coefficient is shown.

Key words: rectangular waveguide, waveguide load, diffraction problem, collocation method, reflection coefficient.

НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 629.01

Ю.И. Палутин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ТРЕБУЕМОГО ПОДПОРА ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА В САЛОНАХ АВТОМОБИЛЕЙ

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия

В статье анализируется возможность защиты салонов автомобилей от проникновения пыли и других вредных для людей веществ путем создания в них подпора давления воздуха. На основе экспериментальных данных показана возможность данного метода. Для каждого режима работы вентиляционной системы имеется своя предельная скорость движения автомобиля, до которой возможно предотвращение проникновения в салон вредных веществ.

Ключевые слова: подпор давления, герметичность кузова, защита салона.

Ввиду большой сложности конструкций кузовов современных автомобилей изготовление их полностью герметичными является практически невозможной и экономически нецелесообразной задачей. Наличие же неплотностей в кузове приводит к нежелательному воздухообмену. Одним из самых простых и надежных способов предотвращения такого воздухообмена считается способ поддержания в салоне повышенного внутреннего давления. Однако до настоящего времени нет пока ясного представления об эффективности данного способа - во всех ли случаях и для всех ли автомобилей целесообразно его применение. Нет пока четкого ответа и на вопрос, какой величины необходимо создавать подпор давления в салоне автомобиля для защиты его от проникновения внутрь вредных для здоровья людей веществ?

Поиск ответов на вопрос о величине требуемого подпора давления начнем с рассмотрения очевидного факта, что величина подпора давления в салоне для защиты его воздушной среды от проникновения нежелательных веществ должна быть больше разности между наибольшим давлением на неплотности снаружи кузова и давлением, которое установится в салоне движущегося автомобиля при отсутствии принудительной подачи в него воздуха. То есть, должно соблюдаться следующее неравенство:

$$\Delta P_{\text{вн}} \geq P_{\text{н.н}} - P_{\text{вн}}, \quad (1)$$

где $\Delta P_{\text{вн}}$ – подпор давления в салоне автомобиля; $P_{\text{н.н}}$ – наружное давление на кузов автомобиля; $P_{\text{вн}}$ – давление внутри салона.

Преобразовав его, получаем

$$\Delta P_{\text{вн}} \geq \left[\rho \cdot V_a^2 / 2 \right] \cdot (k_{\text{н.н}} - k_{\text{вн}}), \quad (2)$$

где ρ – плотность воздуха; V_a – скорость движения автомобиля; $K_{\text{н.н}}$ – безразмерный аэро-

динамический коэффициент давления на кузов автомобиля; $K_{вн}$ – безразмерный аэродинамический коэффициент давления внутри салона.

В правой части неравенства (2) величина коэффициента наружного аэродинамического давления $K_{нн}$ при всех реальных скоростях движения автомобиля остается постоянной. Коэффициент внутреннего аэродинамического давления $K_{вн}$, при выключенной системе принудительной подачи воздуха в салон, также является постоянной величиной [1]. Поэтому из уравнения (2) следует, что величина подпора давления в салоне должна возрастать по своему значению пропорционально квадрату величины скорости движения автомобиля, для чего требуется обеспечить линейный рост величины его воздухообмена.

На современных автомобилях устанавливают вентиляционно-отопительные системы, силовые установки которых имеют несколько режимов работы. Анализ аэродинамических характеристик этих установок показывает, что они, даже с учетом увеличения подпора давления в месте забора воздуха и уменьшения величины внутреннего давления в салоне, происходящих при увеличении скорости движения, неспособны обеспечить линейное увеличение подачи воздуха в салон. Поэтому, исходя из неравенств (1) и (2), следует, что на современных автомобилях каждому режиму работы их вентиляционной установки будет соответствовать своя предельная скорость движения $V_{пр}$, до которой она будет обеспечивать защиту салона от загрязняющих веществ. Величину этой предельной скорости движения можно определить из следующего выражения, полученного из неравенства (2),

$$V_{пр} \leq \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_{вн}}{\rho(k_{нн} - k_{вн})}}. \quad (3)$$

Если в неравенство (3) подставить значение подпора давления, которое создает в салоне вентиляционная система на стоящем автомобиле, то в результате будет получено заниженное значение скорости, до которой обеспечивается защита салона из-за увеличивающейся при движении автомобиля производительности работы его вентиляционной системы. Однако опыт экспериментальных исследований автора показывает, что для автомобилей, герметичность и производительность вентиляционной системы которых находится на том же уровне, как и у автомобилей, выпускаемых в настоящее время отечественным автомобилестроением, неравенство (3) вполне можно использовать для ориентировочной оценки величины предельной скорости движения, до которой может обеспечиваться защита салона от загрязняющих веществ.

Для оценки возможности использования вентиляционной системы в решении задачи защиты салона от проникновения в его воздушную среду загрязняющих веществ рассмотрим обобщенные данные, взятые из литературных источников и из результатов исследований автора настоящей работы о величинах аэродинамических давлений как снаружи кузова движущихся автомобилей, так и внутри их салонов.

По данным аэродинамических испытаний легковых автомобилей в большой аэродинамической трубе [2], давление в салоне легкового автомобиля при выключенной системе вентиляции и закрытых вентиляционных проемах равно минус $0,3 \bar{P}$ (где \bar{P} – величина аэродинамического давления на движущийся автомобиль). Если при этом приоткрыты передние окна, то давление в салоне снижается до минус $(0,5 \div 0,6) \bar{P}$. При дорожных испытаниях, проведенных автором настоящей работы на автомобиле ГАЗ-3102, давление в салоне при его вентиляции только через неплотности и открытую вытяжную систему было равно минус $0,2 \bar{P}$, а при открывании стекол передних окон всего на 10 мм давление снижалось до минус $0,5 \bar{P}$. В автобусе ПАЗ-672 при воздухообмене через неплотности давление было равно минус $0,15 \bar{P}$ [94].

Сопоставление эпюр распределения давлений по наружным поверхностям в местах расположения наибольшего количества неплотностей названных автомобилей с подобными же данными других марок легковых автомобилей и автобусов дают основание считать, что в

салонах большинства автомобилей, в том числе, и в кабинах грузовых автомобилей, давление при воздухообмене через неплотности и открытые вытяжные системы устанавливается на уровне от минус $0,15 \bar{P}$ до минус $0,30 \bar{P}$. Если же в салоне приоткрыты или открыты полностью передние окна, то давление в нём снижается до величины минус $0,5 \div 0,6 \bar{P}$.

Приведенные факты дают достаточно полное представление о величинах внутреннего давления, которое устанавливается в салоне движущегося автомобиля при отсутствии принудительной подачи в него воздуха. Проведём подобную же оценку величин аэродинамических давлений, распределённых снаружи кузова автомобиля, но не по всем его поверхностям, а только тем из них, где при движении автомобиля сосредоточивается наибольшее количество пыли, выхлопных и подкапотных газов. К ним отнесём стенку щитка передка, днище, поверхность задней стенки и нижнюю заднюю часть боковых панелей кузова.

Как показывают экспериментальные данные, наибольшее по величине давление наблюдается на наружной поверхности щитка передка, выходящей в подкапотное пространство. Так, по данным работы [3], полученным в большой аэродинамической трубе, давление на верхнюю его часть достигает величины плюс $0,3 \bar{P}$. По результатам дорожных испытаний автомобиля ГАЗ-3102, проведенных автором настоящей работы, давление из подкапотного пространства на щиток передка достигало плюс $0,2 \bar{P}$. К нижней части щитка, переходящей в днище, это давление снижается до отрицательных значений.

На днищах кузовов и кабин автомобилей по всем их поверхностям наблюдаются обычно отрицательные давления, которые по своему значению уменьшаются по мере движения потоков воздуха от передней их кромки к задней. Только на некоторых автомобилях на днище перед задним мостом возникает небольшая по площади зона положительных давлений. Однако эту зону повышенных давлений можно не учитывать, так как в этой части кузова практически полностью отсутствуют какие-либо технологические отверстия и потому добиться ее полной герметизации не представляет особого труда. Поэтому можно считать, что давление снаружи на днище кузовов автомобилей не превышает величины равной минус $0,1 \bar{P}$.

На задних панелях кузовов, как легковых и грузовых автомобилей, так и автобусов, давление обычно всегда отрицательное. Только у легковых автомобилей с кузовом типа "Седан" в середине крышки багажника может существовать зона положительных давлений, слегка смещающаяся к боковым поверхностям при боковом ветре. Но данная зона не оказывает сильного влияния на загрязнение воздушной среды салонов автомобилей, так как она образуется от воздействия чистых масс воздуха и в местах расположения данной зоны обычно нет никаких неплотностей. Поэтому можно считать, что на задней поверхности кузовов всех автомобилей наружные давления почти никогда не превышают величину равную минус $0,1 \bar{P}$.

Давление снаружи на нижние задние части боковых поверхностей автомобилей, там, где наиболее вероятно появление пыли, выхлопных и подкапотных газов, практически всегда отрицательное. Давление в этой зоне только изредка может изменяться по своей величине при боковом ветре, но при этом оно обычно не превышает по своему значению величину атмосферного давления.

Приведенные обобщённые значения величин, как внутренних, так и наружных аэродинамических давлений, действующих на кузов движущегося автомобиля, сведены в табл. 1. В ней же приведены значения разности между величинами давлений на неплотности снаружи кузова и величиной внутреннего давления в салоне автомобиля, выраженные в долях полного аэродинамического давления.

Из результатов, приведенных в табл. 1, хорошо видно, что способ защиты салонов от проникновения в них загрязняющих атмосферу веществ путем создания необходимого подпора давления пригоден не для всех случаев эксплуатации автомобилей. Так, расчеты показывают, что при движении автомобиля с открытыми окнами со скоростью 150 км/ч в его салоне требуется поддерживать очень высокий подпор давления, на уровне от 425 Па до 900 Па . Если в салоне поддерживать подпор давления, равный 150 Па , то при данном варианте вентиляции, защита будет эффективной только до скоростей движения автомобиля,

равных 50÷90 км/ч. Если же учесть, что при наличии открытых окон поддерживать подпор давления в салоне, даже равный по величине 150 Па, для систем вентиляции на современном уровне автомобилестроения является пока нерешаемой задачей, то становится очевидным, что надежной защитой от этого нежелательного явления может служить только полная герметизация тех частей кузова, через неплотности которых загрязняющие вещества могут проникнуть внутрь салона.

Таблица 1

Разность между наружным и внутренним давлением в салоне на неплотности кузова, в долях полного аэродинамического давления

	Место расположения неплотностей	Режим вентилирования	
		Работает только принудительная вентиляция $P_{вн} = -(0,15 \div 0,30) \bar{P}$	Открыты передние окна $P_{вн} = -(0,50 \div 0,60) \bar{P}$
1	2	3	4
2	Щиток передка $+(0,2 \div 0,3) \bar{P}$	$(0,35 \div 0,60) \bar{P}$	$(0,70 \div 0,90) \bar{P}$
3	Днище и задняя панель $P_{нн} = -0,1 \bar{P}$	$(0,05 \div 0,20) \bar{P}$	$(0,40 \div 0,50) \bar{P}$
4	Нижняя задняя часть боковых поверхностей $P_{нн} = -0,1 \bar{P}$	$(0,05 \div 0,20) \bar{P}$	$(0,50 \div 0,60) \bar{P}$

При движении автомобиля с полностью закрытыми окнами, когда открыты только вытяжные лючки, для предотвращения поступления в салон загрязняющих воздушную среду веществ уже не требуется такой невыполнимо большой по своей величине воздухообмен. Однако и в этом случае, как наглядно видно из табл. 1, возникает проблема поступления в салон подкапотных газов через неплотности, расположенные в стенке щитка передка, так как для предотвращения этого его система вентиляции должна, например, при скорости движения автомобиля 150 км/ч создавать подпор давления, равный 375÷680 Па. При поддержании же в салоне подпора давления на уровне 150 Па защита будет возможной только до скорости движения автомобиля 75÷95 км/ч.

На первый взгляд, и в данном случае защитить салон от подкапотных газов можно только надежной герметизацией всех неплотностей щитка передка. Но на стенке щитка передка очень плотно друг к другу размещается большое количество различных узлов, агрегатов, механизмов всевозможных систем автомобиля, для большинства из которых в ней прорезаны сквозные отверстия. Добиться качественного уплотнения этих отверстий в условиях большого стеснения, когда к уплотнениям физически трудно добраться, при массовом производстве является очень сложной задачей. Вероятнее всего, в данном случае имеет смысл использовать другой, уже апробированный вариант решения этой проблемы, при котором щиток передка отгораживается от подкапотного пространства специальной перегородкой, в результате чего предотвращается поступление нежелательных подкапотных газов к самой стенке щитка передка.

Подобные перегородки нашли широкое применение на некоторых легковых автомобилях (Мерседес-Бенц 260Е, Форд-Скорпио, ГАЗ-3105 и др.). Благодаря такой перегородке в этих автомобилях в подкапотном пространстве перед щитком передка создается так называемая ниша воздухопритока. В этой нише размещают обычно климатическую установку и многие другие узлы и агрегаты автомобиля. Герметичность стенки, отделяющей её от подкапотного пространства, по сравнению с герметичностью щитка передка обеспечить значительно проще, так как в ней имеется небольшое количество сквозных отверстий и уплотнения в них ставятся при значительно меньшем стеснении. В нишах всегда находится чистый

воздух, поступающий обычно из зоны, расположенной перед лобовым стеклом. Такие перегородки имеет смысл ставить не только на легковых, но и на большинстве других, в том числе, и грузовых автомобилей.

Если будет решена проблема предотвращения проникновения подкапотных газов через неплотности щитка передка, то с задачей защиты салона от поступления в него загрязняющих атмосферу веществ через неплотности других ограждающих салон панелей при движении автомобиля с закрытыми окнами система вентиляции автомобиля вполне может справиться. Так, для этих целей в салоне автомобиля, движущегося со скоростью, равной 150 км/ч, требуется создать подпор давления, равный 200 Па. Если же вентиляционная система сможет поддерживать в салоне неподвижного автомобиля подпор давления, равный 150 Па, то защита салона при движении будет обеспечена до скоростей свыше 120 км/ч. Такие задачи вполне выполнимы для современных систем вентиляции.

Таким образом, способ защиты салона автомобиля от проникновения в него вредных для человека веществ путем повышения внутреннего давления не является универсальным. С помощью данного способа можно осуществить защиту салона при условии, что в нём будет работать только принудительная система вентиляции. Но даже в этом случае с помощью данного способа можно бороться с поступлением загрязняющих веществ только через неплотности днища, задней стенки и нижней части боковых панелей автомобиля. Для предотвращения поступления в салон нежелательных веществ через другие панели требуется проведение дополнительных мероприятий - таких, как более тщательная герметизация неплотностей этих панелей, установка дополнительных герметичных перегородок и т.п. Кроме того, следует учитывать, что применение данного способа обеспечивает надежную защиту салона при современных вентиляционных установках на каждом их режиме только до определенной скорости движения автомобиля.

Библиографический список

1. **Палутин Ю. И.** Теоретические и экспериментальные исследования внутренней аэродинамики салонов автобусов: автореферат дис. ... канд. техн. наук. – М, 1979. – 27 с.
2. **Гоецц, Н.** Концерн “ Даймлер-Бенц ”. Влияние результатов испытаний в аэродинамической трубе на форму кузова, вентиляцию и загрязнение поверхности легковых и спортивных автомобилей // Аэродинамика автомобиля: сб. статей: [пер. с англ.]. – М.: Машиностроение, 1984. С. 163–185.
3. **Шенкель, Ф. К.** Причины снижения аэродинамического сопротивления и подъёмной силы на автомобилях с передними и задними щитками // Аэродинамика автомобиля: сб. статей: [пер. с англ.]. – М.: Машиностроение, 1984. С. 309–323.

*Дата поступления
в редакцию 09.04.2010*

Yu. I. Palutin

DETERMINATION OF THE REQUIRED AIR PRESSURE QUANTITY IN AN AUTOMOBILE SALON

The article analyses the possibility to protect automobile salons from dust and other harmful substances with the help of air pressure. A number of experiments has been carried out and the possibility of this method has been shown. It is proved that the operating conditions of vent systems have the certain limited speed of automobile movement. If this speed is not exceeded harmful substances do not penetrate into the automobile salon.

Key words: air pressure; salon protection; hermetic body.

УДК 621.926

Л.Г. Лавров, Н.А. Кузьмин

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ И УПРАВЛЕНИЕ ИМИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Приводится пример применения экономико-математического и имитационного моделирования для исследования и оптимизации работы сложных систем. В качестве объекта принята работа группы автомобилей на маятниковом маршруте, снабжающих некоторым видом грузов склад клиента-потребителя со склада клиента-поставщика. В модель включены система воздействия на процесс помех и противодействующая этому система оперативного управления (сменно-суточное планирование и линейная диспетчеризация). Приведены краткие описания упомянутых алгоритмов функционирования системы, канала воздействия помех и системы оперативного управления.

Ключевые слова: моделирование, оптимизация, алгоритм, груз, маршрут, склад, система, управление, помеха, диспетчеризация.

Повышение эффективности перевозок грузов автомобильным транспортом невозможно без непрерывного совершенствования систем управления этим процессом. На уровне автотранспортного предприятия большой вес имеет подсистема оперативного управления перевозками. Изучение основных закономерностей функционирования этой подсистемы с целью ее последующей оптимизации на реальных производственных процессах (по причине высокого уровня их неопределенности) представляет довольно сложную задачу. Кроме того, следует иметь в виду, что такая методика требует слишком больших временных и материальных затрат и вряд ли может быть рекомендована для практического использования. Одним из практически приемлемых путей решения этой задачи является создание достаточно адекватной имитационной модели транспортного процесса как объекта управления, и системы управления этим процессом с последующим многократным анализом ее на ЭВМ. Такая методика позволяет быстро менять структуру системы управления, применяемую стратегию и основные ее параметры и, после анализа полученных результатов, выбирать наиболее оптимальный вариант. Экономическая эффективность такой методики очевидна.

В качестве объекта управления примем работу группы автомобилей, снабжающих некоторым видом груза склад клиента-потребителя, на маятниковом маршруте с обратным незагруженным пробегом. В этом случае моделированию подлежат два взаимосвязанных процесса: процесс перемещения автомобилей по маршруту и процесс перемещения единиц груза со склада клиента-поставщика на склад клиента-потребителя, а также процесс накопления и расходования груза на этом складе.

В процессе выполнения сменно-суточного задания любой автомобиль в любой момент времени может находиться в одном из девяти состояний:

- 1 - в автотранспортном предприятии;
- 2 - в первом нулевом пробеге;
- 3 - в очереди на пост погрузки;
- 4 - на погрузке на одном из постов погрузки;
- 5 - в движении с грузом;
- 6 - в очереди на пост разгрузки;
- 7 - на разгрузке на одном из постов разгрузки;
- 8 - в холостом пробеге;
- 9 - во втором нулевом пробеге.

Каждая единица груза может находиться в любой момент времени в одном из шести состояний:

- 1 - на складе клиента-поставщика;
- 2 - в кузове грузящегося автомобиля;
- 3 - в процессе перевозки;
- 4 - в кузове автомобиля, ожидающего разгрузки;
- 5 - в кузове разгружающегося автомобиля;
- 6 - на складе клиента-потребителя.

Реальному процессу перемещения автомобилей по маршруту в модели будет соответствовать последовательный переход автомобилей из одного состояния в другое. Тогда реальному процессу можно поставить в соответствие некоторый марковский процесс перехода объекта управления из одного состояния в другое, определяемый графом переходов анализируемой системы, представленным на рис. 1.

Переходу автомобилей из одного состояния в другое будет соответствовать дифференциальное уравнение вида

$$\frac{dx_i}{dt} = -\mu_{ij}P_{ij}x_i + \mu_{ki}P_{ki}x_k, \quad (1)$$

где x_i - текущее количество автомобилей в i -м состоянии; P_{ij} - вероятность перехода автомобиля из данного i -го состояния в последующее j -е; μ_{ij} - интенсивность такого перехода, определяемая как величина обратная времени пребывания в данном i -м состоянии.

Для единиц груза по аналогии

$$\frac{dy_i}{dt} = -\eta_{ij}P_{ij}^r y_i + \eta_{ki}P_{ki}^r y_k. \quad (2)$$

С учетом того, что оба рассматриваемых процесса взаимосвязаны, можно принять

$$v_{ij} = \mu_{kl} q_H \gamma_c \quad (3)$$

для одноименных состояний, кроме v_{01} (интенсивность поступления груза на склад клиента-поставщика) и v_{60} (интенсивность расходования груза со склада клиента-потребителя). Эти величины должны быть определены в исходных данных.

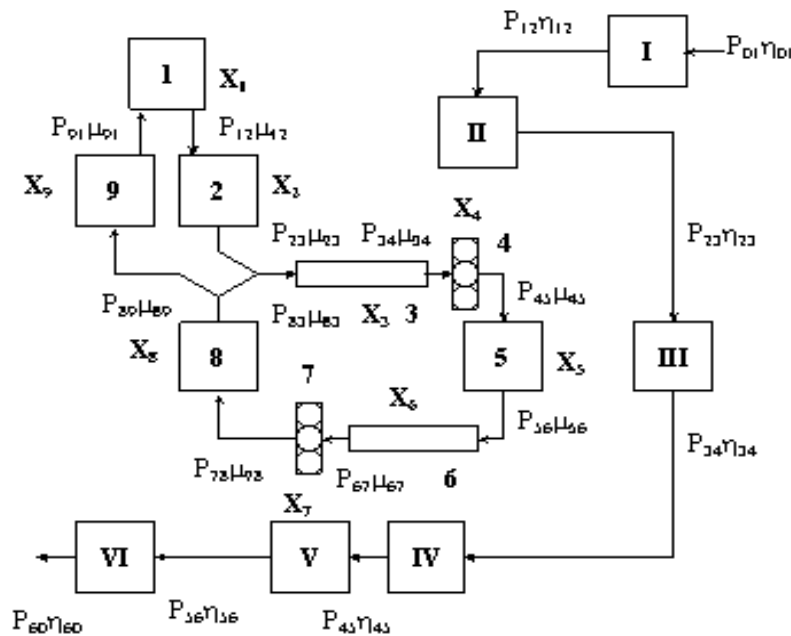


Рис. 1. Совмещенный граф перемещения автомобилей и единиц груза (римскими цифрами обозначены номера состояний для единиц груза)

Вероятности переходов автомобилей из одного состояния в другое используем для управления движением автомобилей. Для этого будем рассматривать их как булевы переменные, принимающие значение 0, если данный переход из одного состояния в другое необходимо запретить, и 1, если такой переход разрешен. Будем считать, что вероятности переходов $P_{23}, P_{34}, P_{45}, P_{56}, P_{67}, P_{78}$ и P_{91} всегда равны единице. Вероятности P_{12}, P_{83} и P_{89} могут принимать значения 0 или 1 и связаны между собой следующей зависимостью: если $P_{12} = 0$, то P_{89} может принимать значения 0 или 1, если $P_{12} = 1$, то P_{89} может иметь только нулевое значение и наоборот. Для вероятностей P_{83} и P_{89} установим следующую зависимость: $P_{83} = 0$, если $P_{89} = 1$ и $P_{83} = 1$, если $P_{89} = 0$.

Тогда моделируемым процессам можно поставить в соответствие представленный на рис. 1 следующий граф переходов автомобилей и единиц груза из одного состояния в другое.

Тогда перемещению автомобилей по маршруту и перемещению единиц груза могут быть поставлены в соответствие две системы дифференциальных уравнений (4) и (5), непрерывное интегрирование которых будет моделировать протекание обоих процессов.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_1}{dt} = -\text{sign}(x_1)P_{12} \min \left\{ \frac{m_4 \delta_4 n_4}{2q_H \gamma_c t_{ц4}}; x_5 \frac{l_M}{v_{ТГ}}; \frac{m_7 \delta_7 n_7}{2q_H \gamma_c t_{ц7}}; x_8 \frac{l_M}{v_{ТХ}} \right\} + x_9 \frac{l_0}{v_{ТХ}}; \\ \frac{dx_2}{dt} = -x_2 \frac{l_0}{v_{ТХ}} + \min \left\{ \frac{m_4 \delta_4 n_4}{2q_H \gamma_c t_{ц4}}; x_5 \frac{l_M}{v_{ТГ}}; \frac{m_7 \delta_7 n_7}{2q_H \gamma_c t_{ц7}}; x_8 \frac{l_M}{v_{ТХ}} \right\}; \\ \frac{dx_3}{dt} = -\min \left\{ \frac{m_4 \delta_4 n_4}{2q_H \gamma_c t_{ц4}}; \left(x_2 \frac{l_0}{v_{ТХ}} + x_8 P_{83} \frac{l_M}{v_{ТХ}} \right) \right\} + x_2 \frac{l_0}{v_{ТХ}} + x_8 P_{83} \frac{l_M}{v_{ТХ}}; \\ \frac{dx_4}{dt} = -\frac{m_4 \delta_4 n_4}{2q_H \gamma_c t_{ц4}} + \min \left\{ \frac{m_4 \delta_4 n_4}{2q_H \gamma_c t_{ц4}}; \left(x_2 \frac{l_0}{v_{ТХ}} + x_8 P_{83} \frac{l_M}{v_{ТХ}} \right) \right\}; \\ \frac{dx_5}{dt} = -x_3 \frac{l_M}{v_{ТГ}} + \frac{m_4 \delta_4 n_4}{2q_H \gamma_c t_{ц4}}; \\ \frac{dx_6}{dt} = -\min \left\{ \frac{m_7 \delta_7 n_7}{2q_H \gamma_c t_{ц7}}; x_5 \frac{l_M}{v_{ТГ}} \right\} + x_5 \frac{l_M}{v_{ТГ}}; \\ \frac{dx_7}{dt} = -\frac{m_7 \delta_7 n_7}{2q_H \gamma_c t_{ц7}} + \min \left\{ \frac{m_7 \delta_7 n_7}{2q_H \gamma_c t_{ц7}}; x_5 \frac{l_M}{v_{ТГ}} \right\}; \\ \frac{dx_8}{dt} = -x_8 P_{83} \frac{l_M}{v_{ТХ}} + \frac{m_7 \delta_7 n_7}{2q_H \gamma_c t_{ц7}}; \\ \frac{dx_9}{dt} = -x_9 \frac{l_0}{v_{ТХ}} + x_8 P_{83} \frac{l_M}{v_{ТХ}}. \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dy_1}{dt} = -\mu_{34} P_{34} x_3 q_H \gamma_c + \eta_{01} P_{01}^r y_0; \\ \frac{dy_2}{dt} = -\mu_{45} P_{45} x_4 q_H \gamma_c + \mu_{34} P_{34} x_3 q_H \gamma_c; \\ \frac{dy_3}{dt} = -\mu_{56} P_{56} x_5 q_H \gamma_c + \mu_{45} P_{45} x_4 q_H \gamma_c; \\ \frac{dy_4}{dt} = -\mu_{67} P_{67} x_6 q_H \gamma_c + \mu_{56} P_{56} x_5 q_H \gamma_c; \\ \frac{dy_5}{dt} = -\mu_{78} P_{78} x_7 q_H \gamma_c + \mu_{67} P_{67} x_6 q_H \gamma_c; \\ \frac{dy_6}{dt} = -\eta_{60} P_{60}^r y_6 + \mu_{78} P_{78} x_7 q_H \gamma_c, \end{array} \right. \quad (5)$$

где l_m - длина маршрута, км; $v_{тх}$ - техническая скорость движения автомобиля без груза, км/ч; $v_{тг}$ - техническая скорость движения автомобиля с грузом, км/ч; m_i - число постов в i -м пункте погрузки (разгрузки); n_i - число погрузо-разгрузочных машин в i -м пункте погрузки (разгрузки); δ_i - грузоподъемность погрузочной (или разгрузочной) машины в i -м пункте погрузки (разгрузки); $t_{ци}$ - время цикла погрузочной (или разгрузочной) машины; l_0 - длина нулевого пробега; q_H - номинальная грузоподъемность автомобиля; γ_c - статический коэффициент использования грузоподъемности.

Однако обычное решение этих двух систем не обеспечивает получения целочисленного решения и компенсацию ошибки квантования текущего времени. Поэтому для их решения применим чисто имитационный метод интегрирования. Сущность этого метода заключается в последовательной обработке состояний автомобилей в направлении, встречном их движению, начиная с девятого состояния. Содержание такой обработки разберем на примере перехода автомобилей из пятого состояния в шестое:

- 1) устанавливается номер обрабатываемого состояния (в данном случае - пятый);
- 2) проверяется количество автомобилей в рассматриваемом состоянии и, если оно равно нулю, обработка данного состояния завершается;
- 3) если в рассматриваемом состоянии автомобили есть, то путем проверки всех автомобилей маршрута устанавливаются те, которые находятся в данном состоянии;
- 4) для каждого находящегося в данном состоянии автомобиля производится увеличение текущего времени пребывания его в этом состоянии на величину периода интегрирования;
- 5) возрастает текущий пробег с грузом в данной езде на величину, равную произведению периода интегрирования на значение действующей в данный момент скорости движения с грузом;
- 6) количество единиц груза в рассматриваемом состоянии увеличивается на их количество в кузове данного автомобиля;
- 7) если текущий пробег с грузом в данной езде у рассматриваемого автомобиля меньше длины маршрута, то берется следующий находящийся в данном состоянии автомобиль и осуществляется переход к п.4 алгоритма, в противном случае - к п. 8;
- 8) определяется ошибка по пробегу за счет квантования времени как разность между значением текущего пробега с грузом и длиной маршрута;
- 9) находится ошибка по времени движения с грузом в данной езде как разность между полученным временем и частным от деления ошибки по пробегу на действующее значение скорости движения с грузом;
- 10) рассматривается накопленный за время в наряде пробег автомобиля с грузом путем увеличения его на длину маршрута;
- 11) вычисляется накопленное время движения с грузом путем увеличения его на время движения с грузом за данную ездку и уменьшения на ошибку по времени;
- 12) количество единиц груза в рассматриваемом состоянии уменьшается на фактическую грузоподъемность рассматриваемого автомобиля;
- 13) номер состояния увеличивается на единицу;
- 14) количество автомобилей в рассматриваемом состоянии уменьшается на один автомобиль;
- 15) количество автомобилей в последующем (шестом) состоянии увеличивается на один автомобиль;
- 16) текущее время пребывания данного автомобиля в последующем (шестом) состоянии устанавливается равным ошибке по времени, а его текущий пробег в новом состоянии обнуляется;
- 17) количество груза в шестом состоянии увеличивается на фактическую грузоподъемность автомобиля;

18) осуществляется переход к моделированию пробега с грузом следующего автомобиля, находящегося в данном состоянии;

19) после обработки всех автомобилей в данном состоянии осуществляется переход к моделированию следующего (по алгоритму) четвертого состояния.

Предлагаемый алгоритм позволяет не только обеспечить получение целочисленного решения и компенсацию ошибки квантования по времени, но и дает возможность вычислять результирующие показатели по каждому конкретному автомобилю, что существенно увеличивает степень его адекватности реальному процессу.

Приведенная ранее имитационная экономико-математическая модель маятникового маршрута соответствует случаю стабильных параметров транспортного процесса. Однако в реальных условиях параметры этого процесса подвержены заметным случайным и неслучайным колебаниям под воздействием различного рода помех. Главным образом это касается скоростей движения, продолжительности простоя под погрузкой и разгрузкой и интенсивности расхода груза со склада клиента-потребителя. Собственно наличие помех и обуславливает необходимость системы управления, компенсирующей воздействие этих помех.

В предлагаемой модели воздействию помех подвержены пять параметров: скорость движения с грузом, скорость движения без груза, производительность одного поста погрузки, производительность одного поста разгрузки и интенсивность расхода груза со склада клиента-потребителя. На любой из перечисленных параметров по каналу помех воздействуют одновременно две составляющие помехи.

Регулярная составляющая (в модели она названа постоянной) имеет вид одиночного импульса заданной в исходных данных ширины и амплитуды или синусоиды. Эта составляющая воздействует на скорости всех автомобилей сразу, на производительность всех постов погрузки, всех постов разгрузки, а также на интенсивность расхода груза со склада клиента-потребителя. С помощью этой составляющей можно имитировать колебания параметров модели в течение суток. Постоянная составляющая вычисляется в алгоритме по формулам соответственно:

- для синусоиды

$$P_d = P_n + \sigma \sin(\omega t + \varphi), \quad (6)$$

где P_d - действующее значение параметра; P_n - начальное значение параметра, заданное в исходных данных; σ - амплитуда постоянной составляющей; ω - частота изменения; t - текущее время; φ - начальное значение фазы;

- для одиночного импульса

$$P_d = \begin{cases} P_n, & \text{если } t < t_n \text{ или } t > t_k \\ \sigma P, & \text{если } t_n < t < t_k, \end{cases} \quad (7)$$

где t_n - момент начала действия импульса; t_k - момент окончания действия импульса; σ - амплитуда импульса.

На регулярную составляющую накладывается случайная составляющая помехи, генерируемая через заданные в исходных данных интервалы отдельно для каждого автомобиля, каждого поста погрузки или разгрузки и для интенсивности потребления груза со склада клиента-потребителя. Случайная составляющая представляет собой нормальный случайный процесс $\xi(t)$ с корреляционной функцией вида

$$\rho(\tau) = \sigma^2 y^{\omega^* |\tau|} \cos \omega_0 \tau, \quad (8)$$

где σ - среднеквадратичное отклонение; ω^* - величина корреляции процесса; ω_0 - скрытая частота повторения.

Для генерации подобного процесса в модели используется следующий рекуррентный алгоритм:

- вычисляются два равномерно распределенных на интервале (0;1) последовательных числа по формуле

$$X[n] = \{X[n-1] + 3.14159\} - E\{X[n-1] + 3.14159\}, \quad (9)$$

где $X[n]$ - определяемое равномерно распределенное число; $X[n-1]$ - предшествующее ему такое же число; $E(\dots)$ - целая часть от выражения в скобках;

- формируется значение вспомогательного случайного процесса («белый шум») с математическим ожиданием $m_y = 0$ и дисперсией $D_y = \sigma^2$:

$$Y[n] = \sigma \sqrt{-2 \ln X[n-1]} \sin \pi X[n], \quad (10)$$

- генерируется значение случайной составляющей по выражению

$$\xi[n] = a_0 Y[n] + a_1 Y[n-1] + b_1 \xi[n-1] + b_2 \xi[n-2], \quad (11)$$

где $a_0 = \sigma \alpha = \sigma \sqrt{(\alpha_1 \pm \sqrt{\alpha_1^2 - 4\alpha_0^2})/2}$; $a_1 = \sigma \alpha_0 / \alpha$, $b_1 = 2\rho \cos \gamma_0$; $b_2 = -\rho^2$; $\alpha_0 = \rho(\rho^2 - 1)$;

$\alpha_1 = 1 - \rho^4$. Здесь $\rho = e^{\gamma^*}$; $\gamma^* = \omega^* \Delta t$; $\gamma_0 = \omega_0 \Delta t$ (Δt - шаг генерации).

Система управления работой моделируемого объекта полностью имитирует действия управленческого персонала при руководстве работой маршрута. Структурная схема системы приведена на рис. 2.

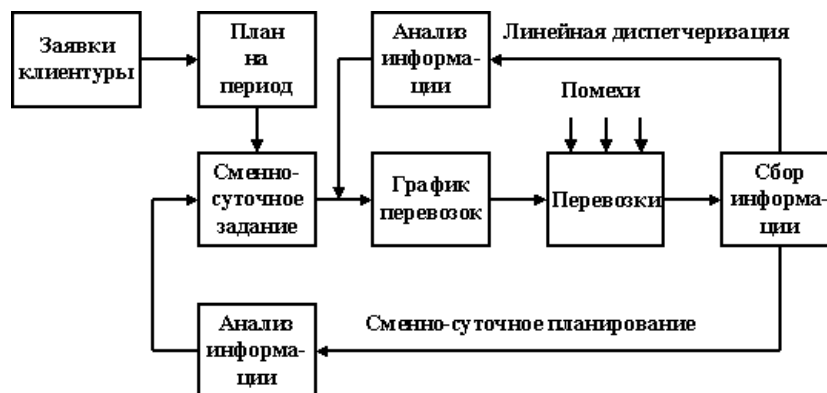


Рис. 2. Структурная схема системы управления

Система реализует два контура управления: сменно-суточное планирование и линейное диспетчерское руководство, причем по каждому контуру управления предлагаются альтернативные варианты стратегий управления, что дает возможность пользователю программы выбирать наиболее оптимальный вариант управления для конкретных условий работы маршрута.

Контур сменно-суточного планирования может осуществлять свои функции в соответствии с любой из четырех стратегии управления по выбору пользователя. Для задания той или иной стратегии необходимо только в исходных данных указать номер выбираемой стратегии – 1, 2, 3 или 4.

Независимо от принятой стратегии работа контура сменно-суточного планирования начинается с учета результатов работы за прошедший период и прогнозирования условий работы на планируемые сутки. Прогнозированию подлежат параметры, подверженные воздействию помех. В качестве метода прогнозирования в модели применен метод статистического прогноза по одной точке. Эта операция выполняется по формуле

$$P_k = m_p + \rho_u (P_{k-u} - m_p), \quad (12)$$

где P_k - прогнозируемое значение параметра на планируемые k -е сутки; m_p - математическое ожидание или нормативное (исходное) значение прогнозируемого параметра; ρ_u - нор-

мированная корреляционная функция, вычисляемая на основе данных о работе за предшествующий период; P_{k-u} - последнее известное значение этого параметра; u - число дней задержки информации, определяемое временем обработки путевых листов.

Точность прогнозирования оценивается средним квадратом ошибки:

$$e_k^2 = \sigma_p^2 (1 - \rho_u^2), \quad (13)$$

где e_k^2 - ошибка прогноза; σ_p^2 - дисперсия процесса изменения параметра.

Ошибка прогноза определяется в основном величиной периода задержки информации, который задается в исходных данных. После этого производится расчет объема перевозок по маршруту на планируемые сутки с учетом отклонений в выполнении плановых заданий за дни предшествующего периода.

Наличие отклонений, как и в реальных условиях, образуется из-за неполноты компенсации воздействий помех системой управления и неизбежной ошибки прогноза.

По первой стратегии объем перевозок на планируемые сутки рассчитывается из условий равномерного распределения образовавшегося «перевоза» или «недовоза» на данный момент по оставшимся дням периода моделирования по формуле

$$Q_k = \left(Q - \sum_1^{k-u-1} Q_k' - \sum_{k-u}^{k-1} Q_k \right) / [D - (k-1)], \quad (14)$$

где Q_k - планируемый объем перевозок на k -е сутки; Q - объем перевозок, планируемый на весь период моделирования; Q_k' - фактически выполненный объем перевозок за k -е сутки; D - продолжительность периода моделирования в сутках; k - номер планируемых суток; u - число дней задержки информации.

По второй стратегии управления планируемый объем перевозок определяется исходя из требования немедленного устранения образовавшегося «перевоза» или «недовоза» уже в течение планируемых суток:

$$Q_k = \frac{Qk}{D} - \sum_1^{k-u-1} Q_k' - \sum_{k-u}^{k-1} Q_k. \quad (15)$$

Если в двух первых случаях критерием для определения сменно-суточного задания являлось лишь требование обязательного выполнения планового задания за весь период моделирования, то в третьей и четвертой стратегиях учитывается и изменение запасов груза на складе клиента-потребителя.

При расчете объема перевозок на сутки по третьей стратегии его величина ежесуточно определяется как разность между емкостью склада потребителя груза и фактическим количеством его на складе:

$$Q_k = I_{\max} - I, \quad (16)$$

где Q_k - планируемый суточный объем перевозок; I_{\max} - емкость склада; I - текущее количество груза на складе.

Рассмотренная стратегия известна в научной литературе как стратегия постоянной периодичности заказа.

При использовании четвертой стратегии суточный объем вычисляется так же, как и в предыдущем случае, но только на те дни, когда количество груза на складе становится меньше установленного в исходных данных страхового запаса. В остальные дни назначается нулевой объем, и маршрут в эти дни не работает:

$$Q_k = \begin{cases} I_{\max} - S, & \text{если } I \leq S \\ 0, & \text{если } I > S \end{cases}, \quad (17)$$

где S - уровень страхового запаса.

Такая стратегия известна под названием стратегии с установленной периодичностью пополнения запасов до постоянного уровня.

После этого, на основании установленного суточного объема перевозок, результатов прогнозирования и данных о маршруте и используемом подвижном составе по формулам, известным из курса грузовых автомобильных перевозок, производится расчет потребного числа автомобилей, по желанию устанавливается резерв провозных возможностей, определяется число постов погрузки и разгрузки и вычисляется интервал движения и график выпуска автомобилей на линию, после чего происходит передача управления в контур линейной диспетчеризации.

В контуре линейной диспетчеризации осуществляется управление работой автомобилей на линии в процессе выполнения ими сменно-суточного задания. Управление основано на соблюдении равенства:

$$I = \min(R_{\text{пог}}; R_{\text{раз}}), \quad (18)$$

где I - интервал движения; $R_{\text{пог}}$ - ритм пункта погрузки; $R_{\text{раз}}$ - ритм пункта разгрузки.

Выполнение этого условия обеспечивает минимум времени простоя автомобилей в очередях на погрузку и выгрузку и минимум времени простоя постов погрузки и разгрузки в ожидании автомобилей. Осуществляется оно путем регулирования количества автомобилей на маршруте. В модели снятие автомобилей с маршрута или их добавление из резерва (если таковой имеется) производится изменением значений вероятностей переходов P_{12} , P_{83} и P_{89} (см. граф переходов автомобилей):

- при $P_{12} = 1$, $P_{83} = 1$ и $P_{89} = 0$ - происходит выпуск автомобилей на линию;
- при $P_{12} = 0$, $P_{83} = 1$ и $P_{89} = 0$ - количество автомобилей на линии остается неизменным;
- при $P_{12} = 0$, $P_{83} = 0$ и $P_{89} = 1$ - происходит снятие автомобилей с маршрута.

В контуре линейной диспетчеризации предусмотрено два варианта диспетчерского управления. Выбор того или иного варианта задается указанием его номера (1 или 2) в исходных данных.

Первый вариант диспетчерского управления соответствует наиболее применяющемуся «ручному» методу диспетчеризации и выполняется по следующему алгоритму:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{если } A_{\text{п}} - m_n > D_1 \text{ или } A_{\text{р}} - m_{\text{р}} > D_1 \text{ то } P_{12} = 0, P_{83} = 0, P_{89} = 1; \\ \text{если } A_{\text{п}} - m_n > D_2 \text{ и } A_{\text{р}} - m_{\text{р}} > D_2 \text{ то } P_{12} = 1, P_{83} = 1, P_{89} = 0; \\ \text{в остальных случаях} - P_{12} = 0, P_{83} = 1, P_{89} = 0. \end{array} \right. \quad (19)$$

Здесь $A_{\text{п}}$ и $A_{\text{р}}$ - количество автомобилей в пункте погрузки и пункте разгрузки соответственно; m_n и $m_{\text{р}}$ - число постов погрузки и разгрузки; D_1 и D_2 - допустимое с точки зрения диспетчера количество автомобилей (D_1) в очередях на погрузку или разгрузку и допустимое число свободных постов (D_2) погрузки или разгрузки (величины D_1 и D_2 задаются в исходных данных).

Параметром первого варианта диспетчерского регулирования является периодичность вмешательства диспетчера в перевозочный процесс:

$$T = nt_{\text{инт}}, \quad (20)$$

где n - количество интервалов интегрирования между очередными диспетчерскими воздействиями (задается в исходных данных); $t_{\text{инт}}$ - интервал интегрирования системы дифференциальных уравнений (задается в исходных данных) и чувствительность системы управления (величины D_1 и D_2)

При моделировании с целью отладки перевозочного процесса оптимизации подлежат оба указанных параметра управления.

Второй вариант диспетчерского руководства больше соответствует случаю диспетчеризации в условиях действия автоматизированной системы управления грузовыми перевоз-

ками. Принцип работы контура диспетчеризации по этому варианту состоит в непрерывном накоплении данных о работе маршрута за определенный период, вычислении средних за этот период и в расчете потребного количества автомобилей для нормальной работы в реально действующих условиях. Далее с заданной периодичностью система управления сравнивает расчетное потребное число автомобилей на маршруте A_p с фактическим A_{ϕ} и вырабатывает управляющее воздействие в соответствии со следующим алгоритмом:

$$\begin{aligned} \text{если } A_{\phi} > A_p, \text{ то } P_{12} &= 0, P_{83} = 0, P_{89} = 1; \\ \text{если } A_{\phi} < A_p, \text{ то } P_{12} &= 1, P_{83} = 1, P_{89} = 0; \\ \text{если } A_{\phi} = A_p, \text{ то } P_{12} &= 0, P_{83} = 1, P_{89} = 0. \end{aligned} \quad (21)$$

Параметрами этого варианта диспетчеризации является продолжительность периода накопления информации и, как и в первом варианте, периодичность управляющих воздействий.

Рассматриваемая модель, как уже отмечалось, представляет собой в действительности объединение целой группы моделей (движение автомобилей, перемещение груза, воздействие помех, работа системы управления, работа складов). Моделирование перемещения автомобилей и единиц груза осуществляется циклически, каждый раз за интервал времени, равный заданному периоду интегрирования. Для повышения точности моделирования в программу включен блок выявления и устранения ошибки квантования по времени. Перед каждым циклом скорости движения автомобилей, интенсивности погрузки, разгрузки и потребления склада клиента-потребителя изменяются в соответствии с заданным в исходных данных характером воздействия помехи. После выполнения заданного количества циклов моделирования происходит включение контура линейной диспетчеризации, который оценивает обстановку на маршруте и выдает управляющие воздействия путем соответствующего изменения значений вероятностных вентилей P_{12} , P_{83} и P_{89} .

Моделирование работы склада клиента-потребителя осуществляется непрерывно параллельно с работой маршрута и заключается в определении количества груза в нем с учетом случайного характера поставки и потребления. При этом особо выделяются состояния: отсутствие груза на складе (состояние дефицита) и его переполнение с подсчетом степени и их продолжительности.

Признаком конца моделирования одного дня периода является либо выполнение планового суточного объема перевозок, либо истечение заданного времени в наряде. По любому из этих признаков контур линейной диспетчеризации путем соответствующего переключения вероятностных вентилей начинает снимать автомобили с маршрута и направлять их в парк. Возврат в парк последнего автомобиля не является признаком конца моделирования дня работы в том случае, если время работы склада истекает позднее конца работы маршрута.

В этом случае прекращается только моделирование работы маршрута, работа же склада (в данном случае уже только на расходование груза) продолжается до истечения времени его работы. Аналогично и в начале смены, если склад начинает работу на отпуск позднее, моделируется только работа маршрута и прием груза на склад клиента-потребителя.

После завершения моделирования дня работы всей системы программа производит расчет натуральных и экономических показателей как в целом по маршруту, так и по каждому конкретному автомобилю, а также выдает их на печать вместе с показателями работы склада.

Большой объем информации, выводимой на печать в конце каждого дня работы, в ряде случаев может усложнить работу с моделью, поэтому в программе предусмотрены четыре метки блокировки печати отдельных групп данных. Это дает возможность пользователю программы выводить на печать только те показатели, которые его интересуют в каждом конкретном случае.

После выдачи результатов дня работы программа передает управление в контур сменно-суточного планирования и приступает к моделированию следующего дня работы точно так же, как это было описано.

Признаком окончания моделирования всего заданного периода служит либо выполнение заданного планового объема перевозок на весь период, либо завершение моделирования последнего дня работы. В этом случае, завершив печать результатов последнего дня работы, программа вычисляет результирующие показатели за весь период моделирования, выводит их на печать и завершает работу.

На рис. 3 приведен мгновенный снимок экрана компьютера во время работы программы (анимация). В процессе ее работы белые точки (автомобили) перемещаются по маршруту, отображая их передвижение. Также меняются и отображаемые числовые значения.



Рис. 3. Мгновенный снимок экрана компьютера

Использование рассмотренной модели позволяет получить ответы на вопросы по оптимизации технологии, организации и особенно управлению транспортными процессами, если путем обычных расчетов получить их не удастся, а производственный эксперимент слишком дорог и требует больших затрат времени и материальных ресурсов.

По приведенному алгоритму написана программа *Dispm* на языке Fortran. Программа включена в пакет "Прикладных программ по коммерческой и технической эксплуатации автомобилей и транспортной логистике".

Дата поступления
в редакцию 13.05.2010

L.G. Lavrov, N.A. Kuzmin

SIMULATION AND CONTROL OF TRANSPORT PROCESSES

The paper gives an application example of economic-mathematical simulation for research and optimization of difficult systems operation. As a test subject a group of vehicles on the float route was selected. The group of vehicles supplies storehouses of clients with various kinds of cargo from the storehouses of providers. The simulation model takes into account the influences of hindrances system and counteraction operative management system (daily planning and linear scheduling). Short descriptions of both algorithms of systems operating, cart-action channel and operational administration system are given in the paper.

Key words: simulation, optimization, algorithm, cargo, route, warehouse, system, management, hindrance, scheduling.

УДК 629.114.5

В.И. Песков¹, О.В. Воронков²**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ В КОНСТРУКЦИИ
АВТОБУСНЫХ КУЗОВОВ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
ООО «Самотлор-НН»²

Рассматриваются особенности использования сэндвич-панелей в качестве пола и крыши автобусных несущих кузовов. Приведены типовые расчетные схемы и нагрузочные режимы, применяемые ведущими мировыми производителями автобусных кузовов для оценки прочности и жесткости этих элементов несущего кузова. Рассмотрены особенности компоновки и конструкции одного из первых отечественных низкопольных автобусов, в кузове которого применены сэндвич-панели.

Ключевые слова: автобусный низкопольный кузов, трехслойные оболочки, сэндвич-панель, жесткость кузова, максимальные напряжения в кузовных элементах, компоновка кузова.

Проблемы совершенствования конструкции несущих автобусных кузовов относятся к разряду наиболее трудоемких и сложных, требующих больших трудозатрат и серьезных капиталовложений. Это, прежде всего, определяется тем фактом, что стоимость кузова автобуса обычно составляет 50-70% стоимости самого автобуса. В последнее время одной из востребованных конструкций городских автобусов является низкопольный вариант, т.е. имеющий кузов, высота пола в пассажирском отделении которого располагается по отношению к поверхности дороги на уровне первой ступеньки входа в автобус. Указанное конструктивное отличие существенно облегчает вход и выход пассажиров и их перемещения внутри салона, что в особенности касается пожилых людей, женщин с детьми (или, тем более, с детскими колясками) и пассажиров, перевозящих с собой багаж. Помимо повышения комфортности процедуры посадки-высадки пассажиров, низкопольность автобуса позволяет более просто решить и такую специфическую проблему, как перевозка людей с ограниченной двигательной способностью (например, инвалидов-колясочников), чему в последнее время стало уделяться гораздо больше внимания, вплоть до стремления законодательно закрепить необходимость предусмотрения в городском автобусе хотя бы одного специально оборудованного для этих целей места.

Из приведенных примеров ясно видна острая социальная потребность в низкопольных городских автобусах. Однако, несмотря на все неоспоримые преимущества такого типа общественного транспорта, существует целый ряд проблем конструктивного и технологического характера, препятствующих организации производства низкопольных автобусов в России в необходимых объемах, а также их широкому и повсеместному использованию в пассажирских перевозках в условиях больших городов. Во-первых, абсолютное большинство выпускаемых в нашей стране автобусов имеют устаревшую рамную конструкцию, что не позволяет у них понизить уровень пола до необходимой высоты с одновременным соблюдением требований профильной (геометрической) проходимости. Одной из серьезных причин является также тот факт, что низкопольная конструкция автобуса традиционно создается как вариант приспособления обычной конструкции его кузова, поэтому она получается сложнее и дороже. Выход из этой ситуации можно найти в совершенно новом подходе к процессу создания такого городского автобуса.

Самый простой способ получения прочной несущей конструкции автобусного кузова – применение для его каркаса материалов, имеющих более высокие прочностные характеристики. В этом плане уже есть примеры использования в автобусном кузовостроении высокопрочной нержавеющей стали. Но применение высокопрочных сталей, титана и его сплавов,

армированных пластиков и других композиционных материалов на основе сверхпрочных непрерывных волокон или нитевидных кристаллов в тонкостенных подкрепленных конструкциях, работающих в условиях изгиба и сжатия, часто бывает неэффективным. Это объясняется тем, что по условию прочности конструкции из этих материалов должны иметь очень малую толщину. Но при этом резко снижается момент инерции сечения пластины или оболочки, и конструкция, особенно при невысоких модулях упругости материала, имеет низкие критические напряжения потери устойчивости.

Этого недостатка лишены трехслойные пластины и оболочки, поэтому одним из самых современных способов создания несущего низкопольного кузова высокой прочности и жесткости является интеграция панелей пола и крыши в общую несущую систему в качестве ее полноправных и высокоэффективных элементов, что можно сделать с применением для этих элементов конструкции типа «сэндвич-панели». Эффект усилится, если наружные поверхности такого «сэндвича» будут выполнены из высокопрочного материала. Поскольку коррозия не должна разрушать относительно тонкие элементы легких сэндвич-панелей, применяемый материал не должен корродировать даже в самых неблагоприятных условиях, что свидетельствует о перспективности применения для этих целей оцинкованных или нержавеющей листовых сталей, алюминия или титана.

Основное компоновочное требование для панели пола заключается в том, что для полностью низкопольной конфигурации автобуса важно сохранить ее общую конструкцию настолько тонкой, насколько это возможно. Это необходимо, прежде всего, для достижения минимальной высоты входной ступеньки при одновременном сохранении удовлетворительного дорожного просвета. Главные конструктивные требования для такой панели пола заключаются в обеспечении необходимого уровня прочности, достаточного для поддержания распределенной нагрузки, минимум в 2,5 раза превышающей максимальную нагрузку от веса

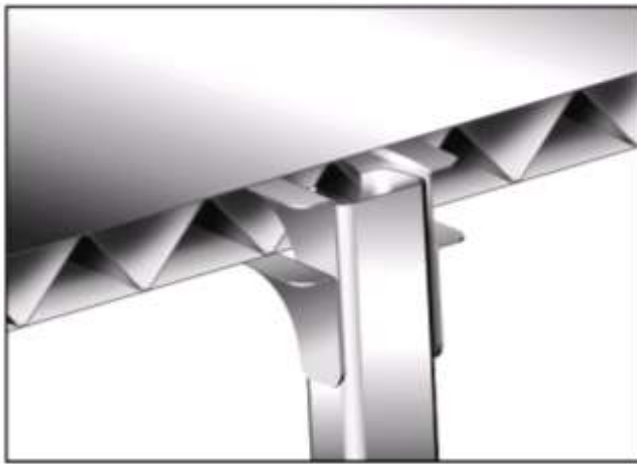


Рис. 1. Сэндвич-панель крыши автобуса

пассажира, и в том, чтобы панель имела высокие резонансные частоты, достаточные для обеспечения хороших виброшумовых свойств [1]. Для выполнения данных требований в качестве пола прототипа автобуса фирмы *Autokinetics* (США) было решено, например, использовать цельнометаллическую сэндвич-панель, собираемую при помощи точечной сварки, состоящую из двух плоских внешних листов и одного гофрированного внутреннего листа. Гофры ориентированы поперек транспортного средства. Внешние плоские листы имеют толщину 1,27 мм, внутренний гофрированный лист имеет толщину 0,762 мм. Аналогичная конструкция

использована в качестве панели крыши, что дает удобную и универсальную опору для устанавливаемых на крыше компонентов, таких, как кондиционер, топливные баки и элементы гибридной силовой установки. Панель крыши идентична панели пола, за тем исключением, что внешние листы имеют толщину всего 0,762 мм (рис. 1).

Нагрузочные режимы для испытаний общей прочности и жесткости несущего кузова известны. Один из таких режимов – это нагружение автобуса вертикальными силами, вызывающими изгиб несущей конструкции, которое соответствует вертикальной перегрузке в 2,5g, действующей на автобус при его полной загрузке в момент одновременного наезда обоими колесами одной из осей на дорожные препятствия одинаковой высоты [1]. Данная нагрузка не должна вызывать пластических деформаций несущей конструкции. Другой наиболее напряженный режим – это нагружение кузова вертикальными силами, соответ-

ствующими полному весу автобуса, при имитации наезда одного из колес передней оси на бордюр высотой 150-200 мм и одновременном попадании другого колеса этой оси в выбоину такой же глубины. При таком нагрузочном режиме конструкция одновременно испытывает деформации изгиба и кручения. Фирма *Autokinetics* при проведении исследований кузова прототипа нового автобуса обосновала решение совместить нагрузки от данных двух режимов в одно статическое проверочное испытание для целей обеспечения дополнительного коэффициента безопасности: в результирующем нагрузочном режиме приклады-валась распределенная по полу автобуса нагрузка, в 3,5 раза превышающая полный вес автобуса, в то время как транспортное средство опиралось только на левое переднее и правое заднее колеса. Также рассматривался нагрузочный случай переворота автобуса на крышу, что было представлено как приложенная к панели крыши равномерно распределенная вертикальная нагрузка, в 1,5 раза превышающая снаряженную массу автобуса [2].

Результаты проверочного расчета при указанном нагрузочном режиме «изгиб с кручением» таковы: максимальные действующие напряжения даже не приближаются к пределу текучести стали *Nitronic 30*, использованной для листов сэндвич-панелей, следовательно, пластические деформации в данном случае не имеют места. Максимальное упругое перемещение – всего 12,7 мм. Это говорит о закручивании кузова на длине базы меньше 1° , что можно отнести к разряду очень хороших показателей жесткости. Напряжения, действующие при данном нагрузочном режиме, ниже предела выносливости материала *Nitronic 30*, который составляет 482 МПа [2], из чего можно сделать заключение об отличных рабочих характеристиках кузова нового автобуса. Результаты расчета режима приложения аварийной нагрузки к трехслойной панели крыши показали, что напряжения при этом нагрузочном режиме также ниже предела текучести.

Для автобусного производства наиболее пригодными считаются цельнометаллические и комбинированные сэндвич-панели, принципиальные схемы которых показаны на рис. 2.

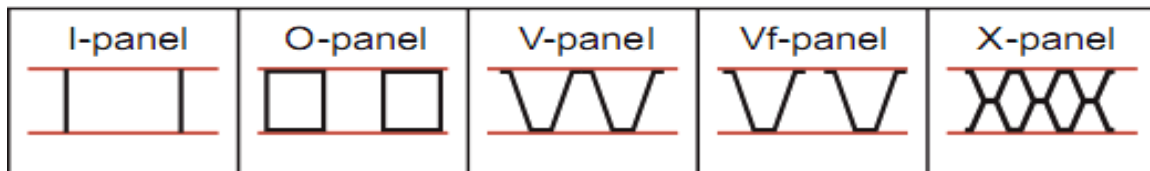


Рис. 2. Схемы трехслойных панелей, перспективных для производства автобусных кузовов

На рис. 3 показана расчетная схема, использованная для сравнения различных типов цельнометаллических трехслойных панелей из нержавеющей стали, конструкция которых легче всего реализуется в условиях автобусного производства.

Размеры исследуемых панелей в плане были взяты 1000x1000 мм. В центре верхней обшивки прикладывалась нагрузка, сосредоточенная на квадрате со стороной 10 мм, кромки нижней обшивки панели были свободно оперты по краям. Прикладывалась суммарная нагрузка двух величин – 1500 Н и 3000 Н. Допустимые напряжения в обшивках ограничивались на уровнях в 210 МПа, 355 МПа и 680 МПа.

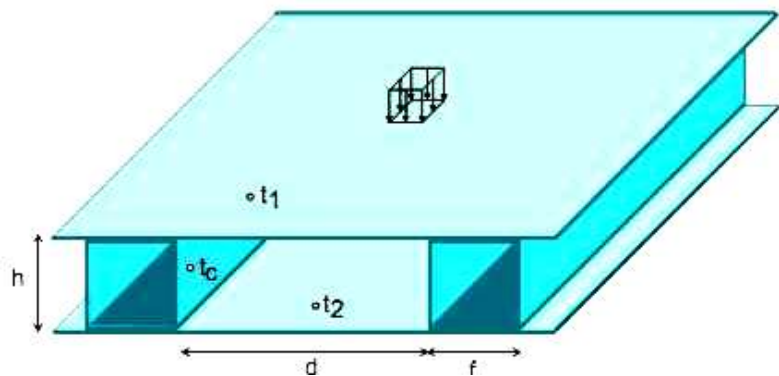


Рис. 3. Расчетная схема нагружения сэндвич-панели пола

Перемещения от локального изгиба ограничивались на уровне 2 мм, от общего изгиба панели – на уровне 5 мм. Прочие параметры панели оптимизировались с целью достижения минимальной массы конструкции. Результаты расчетов показали, что наиболее эффективными являются сэндвич-панели типа «Vf» и «I» (рис. 2), немного им уступают, являясь наиболее простыми в изготовлении, панели типа «O». Именно такого типа сэндвич-панели пола и крыши применены в конструкции городского низкопольного автобуса «Самотлор-3283» (рис. 4), непосредственное руководство работами по разработке конструкции кузова которого и его сборке осуществлял один из авторов данной статьи [3].



Рис. 4. Победитель номинации «Лучший микроавтобус» автосалона «КРОКУС ЭКСПО 2006» низкопольный переднеприводный городской автобус «Самотлор-3283»

Указанная перспективная разработка представляет собой один из первых отечественных переднеприводных автобусов I класса, разработанных в соответствии с ГОСТ Р 41.107-99. В структуре автобуса применен целый ряд оригинальных компоновочных и конструктивных решений.

Во-первых, следует перечислить отличительные особенности автобуса с точки зрения его общей компоновки.

1. Передний привод, позволяющий автобусу унаследовать полный спектр преимуществ переднеприводного автомобиля, таких как маневренность и хорошая управляемость. Как результат применения переднего привода, необходимо отметить возможность создания автобуса-низкопольника с полностью плоским полом в пассажирском отделении, так как отпадает необходимость размещения узлов трансмиссии в пространстве под ним. При указанном подходе к компоновке необходима лишь относительно небольшая и легко осуществимая модификация базового шасси, которое в данном случае превращается в модуль, содержащий двигатель в сборе с узлами трансмиссии, ведущий мост с подвеской и рабочее место водителя со всеми приборами и органами управления.

2. Трехосная компоновка позволяет иметь достаточный задний свес для обеспечения необходимой пассажировместимости автобуса без перегрузки передней оси. Кроме того, в этом случае можно иметь небольшие по ширине колесные ниши задних колес, что позволяет размещать над ними пассажирские сиденья, существенно увеличивая эффективность использования пространства пассажирского салона.

3. Независимая подвеска всех четырех задних колес позволяет, благодаря отсутствию дополнительных поперечных силовых элементов, обеспечить достаточную величину дорожного просвета.

4. Размещение пассажирских сидений на подиумах дает возможность повисить ком-

форт пассажиров, так как разделяет по высоте расположения части салона, предназначенные для сидящих и стоящих пассажиров. В дополнение к этому, появляется возможность размещения узлов ходовой части и топливной системы в дополнительном пространстве под подиумами.

5. Широкий проем передней рабочей двери со сдвоенными створками обеспечивает легкий доступ в салон автобуса людей с ограниченными способностями передвижения, в том числе имеется возможность перевозки одного пассажира в инвалидной коляске.

6. Накопительная площадка для пассажиров напротив широкой двери обеспечивает им комфорт при посадке-высадке. Размещение данной площадки в пределах колесной базы способствует более полному нагружению передней оси при частичном заполнении автобуса, что положительно отражается на его свойствах управляемости и проходимости.

7. Пневматическая подвеска задних колес применена в силу своей компактности, а также благодаря возможности поддерживать постоянным уровень пола кузова автобуса при различных степенях его загрузки, что особенно важно для транспортного средства с относительно большим задним свесом и небольшим дорожным просветом для сохранения геометрических показателей проходимости на приемлемом для движения в городских условиях уровне. Дополнительными положительными качествами пневматической подвески в данном случае являются повышение комфорта пассажиров и уменьшение динамических нагрузок на несущую структуру автобуса, что является результатом общего снижения вибронагруженности кузова автобуса.

Во-вторых, имеется целый набор оригинальных решений, касающихся конструкции несущего кузова:

1. Кузов пассажирского отделения из комбинированных сэндвич-панелей «О-типа». Указанные панели, являясь наиболее простыми в изготовлении и достаточно эффективными с прочностных позиций, позволяют достичь существенного уменьшения собственной массы кузова по сравнению с общепринятой каркасной конструкцией из стальных труб и фанерного настила пола. Это уменьшение может достигать 25-30%. Предварительными расчетами была определена минимально допустимое расстояние между наружными листами сэндвича пола и крыши исходя из описанных ранее нагрузочных режимов (оно составило 50 и 22 мм соответственно).

2. Применение комбинированных панелей, в которых между трубчатыми ребрами размещается пеноматериал, позволяет в рамках нагрузочных ситуаций, характерных для автобусного кузова, одновременно получать преимущества, присущие цельнометаллическим панелям (жесткость при поперечном изгибе) и панелям с наполнителем из пеноматериала (хорошая тепло- и шумоизоляция, демпфирование вибраций, способность к восприятию в любой точке панели сосредоточенной нагрузки типа вертикального усилия от каблук-шпильки стоящей пассажирки и др.).

3. Применение панелей «О-типа» при рациональном размещении трубчатых ребер позволяет практически отказаться от дополнительных местных усилений в местах крепления поручней, сидений, кронштейнов других устройств. Закрепление деталей при этом осуществляется с помощью односторонних вытяжных заклепок.

4. Применение сэндвич-панелей «О-типа» позволяет формировать кузов автобуса по оригинальной технологии. Сначала изготавливаются сборочные единицы, формирующие систему трубчатых ребер основания, боковин, крыши, торцевых стенок. Выглядит такая система ребер как каркас соответствующей части, выполненный из легких тонкостенных труб. Далее к ребрам с помощью точечной сварки или прерывистым швом дуговой сварки привариваются обшивки одной стороны (оцинкованная листовая сталь толщиной 0,9 мм). После этого производится вклеивание в подсобранные сборочные единицы плит пеноматериала (пенопласт или пенополиуретан) и обшивок второй стороны панелей. При этом желательно использовать высококомодульный клей, работающий в виде тонких пленок (эпоксидная или полиэфирная смола, менее удачная альтернатива – двухкомпонентный полиуретановый

клей). Обязательным условием является полная или почти полная негорючесть клея в полимеризованном состоянии (к пеноматериалу предъявляются менее жесткие требования по горючести, так как он находится в пространстве, со всех сторон окруженном металлом при отсутствии доступа воздуха). При вклеивании плит пеноматериала, помимо обычной подготовки поверхностей к склеиванию (очистка, зашкуривание, обезжиривание), следует предусмотреть на них регулярные углубления, предназначенные для сбора излишков клея. Это позволит избежать «вспучивания» панели. После полимеризации клея производится приварка обшивок второй стороны панели, после чего осуществляется обязательная герметизация всех швов и стыков с помощью полиуретанового герметика. Соединение сборочных единиц производится путем сварки по крайним трубчатым ребрам.

5. Разделение остекления на два яруса позволило существенно упростить изготовление стекол и, следовательно, значительно снизить общую стоимость остекления.

6. Указанная технология сборки несущего кузова из сэндвич-панелей обеспечивает при эксплуатационных нагрузках его общего кручения и продольного изгиба совместную работу основания, боковины, крыши и вклеенных стекол, т. е. можно сказать, что в этом случае кузов представляет собой так называемый «сэндвич-панельный монокок». Это означает, что кузов работает как структурно единый замкнутый профиль, обеспечивая высокую жесткость и прочность конструкции.

7. Сэндвич-панельные боковины и крыша существенно повышают сопротивляемость пассажирского отсека деформированию при воздействии аварийных нагрузок, возникающих при опрокидывании автобуса и, особенно, при боковом наезде другого автомобиля. Основной вклад здесь вносят боковины и способ их крепления к основанию, обеспечивающий надежную заделку по всей длине. Увеличению жесткости нижней части конструкции и повышению качества заделки боковин кузова в основание также существенно способствуют подиумы и надколесные кожухи.



Рис. 5. Нанесение клея на внутренний гофрированный лист сэндвича



Рис. 6. Вид с торца подсобранной сэндвич-панели пола автобуса

На международном автосалоне «КРОКУС ЭКСПО 2006» в Москве сэндвич-панельный низкопольник «Самотлор-3283» занял первое место в номинации «Лучший микроавтобус».

На модели автобуса «Самотлор-3241» была опробована эффективность сэндвич-панелей «V-типа» (рис. 5, 6). Здесь панели основания и крыши представляли собой конструкцию, состоящую из наружных оцинкованных обшивок и внутреннего гофрированного листа (толщиной 0,7 мм), которые скреплялись при помощи высокомолекулярного двухкомпонентного полиуретанового клея-герметика. Ребра гофрированного листа, допустимые пределы отклонения которых от вертикали были предварительно рассчитаны исходя из модели рис. 3 (допустимый диапазон этого угла оказался 80–90°), располагались перпендикулярно продольной оси кузова, что обеспечило хорошие показатели жесткости панелей.

Библиографический список

1. **Песков, В.И.** Основы эргономики и дизайна автомобиля: учеб. пособие / В.И. Песков; Нижегород. гос. техн. ун-т.– Н. Новгород, 2004.– 225 с.
2. **Ultralight Stainless Steel Urban Bus Concept** : отчет о НИР/ Autokinetics Inc. for SAE Technical Paper; рук. Emmons B.J. – USA, Washington, 2001. – 22 p.
3. **Воронков О.В.** Новое в конструкции и проектировании автобусных кузовов: монография / О.В. Воронков, В.И. Песков, А.А. Хорычев; Нижегород. гос. техн. ун-т.– Н. Новгород, 2009. – 186 с.

*Дата поступления
в редакцию 20.05.2010*

V.I. Peskov, O.V. Voronkov

USING SANDWICH-PANELS IN BODY BUS CONSTRUCTION

Considered special features of using sandwich-panels for floor and roof of bus carriage bodies. Gone typical calculation schemes and load regimes, using of leading bus body producers for assessment of durability and rigidity such elements of carriage body. Considered special features of composition and construction one of the first domestic bus with low floor, in body of which used sandwich-panels.

Key words: low floor bus body, three-layers constructions, sandwich-panel, body rigidity, maximal stress in body elements, body composition.

УДК 629.015

А.Б. Карташов

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИИ ХОДОВОЙ ЧАСТИ ГОРОДСКОГО АВТОМОБИЛЯ

Московский государственный технический университет Н.Э. Баумана

В статье обоснована актуальность применения композиционных материалов в ходовой части автомобилей. Представлены примеры движителя и рессоры на основе стеклопластика, разработанные и созданные в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Ключевые слова: автомобиль, проходимость, композиционный материал, рессора, ходовая часть, сопротивление качению, эксперимент.

Одним из путей снижения собственной массы городского автомобиля при переходе на альтернативные источники энергии является использование композиционных материалов не только в кузовных конструкциях, но и в ходовой части. Стеклопластик – материал на основе полимерной матрицы, упроченной стеклянными наполнителями (главным образом, стеклянными волокнами), является, по нашему мнению, наиболее перспективным для применения в ходовой части.

В таком материале стеклянные волокна воспринимают основную долю приходящейся на материал нагрузки, обеспечивая его прочность и жесткость. Полимерная матрица обеспечивает передачу напряжений между волокнами и включение их в работу, защищает наполнитель от воздействия внешней среды.

Отличительной особенностью стеклопластика является уникальное сочетание технически необходимых свойств – высокой прочности и демпфирующей способности, коррозионной и химической стойкости, низкой теплопроводности и плотности.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана разработаны и созданы конструкции колесных движителей с применением композиционных материалов (рис. 1, а, б) и независимых подвесок с монолистовой и многолистовой рессорой (рис. 2, а).

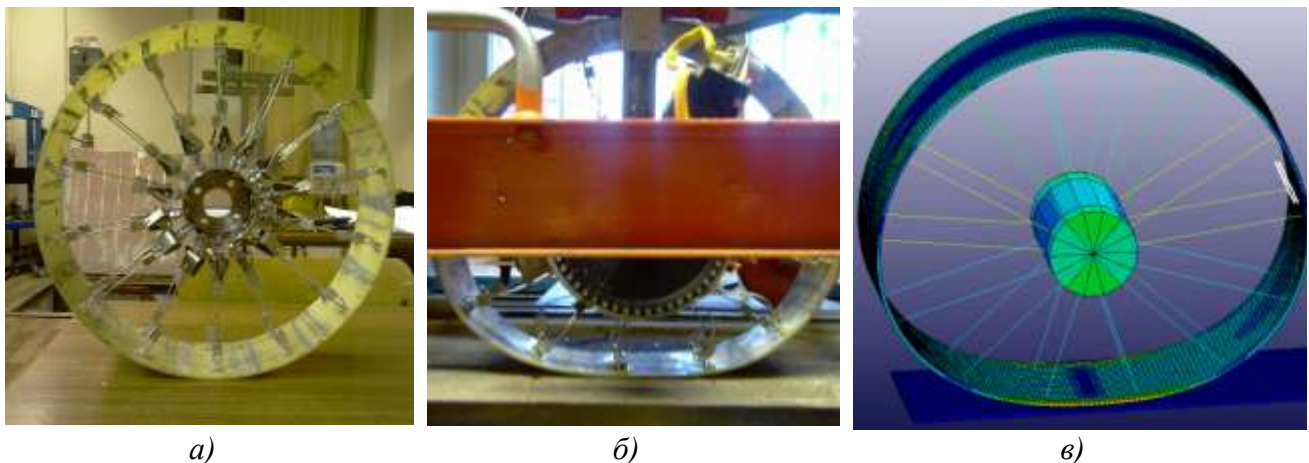


Рис. 1. Упругое стеклопластиковое колесо (опытный образец):
а – в свободном состоянии; б – под нагрузкой; в – конечно-элементная модель

Независимая подвеска с упругодемпфирующей рессорой из композиционного материала позволяет уменьшить массу подвески более чем в два раза. Рассеивание энергии колебаний в такой подвеске происходит за счет внутреннего трения в стеклопластике, что позволяет отказаться от использования амортизатора.

Кроме того, вследствие высокой прочности и жесткости стеклопластика возможно использования упругодемпфирующих элементов в качестве направляющих элементов подвески. Сказанное подтверждают многочисленные исследования, проводимые в США, Англии, Франции, Германии, Японии.

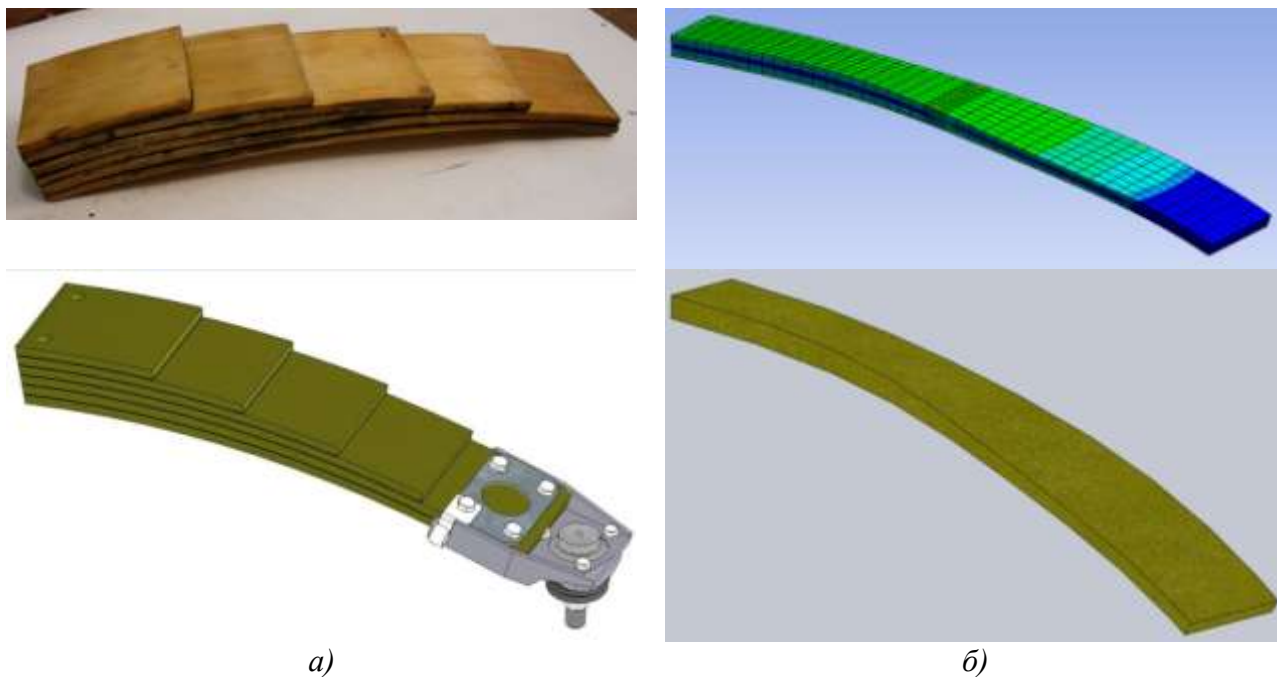


Рис. 2. Стеклопластиковая рессора (опытный образец):

а – многослойная рессора из стеклопластика;
б – модель монолистовой рессоры из стеклопластика

Теоретические и экспериментальные исследования демпфирующих свойств композитов, проводимые в МГТУ им. Н. Э. Баумана, подтверждают возможность отказа от классической конструкции амортизатора в подвеске с упругодемпфирующим элементом из стеклопластика. Созданный опытный образец автомобиля с подвеской из композиционных материалов показал очень высокие результаты по обеспечению опорной проходимости во многом благодаря снижению массы за счет применения стеклопластика в ходовой части. Общий вид подвески с упругодемпфирующим элементом из композиционного материала и испытательный стенд представлены на рис. 3.

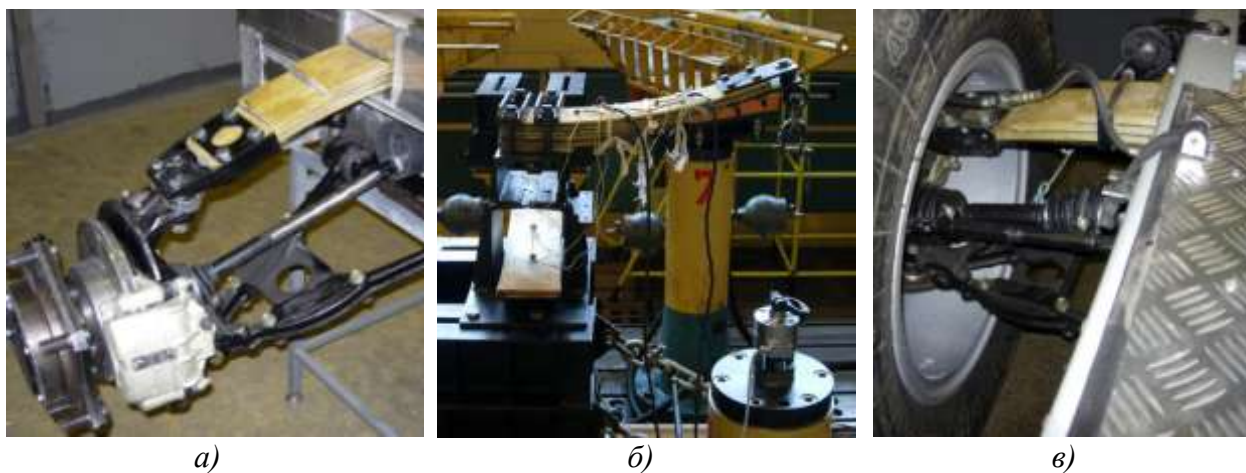


Рис. 3. Независимая подвеска с многослойной рессорой из композиционного материала (опытный образец):

а – общий вид подвески; *б* – испытательный стенд; *в* – действующий образец

Однако подвеска с упругодемпфирующим элементом из стеклопластика не единственный элемент ходовой части автомобиля, использование композиционных материалов в котором позволит снизить массу и улучшить эксплуатационные свойства.

Второй элемент ходовой части автомобиля, где применение композиционных материалов на основе стеклопластика позволит существенно улучшить эксплуатационные свойства современного городского автомобиля, – это колесный движитель.

Несмотря на кажущуюся простоту, деформируемое колесо как объект исследования обладает многообразными свойствами, проявляющимися в достаточно сложных физических явлениях, сопровождающих процесс качения. В истоках изучения сопротивления качению колеса лежат исследования Ш. Кулона, О. Рейнольдса, Н.П. Петрова, А.В. Белинского, В.П. Горячкина, М.Н. Летошева и др.

Сопротивление качению колеса с пневматической шиной является одним из основных видов сил сопротивления движению автомобилей и одновременно одним из важнейших критериев их конструкторского совершенства. Меры по уменьшению сопротивления качению транспортных средств всегда занимали важное место в развитии инженерной мысли и истории автомобильной техники. В настоящее время все больше иностранных исследований направлены на создание безвоздушных колесных движителей (рис. 4). Основное преимущества таких движителей – это большая надежность вследствие отсутствия герметичной газовой оболочки и потенциальная возможность уменьшить сопротивление качению, т.е. энергозатраты, что особенно важно для электро- и гибридных автомобилей.



Рис. 4. Современные безвоздушные колесные движители

В общем случае упругое стеклопластиковое колесо представляет собой обод, выполненный из стеклопластика с ориентированным расположением непрерывного стекловолокна, связанный с помощью упругих или работающих на растяжение соединителей со стальной ступицей (рис. 5).

Соединители обеспечивают передачу усилий от обода через ступицу на ось колеса. Конструктивно в качестве соединителей могут быть использованы рессоры, пружины, тросы или комбинация этих элементов.

Методом спиральной или продольно-поперечной намотки возможно получить стеклопластиковый обод с диагональным или радиальным расположением волокон. Так как достоинства и высокие механические характеристики композитов наиболее полно реализуются в материалах, армированных параллельными волокнами, стеклопластики с ориентированным расположением волокон представляют наибольший интерес.

Автором получены экспериментальные и теоретические данные, характеризующие процессы, происходящие при качении стеклопластикового движителя.



Рис. 5. Макет упругого стеклопластикового колеса

Установлено, что затраты энергии на движения стеклопластикового колеса (сопротивление качению) в несколько раз меньше затрат при качении колеса с пневматической шиной. Для экспериментального сравнения использовались колесные движители сопоставимого диаметра: стеклопластиковый движитель – 340 мм; колесо с пневматической шиной от спортивного карта диаметром – 320 мм.

Эксперимент проводился на стенде «Грунтовой канал» (рис. 6), представляющем собой стол с бетонным основанием, оснащенный рельсами, по которым на четырех разгруженных стальных направляющих колесах может двигаться динамометрическая тележка с исследуемым колесным движителем. Динамометрическая тележка протягивалась с помощью электродвигателя при различных вертикальных нагрузках, действующих на исследуемое колесо. Система цифровых и аналоговых датчиков позволяет регистрировать:

- значения силы, необходимой на протягивание тележки с нагруженным колесом;
- число оборотов колеса при прохождении мерного участка;
- изменение динамического радиуса качения колеса в процессе движения.
- скорость движения колеса.

Стенд оснащен аналого-цифровым преобразователем сигнала Zet-210, усилителем Zet-411 и портативным ЭВМ.

В результате эксперимента были получены данные об изменении сопротивления качению в зависимости от вертикальной нагрузки для колеса с пневматической шиной и упругого стеклопластикового колеса.

Результатирующий график изменения коэффициента сопротивления качению для испытуемых образцов представлен на рис. 7.



Рис. 6. Общий вид стенда «Грунтовой канал»

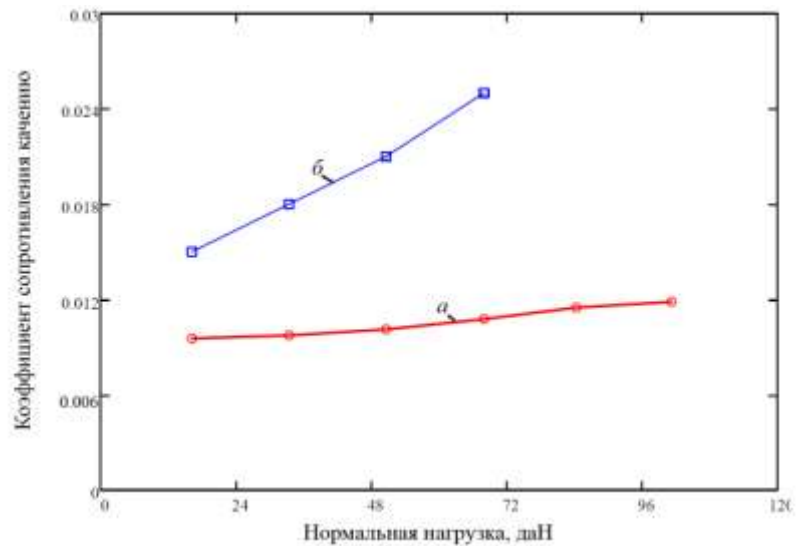


Рис. 7. Зависимость изменения коэффициента сопротивления качению от нормальной нагрузки:

a – упругое стеклопластиковое колеса;
b – колесо с пневматической шиной

Из приведенных результатов видно, что упругое стеклопластиковое колесо имеет значительно меньший и слабо зависящий от вертикальной нагрузки коэффициент сопротивления качению. Это позволит в несколько раз снизить энергозатраты на движение автомобиля, особенно при движении с низкими скоростями. Кроме того, значительно меньшие масса и момент инерции позволят снизить общую массу автомобиля и окажут положительное влияние на динамические качества машины за счет снижения затрат энергии на раскрутку колес.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана разработаны методы создания упругих колес и упруго-демпфирующих элементов из стеклопластика, позволяющие на стадии проектирования рассчитать несущую способность движителя и оценить гистерезисные потери, возникающие при движении колеса и при работе подвески.

Таким образом, применение композитов в ходовой части городского автомобиля позволяет снизить массу и уменьшить сопротивление движению, а, следовательно, энергозатраты на передвижение.

1. **Афанасьев, Б.А.** Проектирование элементов подсистем автомобиля из композиционных материалов / Б.А. Афанасьев, И.З. Даштиев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 136 с.

Дата поступления
 в редакцию 24.05.2010

A.B. Kartashov

APPLICATION OF COMPOSITE MATERIALS IN THE CONSTRUCTION OF CHASSIS VEHICLES

The article substantiates the relevance of the use of composite materials in the chassis of the cars. The examples of wheel and spring on the basis of fiberglass, designed and created in the Bauman Moscow State Technical University are represented.

Key words: automobile, passability, composite material, spring, chassis, rolling resistance, the experiment.

ПРОБЛЕМЫ КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ И ОКЕАНОТЕХНИКИ

УДК 539.3

А.Н. Прокудин, В.И. Одинок

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ НОВОГО СПОСОБА ЛИКВИДАЦИИ ЗАТОРООБРАЗОВАНИЙ НА РЕКАХ

Институт машиноведения и металлургии дальневосточного отделения РАН

Рассматривается новый способ разрушения ледяных заторов на реках, основанный на динамическом воздействии цилиндрического тела на нижнюю поверхность ледяного покрова в результате взрыва газозвушной смеси. Возможности способа ликвидации ледяных заторов исследуются с помощью построенной на основе фундаментальных уравнений механики сплошных сред математической модели и апробированного численного метода.

Ключевые слова: ликвидация ледяных заторов, математическое моделирование, напряженно-деформированное состояние, динамическое воздействие.

Введение

На многих реках северного полушария, текущих с юга на север, во время весеннего ледохода часто образуются ледяные заторы – скопления льда в русле реки. Ледяные заторы вызывают уменьшение живого сечения реки и приводят к повышению уровня воды в месте возникновения и в некотором районе выше него, что может привести к наводнениям. Наиболее негативными последствиями ледяных заторов являются: наводнения, повреждение гидротехнических сооружений и речных судов [1]. Для ликвидации ледяных заторов в настоящее время чаще всего применяется взрывной метод [2, 3], при котором либо на определенной глубине подо льдом, либо внутри затора подрываются заряды взрывчатого вещества. Недостатками взрывного метода являются высокие энергетические затраты, необходимость обеспечения безопасности людей, устанавливающих заряды взрывчатого вещества, вред, наносимый экологии водоема.

В работе рассматривается новый способ разрушения ледяных заторов, основанный на использовании энергии взрыва газозвушной смеси. Способ заключается в следующем: под лед или его нагромождение заводится устройство (рис. 1), состоящее из цилиндра 1, направленного дном в сторону нижней поверхности льда, имеющего каналы 2, по которым проходит гибкая система 3. По ней в область 4 подается газозвушная смесь. Маневренность конструкции осуществляется системой двигателей и механизмов 5.

Управление устройством осуществляется с передвижной станции, находящейся на берегу или на судне, по гибкой системе 3, включающей газовый шланг и электропровод.

Ликвидация ледяного затора с помощью данного устройства осуществляется следующим образом.

Устройство с помощью установленных на нем видеокамер и двигательных средств заводится под образовавшийся ледяной затор.

Далее со станции по гибкой системе 3 поступает определенный объем воздушно-газовой смеси, вытесняющий воду из пространства под стаканом 1, образуя газоздушную подушку 4. В качестве газозвушной смеси может использоваться, например, природный газ. Затем по этой же системе 3 подается искровой разряд в свечи 6. Происходит взрыв газозвушной смеси. В результате взрыва цилиндр устремляется вверх, ломая локальную область ледяного затора. После взрыва газ выходит через многочисленные отверстия в боковой стенке цилиндра 1, устройство приходит в исходное состояние и перемещается подо льдом в новое место.

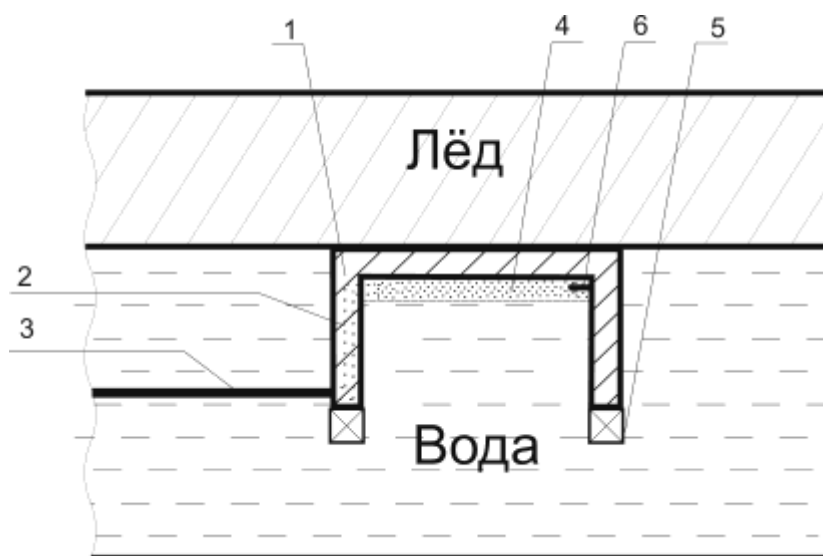


Рис. 1. Устройство для ликвидации ледяных заторов:
1 – цилиндр; 2 – канал; 3 – гибкая система; 4 – газозвушная система;
5 – двигатели; 6 – свечи

Следует отметить, что природный газ значительно дешевле эквивалентного по теплоте взрыва количества тротила, и, кроме того, взрыв природного газа не наносит такого вреда экологии водоёма, как взрыв тротила.

По данному способу ликвидации заторообразований на реках направлена заявка на получение патента РФ. Похожий способ ликвидации заторов [4], разработанный авторами, исследовался в работе [5].

Рассматриваемый способ ликвидации ледяных заторов исследовался с помощью математического моделирования и численных расчетов.

1. Математическая модель

На рис. 2 приведена формализованная расчетная схема процесса разрушения с использованием исследуемого способа.

Здесь область I – лед, на который воздействуют давления p_1, p_2 которые могут изменяться как по величине, так и по координате x_2 , $p_1 \geq p_{ат}$, $p_2 \geq p_{ат}$, $p_{ат}$ – атмосферное давление. Область II – это цилиндр; область III – вода, область IV – газ, занимающий пространство под стаканом. Периферийная область $x_2 \geq R_2$ находится на значительном расстоянии от стакана II $R_3 \gg R_2$. Для простоты принималось, что устройство находится на дне акватории (рис. 2). Получаем трехкомпонентную модель I-III, находящуюся в динамическом взаимодействии в результате взрыва газозвушной смеси в области IV.

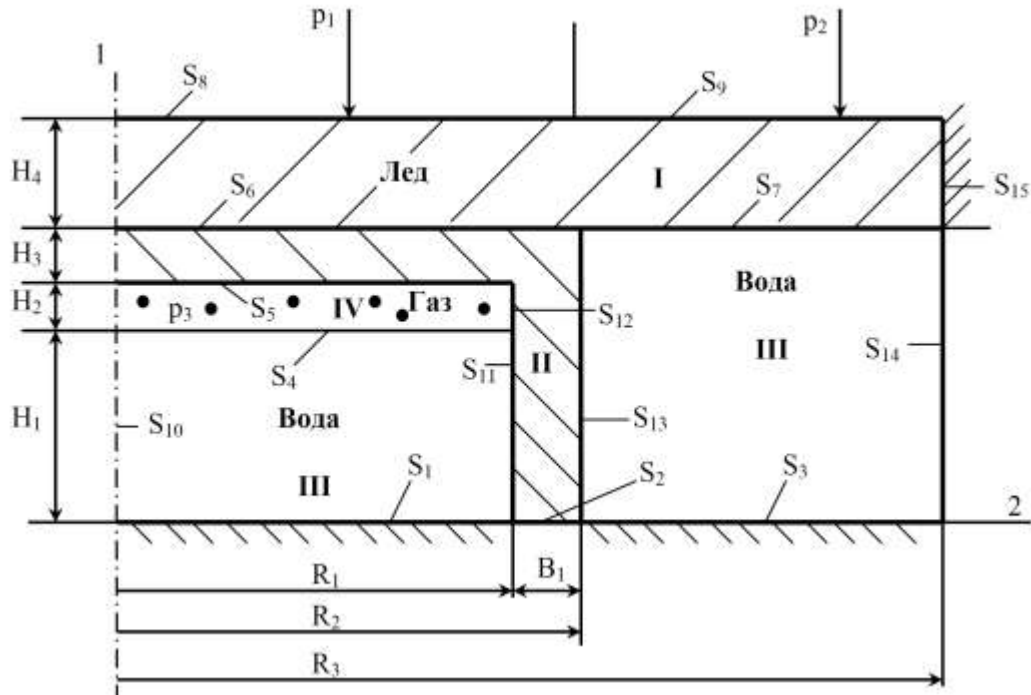


Рис. 2. Расчетная схема процесса

Ледяной затор и цилиндр (области I и II) принимались упругими, однородными, изотропными, несжимаемыми, а их деформации – малыми. Напряженно-деформированное состояние в этих областях описывалось уравнениями движения, законом Гука для малых деформаций и уравнением несжимаемости.

$$\sigma_{ij,j} + F_i^t = \rho_t \left(\frac{\partial v_i}{\partial \tau} + v_k \frac{\partial v_i}{\partial x_k} \right), \quad i, j, k = 1, 2, 3, \quad t = I, II; \quad (1)$$

$$\sigma_{ij} - \sigma \delta_{ij} = 2(G)_t \varepsilon_{ij}, \quad i = 1, 2, 3, \quad t = I, II; \quad (2)$$

$$v_{i,i} = 0, \quad (3)$$

в которых t - идентификатор области; $[\sigma_{ij}]$ - тензор напряжений; F_i^t - проекция удельной объемной силы на координатные оси x_i , $i = 1, 2, 3$; ρ_t - плотность материала; v_i - проекция скоростей перемещений на координатные оси x_i , $i = 1, 2, 3$; τ - время; σ - гидростатическое напряжение; δ_{ij} - символ Кронекера; G_t - модуль сдвига в области t ; $[\varepsilon_{ij}]$ - тензор деформаций; в уравнениях имеет место суммирование по повторяющимся индексам.

Для малых деформаций справедливо равенство $\xi_{ij} = \frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial \tau}$, где ξ_{ij} - компоненты тензора скоростей деформаций сдвига.

Вода (область III) считалась ньютоновской, вязкой, несжимаемой жидкостью. Для моделирования движения жидкости использовались уравнения Навье-Стокса и уравнение несжимаемости:

$$F_i^t - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \nabla^2 v_i = \rho_t \left(\frac{\partial v_i}{\partial \tau} + v_k \frac{\partial v_i}{\partial x_k} \right), \quad i, k = 1, 2, 3, \quad t = III; \quad (4)$$

$$v_{i,i} = 0, \quad (5)$$

в которых p - давление; μ - коэффициент динамической вязкости; ∇^2 - оператор Лапласа ρ_t - плотность в области $t = III$.

Газовоздушная подушка (область IV) моделировалась через давление p_3 , создаваемое в результате горения газовоздушной смеси в замкнутом объеме. Время горения определялось через толщину газовоздушной подушки H_2 и скорость горения v_r по формуле:

$$\tau_r = H_2 / v_r$$

Давление p_3 и скорость горения v_r задавались с помощью экспериментальных данных [6].

Для удобного построения численной схемы и вычислительного алгоритма решения задачи, система уравнений (1-4) приводилась к единому виду для всех областей I-III

$$\begin{aligned} \sigma_{ij,j} + F_i^t &= \rho_t \left(\dot{v}_i + v_k \frac{\partial v_i}{\partial x_k} \right), \quad t = I, II, III; \\ \sigma_{ij} - \sigma \delta_{ij} &= 2\lambda_t C_{ij}^t, \quad \begin{cases} \lambda_t = G_t; & C_{ij}^t = \varepsilon_{ij}; & t = I, II; \\ \lambda_t = \mu; & C_{ij}^t = \xi_{ij}; & t = III; \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

$$v_{i,i} = 0.$$

Соответствие системы (6) системе (4-5) нетрудно проверить, подставив уравнение $\sigma_{ij} - \sigma \delta_{ij} = 2\mu \xi_{ij}$ в уравнения движения, с учетом уравнения несжимаемости (5), получим уравнение (4).

Граничные условия задачи ставились с учетом осевой симметрии (рис. 2):

$$\begin{aligned} \sigma_{11}|_{S_i} &= -p_3, \quad i = 4,5; \quad \sigma_{11}|_{S_8} = -p_1; \quad \sigma_{11}|_{S_9} = -p_2; \quad \sigma_{11}|_{S_2} = 0; \\ \sigma_{12}|_{S_i} &= 0, \quad i = 1, \dots, 9; \quad \sigma_{21}|_{S_i} = 0, \quad i = 11, \dots, 15; \quad \sigma_{22}|_{S_{12}} = -p_3; \quad \sigma_{21}|_{S_{15}} = -\psi \tau_s \frac{v_{ck}}{|v_u|}; \\ v_1|_{S_1} &= 0; \quad v_1|_{S_3} = 0; \quad v_2|_{S_i} = 0, \quad i = 10, 14, 15. \end{aligned} \quad (7)$$

Для решения сформулированной системы уравнений (6) с учетом граничных условий (7) использовался апробированный численный метод [7], который применяется при решении различных задач математического моделирования [8]. Согласно методу [7] область деформирования разбивается на ортогональные элементы конечных размеров, для каждого из которых записывается система (6) в конечно-разностном виде, которая решается по разработанному алгоритму с учетом граничных условий (7). Результатом решения являются поля напряжений и скоростей перемещений по граням каждого элемента.

2. Физико-механические параметры

Для задания физико-механических параметров льда использовались данные [9] для пресноводного льда: модуль упругости $G_1 = 29.2 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$, удельный вес $\gamma_1 = 920 \text{ кг/м}^3$.

В качестве материала цилиндра принимали сталь Ст.3, для которой модуль упругости $G_2 = 8 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2$, удельный вес $\gamma_2 = 7800 \text{ кг/м}^3$ [10].

Коэффициент динамической вязкости воды по данным [11] $\mu = 0.01789 \text{ г/(см} \cdot \text{с)}$. Удельный вес воды $\gamma_3 = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Давления, действующие на лёд: $p_1 = 1 \text{ атм}$, $p_2 = 1,5 \text{ атм}$.

В качестве газовоздушной смеси принимался природный газ (9,9% метана), для которого давление $p_3 = 7 \text{ атм}$, а скорость горения $V_r \cong 0,67 \text{ м/с}$.

В качестве критерия разрушения использовался критерий наибольших нормальных напряжений, согласно которому разрушение в материале наступает при достижении нормальных напряжений некоторого критического значения σ_k . Для льда критическое значение напряжений по данным [9] $\sigma_p = 1.5 \text{ МПа}$ при растяжении и $\sigma_c = 2.5 \text{ МПа}$ при сжатии.

3. Результаты численных расчетов

Начальные геометрические параметры задачи (рис. 2) варьировались следующим образом: радиус цилиндра $R_1 = 3$ м, 3.5 м, 4 м. Толщина льда H_4 : 2 м, 2.5 м, 3 м. Толщина газовой подушки H_2 : 0.03 м, 0.04 м, 0.05 м, 0.06 м,

Радиус расчетной области принимался равным $R_3 = 20$ м, толщина стенок цилиндра $B_1 = H_3 = 0.1$ м, высота цилиндра $H_1 = 1$ м.

Результаты численных расчетов показали, что в результате взрыва цилиндр устремляется вверх со скоростью в центральной части ($R \approx 0$) выше, чем в периферийной ($R \approx R_1$). Это приводит к тому, что в верхних слоях ледяного покрова действуют растягивающие напряжения σ_{22} , а в нижних – сжимающие σ_{22} .

Значения радиуса области разрушения (табл. 1, 2, 3) определены, исходя из принятого критерия, в зависимости от толщины газовой подушки и льда при радиусе цилиндра $R_1 = 3$ м, 3.5 м, 4 м, соответственно. В указанном радиусе ледяной покров разрушается по всей толщине, при этом вследствие близости напряжений σ_{22} и σ_{33} разрушение происходит как в радиальном, так и в тангенциальном направлениях.

Таблица 1

Зависимость радиуса области разрушения от толщины льда и газовой подушки при $R_1 = 3$ м

Толщина льда H_4 , м	Толщина газовой подушки H_2 , м	Радиус области разрушения, м
2	0.03	1.8
2	0.04	2.1
2	0.05	2.3
2	0.06	3

Отметим, что при радиусе цилиндра $R_1 = 3$ м. и толщине газовой подушки H_2 от 0.03 до 0.06 м. разрушения во льду толщиной 2.5 м и выше не происходит.

Таблица 2

Зависимость радиуса области разрушения от толщины льда и газовой подушки при $R_1 = 3.5$ м

Толщина льда H_4 , м.	Толщина газовой подушки H_2 , м	Радиус области разрушения, м
2	0.03	2.5
2	0.04	3.5
2	0.05	3.5
2	0.06	3.5
2.5	0.03	1.6
2.5	0.04	1.9
2.5	0.05	2.2
2.5	0.06	2.3
3	0.03	0
3	0.04	0
3	0.05	0.1
3	0.06	1.0

Таблица 3

**Зависимость радиуса области разрушения от толщины льда
и газовой подушки при $R_1 = 4$ м**

Толщина льда H_4 , м	Толщина газовой подушки H_2 , м	Радиус области разрушения, м
2	0.03	4
2	0.04	4
2	0.05	4
2	0.06	4
2.5	0.03	2.5
2.5	0.04	2.7
2.5	0.05	2.8
2.5	0.06	3.0
3	0.03	1.5
3	0.04	2.0
3	0.05	2.5
3	0.06	2.7

Напряжения, возникающие в ходе процесса разрушения в цилиндре, не превышают предел текучести τ_s для стали Ст.3, который по данным [10] составляет 300 МПа.

Результаты численных расчетов также показали, что конструкция устройства может быть существенно облегчена за счет уменьшения толщины стенок цилиндра до 0.075 м и 0.05 м. При этом напряжения в цилиндре значительно возрастают, но все равно остаются далекими от предела текучести τ_s , а напряженно-деформированное состояние в ледяном покрове, как и радиус области разрушения, практически не меняется. Помимо этого, вес конструкции можно снизить путем уменьшения высоты цилиндра до 0.75 м и 0.5 м. В данном случае наблюдается незначительный рост напряжений в цилиндре, а также небольшое снижение радиуса области разрушения льда.

Увеличение радиуса расчетной области R_3 до ста метров и выше практически не сказывается на напряженно-деформированном состоянии льда и цилиндра.

Библиографический список

1. **Beltaos, S.** (Editor) River ice jams / S. Beltaos. – Water Resources Publications. Littleton. Colorado. 1995. – 372 p.
2. Справочник по буровзрывным работам / М.Ф. Друкованый [и др.]. – М.: Недра, 1976. – 631 с.
3. **Матвейчук, В.В.** Взрывные работы: учеб. пособие / В.В. Матвейчук, В. П. Чурсалов. – М.: Академический проспект, 2002. – 384 с.
4. **Пат. №2356777.** Способ ликвидации заторообразований / Одинокое В.И., Сергеева А.М. Бюл. №15 от 27.09.2009.
5. **Одинокое, В.И.** Моделирование процесса разрушения ледяных затороев / В.И. Одинокое, А.Н. Прокудин // Прикладная механика и техническая физика. 2010. Т. 51. №1. С. 110-116
6. **Равич, М. Б.** Беспламенное поверхностное горение / М. Б. Равич. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1949. – 354 с.
7. **Одинокое, В.И.** Численное исследование процесса деформации материалов бескоординатным методом / В.И. Одинокое. – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 354 с.
8. Математическое моделирование сложных технологических процессов / В.И. Одинокое [и др.]. – М.: Наука, 2008. – 176 с.
9. **Богородский, В.В.** Лед. Физические свойства. Современные методы гляциологии / В.В. Богородский, В. П. Гаврило. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 384 с.

10. **Кроха, В.А.** Упрочнение металлов при холодной пластической деформации: справочник / В.А. Кроха. – М.: Машиностроение, 1980. – 157 с.
11. **Кикоин, И.К.** Таблицы физических величин: справочник / И.К. Кикоин. – М.: Атомиздат, 1976. – 1008 с.

*Дата поступления
в редакцию 06.07.2010*

A.N. Prokudin, V.I. Odinokov

INVESTIGATION OF POSSIBILITIES OF NEW ICE JAMS REMOVING METHOD

The new method of river ice jams removing based on dynamic impact of cylindrical body to the bottom surface of ice cover in the issue of exploding of the air-gas mixture is considered. Possibilities of removing method are investigated by help of mathematical model which built on basis of fundamental equations of continuum mechanics and well-tested numerical method.

Key words: removing of ice jams, mathematical modeling, deflected mode, dynamic impact.

УДК 629.124.791.2

Б.П. Ионов

КУРСОВАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СУДОВ ВО ЛЬДАХ

ОАО «Объединенная судостроительная корпорация», Санкт-Петербург

Рассматриваются вопросы устойчивости на курсе ледоколов и судов в различных ледовых условиях. Изменение направления движения судна (рысканье) во льдах связывается не только с геометрией корпуса и направлением вращения винта, но и с характеристиками ледяного покрова.

Ключевые слова: ледовые условия, ледоколы, суда ледового плавания, устойчивость на курсе

Устойчивостью на курсе называется способность судна при отсутствии дополнительных внешних воздействий сохранять выбранное направление движения. Оценка устойчивости на курсе на чистой воде осуществляется в соответствии с нормами, согласно которым судно считается устойчивым на курсе, если количество перекладок руля не превышает 5-6 в минуту [1].

Изучению устойчивости на курсе ледоколов и судов в различных ледовых условиях посвящено весьма ограниченное число работ, а нормы устойчивости на курсе во льдах в настоящее время не разработаны.

Особое значение имеет устойчивость на курсе во льдах для транспортных судов, так как вместе с поворотливостью определяет способность судна следовать в канале за ледоколом. Отметим, что изменение направления движения судна (рысканье) во льдах связано не только с геометрией корпуса и направлением вращения винта, но и с характеристиками ледяного покрова. Так, при движении судна в сплошном ледяном поле дополнительными причинами рыскания могут являться неоднородность морфологических и физико-механических характеристик льда, а при движении в битых льдах - неравномерность его распределения по поверхности воды.

Таким образом, переменные по площади характеристики ледяного покрова представляют собой дополнительные внешние воздействия, а полученные в этих условиях численные оценки устойчивости на курсе не могут рассматриваться как оценка устойчивости судна на курсе во льдах в целом. В связи с этим, для того чтобы исключить влияние дополнительных внешних воздействий, оценка устойчивости судна на курсе должны проводиться в регулярных однородных льдах.

Теоретическая оценка устойчивости на курсе во льдах представляет собой достаточно сложную задачу, необоснованное упрощение которой может привести к ошибочным выводам. Рассмотрим в связи с этим единственное известное теоретическое решение этой задачи, в рамках которого полагается, что имеет место плоское движение судна по прямому курсу в регулярных однородных льдах (сплошных и битых) в направлении оси x [2]. Рыскание судна и боковой снос с курса вызываются горизонтальными компонентами a_{jx} и a_{jy} , ударных импульсов, действующих на корпус судна. Вращение судна как твердого тела относительно оси в этом случае определяется дифференциальным уравнением:

$$(J_z + \lambda_{66}) \frac{d\psi'}{dt} + \lambda_{26} \frac{du_2}{dt} + \lambda_{26} u_1 \psi' = -(\lambda_{22} - \lambda_{11}) u_1 u_2 + M_z, \quad (1)$$

где ψ' - угловая скорость вращения относительно оси z ; u_1, u_2 - проекции линейной скорости судна на оси x и y ; J_z - момент инерции массы судна относительно оси z ; M_z - момент внешних сил; $\lambda_{11}, \lambda_{22}, \lambda_{26}, \lambda_{66}$ - присоединенные массы.

При установившемся режиме движения и сравнительно малом рыскании боковой снос

судна мал, а скорость его прямолинейного движения считается постоянной, т.е. $u_1=v=\text{const}$ и $u_2=0$. Тогда вместо выражения (1) можно получить линейное дифференциальное уравнение рыскания, вызванного случайной последовательностью ударов о лед:

$$(J_z + \lambda_{66}) \frac{d\Psi'}{dt} + \lambda_{26} v \Psi' = M_z. \quad (2)$$

Присоединенные массы λ_{22} и λ_{26} обычно определяются приближенно, представляя обводы корпуса судна трехслойным эллипсоидом тех же размеров, что и судно [3, 4]. Для присоединенного момента инерции относительно оси имеем

$$J_z + \lambda_{66} = J_z (1 + n), \quad (3)$$

где коэффициент n находится по графикам работы [4] в зависимости от отношений L/B и $2T/B$.

Статический момент поперечной присоединенной массы относительно оси z приближенно вычисляется по формуле

$$\lambda_{26} = \int_L \lambda_{22}(x) x dx, \quad (4)$$

где значение $\lambda_{22}(x)$ определяется по графикам работы [5] в зависимости от отношения $2T/B$ и коэффициента полноты шпангоута β .

Момент от одиночного импульса a_j , приложенного в точке $x=x_j$, $y=y_j$, записывается следующим образом:

$$M_{zj} = a_j [l(x_j) y_j - m(x_j) x_j] \quad (5)$$

Рассмотрим стационарный режим движения судна на достаточно большом интервале времени $(-T, T)$. Так как взаимодействие корпуса судна со льдом является пуассоновым процессом, то за интервал времени $2T$ на судно подействует $N \approx 2\lambda T$ импульсов [2]. Дифференциальное уравнение (2) тогда примет вид

$$J_z (1 + n) \frac{d\Psi'}{dt} + \lambda_{26} v \Psi' = \sum_{j=1}^N a_j(t) (l_j y_j - m_j x_j). \quad (6)$$

Из статистической независимости ударов и симметрии обоих бортов судна следует, что математическое ожидание правой части уравнения (6) равно нулю ($\overline{M_z} = 0$). Полагая форму и длительность каждого импульса $a(t)$ постоянными, можно найти спектр мощности такого отцентрированного процесса:

$$S(\omega) = \frac{\sigma_M^2 \tau_0^2}{\pi \tau_a} |g(\omega \tau_0)|^2, \quad (7)$$

где σ_M^2 - дисперсия амплитуды момента M_z ; $\tau_a \approx \lambda^{-1}$ - средняя продолжительность промежутка времени между импульсами; $g(\omega \tau_0)$ - безразмерный спектр Фурье одиночного импульса единичной амплитуды.

Аппроксимируя реальную форму импульса прямоугольником, имеем

$$g(\omega \tau_0) = \frac{\sin \frac{\omega \tau_0}{2}}{\frac{\omega \tau_0}{2}}. \quad (8)$$

Введя плотность вероятности попадания удара в точку борта с координатой x , можно получить выражение для дисперсии:

$$\sigma_M^2 = a^{-2} \int_{\Omega} (ly - mx)^2 p(x) dx. \quad (9)$$

В уравнении (9) интеграл берется лишь по одному из бортов.

Таким образом, задача сводится к анализу линейной системы (2), на вход которой по-

дается дискретный сигнал, обладающий спектром мощности (7). По известной теореме о соотношении между спектрами входа и выхода [6] можно найти

$$S_{\Psi}(\omega) = |Y(i\omega)|^2 S(\omega), \quad (10)$$

где $Y(i\omega)$ - частотная характеристика однородного уравнения (2):

$$Y(i\omega) = \frac{1}{\beta_{26} - i\omega}, \quad (11)$$

где

$$\beta_{26} = \frac{\lambda_{26}v}{J_z(1+n)}. \quad (12)$$

Окончательно спектр S_{Ψ} можно определить по формуле

$$S_{\Psi} = \frac{\lambda\sigma_M^2\tau_0^2|g(\omega_{\tau_0})|^2}{\pi J_z^2(1+n)^2(\omega^2 + \beta_{26}^2)}. \quad (13)$$

Дисперсия угловых скоростей случайных отклонений от прямого курса определяется интегрированием спектра выходного процесса (13) по всему диапазону частот. Полагая импульсы прямоугольными,

$$\sigma_{\Psi}^2 = \frac{\lambda\sigma_M^2}{v^2\lambda_{26}^2} \left[\tau_0 - \frac{1}{\beta_{26}}(1 - e^{-\tau_0\beta_{26}}) \right]. \quad (14)$$

Обычно $\tau_0\beta_{26} \ll 1$, откуда

$$\sigma_{\Psi}^2 = \frac{\lambda\sigma_M^2\tau_0^2}{2v\lambda_{26}J_z(1+n)}. \quad (15)$$

Из формулы (15) следует, что дисперсия угловых скоростей существенно зависит от формы обводов корпуса судна и параметров ударов о лед: их длительности, амплитуды, вероятности попадания в данную точку борта и т.д. Экспериментально было доказано, что случайный процесс, описывающий отклонения от прямого курса, является гауссовым [2]. Поэтому задание дисперсии полностью определяет все его параметры.

Среднее число рысканий за единицу времени можно определить по общей формуле математического ожидания числа нулей нормального процесса:

$$N_0 = \frac{1}{\pi} \left[\frac{\int_0^{\infty} \omega^2 S_{\Psi}(\omega) d\omega}{\sigma_{\Psi}^2} \right]^{1/2}. \quad (16)$$

Подставив в эту формулу выражения (13) и (15), после интегрирования можно получить

$$N_0 = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{2\lambda_{26}v}{J_z(1+n)\tau_0}}. \quad (17)$$

Для возможности сопоставления характеристик различных судов уравнение (17) приведем к безразмерному виду, умножив на дробь L/v . Тогда критерий устойчивости на курсе записывается следующим образом:

$$K_N = \frac{N_0 L}{v} = \frac{L}{\pi} \sqrt{\frac{2\lambda_{26}}{J_z(1+n)\tau_0 v}}. \quad (18)$$

Из формулы (18) следует, что большие значения величины K_N соответствуют меньшей устойчивости на курсе. Время соударения τ_0 довольно стабильно и слабо зависит от ледовых условий.

Таким образом, представленный теоретический анализ показал, что устойчивость на курсе во льдах при движении с достаточно большой скоростью мало отличается от устойчивости на чистой воде, а при малых скоростях - движение будет неустойчивым.

В середине 80-х годов XX века в России были проведены обширные натурные исследования устойчивости на курсе ледоколов и судов в различных ледовых условиях. В табл. 1-4 приведены результаты натурных испытаний во льдах устойчивости на курсе танкера типа "Самотлор". Измерения устойчивости на курсе проводились на прямых участках с продолжительностью непрерывных кадров от 180 до 3000 секунд. Обработка результатов измерений велась по амплитудным значениям угла перекадки руля. Методика обработки экспериментальных данных представлена в табл. 1-4, где приняты следующие условные обозначения:

$\sum t_i$, с, - суммарное время перекадки руля;

T , с, - продолжительность непрерывного кадра;

n - количество перекадок руля в пределах кадра;

M_y^{\max} , градус, - математическое ожидание амплитуды перекадки руля;

$\sigma_{y_{\max}}^2$, градус², - дисперсия амплитуды перекадки руля;

$\frac{\sigma_{y_{\max}}}{M_y^{\max}}$ - величина СКВО, отнормированная по математическому ожиданию;

$K_t = \frac{\sum t_i}{T}$ - временной коэффициент маневрирования рулем;

$f = \frac{n}{T}$, мин⁻¹, - частота перекадки руля.

Не останавливаясь на анализе упрощений, принятых при теоретическом решении задачи об устойчивости на курсе [2], отметим, что выводы теоретического решения задачи не получили подтверждения в результате натурных испытаний. Так, у танкера типа «Самотлор» в грузу при движении в битых льдах сплоченностью 10 баллов частота перекадки руля с увеличением толщины льда (уменьшением скорости движения) убывает и составляет $f = 1,91$ при $h = 0,05-0,1$ и $f = 1,15$ при $h = 0,15$ и в балласте $f = 3,45$ при $h = 0,1-0,15$ и $f = 2,87$ при $h = 0,25$.

Аналогичные результаты были получены при исследованиях устойчивости на курсе ледоколов и судов в сплошных и битых льдах (табл. 5).

Таким образом, полученные в натурных испытаниях результаты позволяют сделать вывод, что с увеличением толщины льда (уменьшением скорости движения) устойчивость судна на курсе во льдах возрастает. Этот вывод можно объяснить тем, что с приближением толщины льда к предельной ледопроеходимости судна (в относительно толстых битых льдах) мощности судна становится недостаточно для реализации вращательного момента M_z и разрушения льда. Поэтому лед является препятствием для рыскания и способствует удержанию судна на заданном курсе.

Результаты натурных испытаний позволяют также сформулировать вывод о существенной зависимости устойчивости на курсе во льдах от водоизмещения судна, при этом большему водоизмещению соответствует большая устойчивость на курсе. Относительно высокий уровень частоты перекадки руля у танкера типа "Самотлор" в балласте по сравнению с уровнем частоты перекадки руля у этого же танкера в грузу объясняется тем, что при меньшем водоизмещении судна ударные импульсы со стороны льда оказывают значительно большее влияние на изменение курсового угла. В связи с этим, устойчивость на курсе может служить одним из критериев для выбора водоизмещения судна, предназначенного для работы во льдах.

Таблица 1

Результаты натуральных испытаний танкера “Самбург” в грузу ($D=24200$ т) на р. Енисей в канале за ледоколом. $h_{ice}=0,05-0,1$ м, $h_{sn}=0-0,05$ м, $S=10$ баллов (01-03 ноября 1985 г.)

Статические характеристики	Левый борт	Правый борт	Оба борта
$\sum t_i, \text{ с}$	830	406	1236
$T, \text{ с}$	-	-	3519
n	70	42	112
$M_y^{\max}, \text{ градус}$	6,80	5,50	6,31
$\sigma_{y_{\max}}^2, \text{ градус}^2$	3,14	3,73	3,75
$\frac{\sigma_{y_{\max}}}{M_y^{\max}}$	0,25	0,35	0,31
$K_t = \frac{\sum t_i}{T}$	0,236	0,115	0,351
$f = \frac{n}{T}, \text{ мин}^{-1}$	1,19	0,716	1,19

Таблица 2

Результаты натуральных испытаний танкера “Ленинск-Кузнецкий” в грузу ($D=24000$ т) на р.Енисей в канале за ледоколом. $h_{ice}=0,15$ м, $h_{sn}=0$ м, $S=10$ баллов (14 ноября 1985 г.)

Статические характеристики	Левый борт	Правый борт	Оба борта
$\sum t_i, \text{ с}$	1331	3160	4491
$T, \text{ с}$	-	-	5030
n	31	66	97
$M_y^{\max}, \text{ градус}$	9,73	2,33	4,69
$\sigma_{y_{\max}}^2, \text{ градус}^2$	2,98	7,07	17,53
$\frac{\sigma_{y_{\max}}}{M_y^{\max}}$	0,177	1,141	0,893
$K_t = \frac{\sum t_i}{T}$	0,265	0,628	0,893
$f = \frac{n}{T}, \text{ мин}^{-1}$	0,370	0,787	1,157

Таблица 3

Результаты натуральных испытаний танкера “Самбург” в балласте ($D=18300$ т) на р. Енисей в канале за ледоколом. $h_{ice}=0,10-0,15$ м, $h_{sn}=0-0,05$ м, $S=10$ баллов (7 ноября 1985 г.)

Статические характеристики	Левый борт	Правый борт	Оба борта
1	2	3	4
$\sum t_i, \text{ с}$	545	471	1016
$T, \text{ с}$	-	-	1807
n	51	53	104
$M_y^{\max}, \text{ градус}$	3,51	4,08	3,80

Окончание табл. 3

1	2	3	4
$\sigma_{y_{\max}}^2$, градус ²	10,59	3,61	7,16
$\frac{\sigma_{y_{\max}}}{M_y^{\max}}$	0,927	0,466	0,704
$K_t = \frac{\sum t_i}{T}$	0,302	0,61	0,562
$f = \frac{n}{T}$, мин ⁻¹	1,69	1,76	3,45

Таблица 4

Результаты натурных испытаний танкера “Ленинск-Кузнецкий” в балласте ($D=19600$ т) на р. Енисей в канале за ледоколом. $h_{ice}=0,25$ м, $h_{sn}=0,05-0,1$ м, $S=10$ баллов (19 ноября 1985 г.)

Статические характеристики	Левый борт	Правый борт	Оба борта
$\sum t_i$, с	299	716	1015
T , с	-	-	2160
n	41	60	101
M_y^{\max} , градус	5,22	4,30	4,07
$\sigma_{y_{\max}}^2$, градус ²	4,66	9,04	7,47
$\frac{\sigma_{y_{\max}}}{M_y^{\max}}$	0,414	0,699	0,585
$K_t = \frac{\sum t_i}{T}$	1,14	0,331	0,470
$f = \frac{n}{T}$, мин ⁻¹	1,69	1,67	2,81

Таблица 5

Результаты натурных испытаний устойчивости на курсе ледокольно-транспортных судов в различных ледовых условиях

Ледовые условия	Судно/ водоизмещение	h_{ice} , м	h_{sn} , м	S , баллы	v , м/с	f , мин ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7
Сплошной ровный лед	т/х “Михаил Стрекаловский” $D=24800$ т	0,45	0,10	-	0,4	0,55
	т/х “Капитан Бочек” $D=22100$ т	0,25	0,10	-	2,5	1,68
	т/х “Капитан Кутузов” $D=24000$ т	0,15	0,10	-	3,0	1,40
	т/х “Капитан Свиридов” $D=23600$ т	0,10	0	-	4,3	1,33

Окончание табл. 5

	т/х "Ленинск-Кузнецкий" D=24000 т	0,25	0,10	-	2,4	0,62
	т/х "Ленинск-Кузнецкий" D=19800 т	0,15	0,10	-	3,5	1,11
	т/х "Самбург" D=24100 т	0,10	0,10	-	4,5	1,60
Битый лед	т/х "Капитан Свиридов" D=23600 т	0,05-0,10	0	10	5,2	1,74
	т/х "Капитан Кутузов" D=24000 т	0,10-0,15	0,05-0,10	10	4,0	1,43
	т/х "Капитан Бочек" D=22100 т	0,20-0,25	0,05-0,10	10	3,3	2,61
	т/х "Самбург" D=24100 т	0,05-0,10	0-0,10	10	5,4	1,91
	т/х "Самбург" D=18300 т	0,10-0,15	0-0,05	10	4,8	3,45
	т/х "Ленинск-Кузнецкий" D=24000 т	0,15	0	10	5,0	1,16
	т/х "Ленинск-Кузнецкий" D=19800 т	0,25	0,05-0,10	10	3,5	2,81

Примечание: ледокольно-транспортные суда типа "Дмитрий Донской": т/х "Михаил Кутузов", т/х "Капитан Бочек", т/х "Капитан Свиридов", т/х "Михаил Стрекаловский". Танкера типа "Самолор": т/х "Самбург", т/х "Ленинск-Кузнецкий".

Библиографический список

1. **Рывлин, А.Я.** Испытания судов во льдах / А.Я. Рывлин, Д.Е. Хейсин. – Л.: Судостроение, 1980. – 260 с.
2. **Хейсин, Д.Е.** Использование вероятностных методов при оценке маневренных качеств судов во льдах // Труды АНИИ. – Л. 1979. Т. 309. С. 35-50.
3. **Роман, И.С.** Присоединенные массы тел различной формы / И.С. Роман, Р.Л. Крепс // Труды ЦАГИ. – М. 1947. Вып. 635.
4. **Федяевский, К.К.** Управляемость корабля / К.К. Федяевский, Г.В. Соболев. – Л.: Судпромгиз, 1963.
5. **Кудрявцева, Н.А.** Силы и моменты инерционной природы, действующие на сечение подводной части накрененного корабля // Труды ВНИИТОС. – М. 1957. Т. 7. Вып. 2.
6. **Бендат, Д.Т.** Основы теории случайных шумов и ее применение / Д.Т. Бендат. – М.: Наука, 1965.

Дата поступления
в редакцию 06.07.2010

В.Р. Юнов

COURSE STABILITY OF VESSELS IN ICE

The issues of sustainability on the course of icebreakers and ships in different ice conditions are considered. Changing the direction of motion of the vessel in the ice is connected not only with the geometry of the body and the direction of rotation of the screw, but also with the characteristics of the ice cover.

Key words: ice conditions, icebreakers, vessels of ice navigation, course stability

УДК 621.43

Д.В. Косолапов, В.Л. Химич

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ФОРСУНКИ
ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматриваются проблемы автоколебаний запорной иглы при работе топливной форсунки в поршневых двигателях с воспламенением от сжатия. Предложен уточненный метод оценки устойчивости работы топливной форсунки.

Ключевые слова: поршневой двигатель, форсунка, запорная игла, автоколебания, устойчивость, моделирование.

Интерес к неустойчивому режиму работы дизельной форсунки возник при наблюдении характерного звука при пуске дизеля и на холостом ходу его работы (режимы пониженного расхода топлива). Причина такого звукового эффекта заключается в колебании иглы форсунки. Под действием периодически возникающих сил в гидравлической системе форсунки она совершает возвратно-поступательное движение, так как источник энергии этих колебаний, которым является давление подаваемого топлива, можно принять постоянным по значению, а колебания иглы индуцируются самой гидравлической системой, то данные колебания являются автоколебательными.

При проектировании и эксплуатации дизелей информация о характере предрасположенности гидравлической системы форсунки к автоколебательному режиму имеет важное значение. Во-первых, принято считать, что неустойчивость работы форсунки имеет негативный характер из-за возможной интенсификации износа подвижных деталей.

Следовательно, на ранних стадиях проектирования форсунки необходимо исключить возникновение автоколебательного процесса при рабочих режимах дизеля. Во-вторых, наличие неустойчивого режима форсунки является показателем удовлетворительной подвижности иглы при безразборной диагностике во время приемочных испытаний. При хорошей подвижности иглы форсунка должна издавать характерный звенящий звук. При проведении подобного рода безразборной дефектации возникает проблема субъективного восприятия результатов испытаний и проблема индивидуального поведения каждой форсунки, даже одной и той же серии, что связано с вариацией параметров из-за погрешности изготовления.

Для этого в ходе проектно-конструкторских работ нужно иметь инструмент для оценки устойчивости форсунки. В литературе 1960-80-х годов в качестве такого инструмента приведена гидравлическая характеристика: зависимость расхода топлива от давления. По определенным зонам гидравлической характеристики оценивается устойчивость конкретной форсунки. Данный метод имеет ряд недостатков. Он не дает информации о влиянии на устойчивость форсунки ее отдельных параметров, т.е. если возникнет необходимость откорректировать ситуацию по устойчивости через гидравлическую характеристику, то придется действовать «вслепую»: задавать приращение какого-либо параметра и смотреть на отклик на графике. При этом нет четкой информации о тенденции смещения этого отклика. Также данный метод не учитывает динамических параметров автоколебательного процесса, что может привести к неадекватному отображению границы устойчивости на графике гидравлической характеристики.

Альтернативный метод оценки устойчивости форсунки – использование математической модели автоколебательного режима. В период 1960-80-х годов такой подход не нашел развития: в исследовательских работах математическую модель использовали для получения

информации о характере самих колебаний. Современное развитие ЭВМ и прикладных программных пакетов позволило сформировать принципиально новый, относительно классического метода, способ оценки устойчивости физической системы, описываемой дифференциальным уравнением 3-го порядка, которой, в частности, является гидравлическая система дизельной форсунки с запорной иглой. Данный метод основан на использовании критерия Раунса-Гурвица для оценки устойчивости физической системы, устойчивость которой описывается дифференциальным уравнением 3-го порядка (1):

$$(A_0 D^3 + A_1 D^2 + A_2 D + A_3)x = 0, \quad (1)$$

где $D = \frac{d}{dt}$; A_0, A_1, A_2, A_3 – коэффициенты, определяющие устойчивость системы; x – регулируемая переменная (у дизельной форсунки – это координата иглы).

Для того чтобы данная система была устойчива, достаточно выполнения условия Раунса-Гурвица:

$$A_0, A_1, A_2, A_3 > 0, A_1 A_2 > A_0 A_3. \quad (2)$$

Отсюда видно, что не представляет труда проверить форсунку на устойчивость ее работы, зная значение параметров A_0, A_1, A_2, A_3 .

Применительно к дизельной форсунке коэффициенты в дифференциальном уравнении (1) представляют собой достаточно большие алгебраические выражения:

$$A_0 = m\beta V;$$

$$A_1 = m \sqrt{\frac{2\Delta p}{\gamma}} \cdot \frac{\mu_u \pi x (d_2 \sin \alpha - x \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha)}{2\Delta p} + \theta \beta V;$$

$$A_2 = \theta \sqrt{\frac{2\Delta p}{\gamma}} \cdot \frac{\mu_u \pi x (d_2 \sin \alpha - x \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha)}{2\Delta p} +$$

$$+ \beta V (c - \Delta p) \frac{2(\pi d_2 \sin \alpha - 2\pi x \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha)(x)(\mu_c f_c)^2 (\mu_u \pi x (d_2 \sin \alpha - x \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha))^2}{[(\mu_c f_c)^2 + (\mu_u \pi x (d_2 \sin \alpha - x \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha))^2]^2} +$$

$$+ \frac{\pi}{4} (d_u^2 - d_1^2) \left[\frac{\pi}{4} (d_u^2 - d_1^2) + \frac{\pi}{4} d_1^2 \frac{(\mu_u \pi x (d_2 \sin \alpha - x \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha))^2}{(\mu_u \pi x (d_2 \sin \alpha - x \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha))^2 + (\mu_c f_c)^2} \right];$$

$$A_3 = (c - \Delta p) \frac{2(\pi d_2 \sin \alpha - 2\pi x \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha)(\mu_c f_c)^2 (\mu_u \pi x (d_2 \sin \alpha - x \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha))^2}{[(\mu_c f_c)^2 + (\mu_u \pi x (d_2 \sin \alpha - x \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha))^2]^2}.$$

$$\cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\gamma}} \cdot \frac{\mu_u \pi x (d_2 \sin \alpha - x \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha)}{2\Delta p} +$$

$$+ \sqrt{\frac{2\Delta p}{\gamma}} \cdot (\mu_u (\pi d_2 \sin \alpha - 2\pi x \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha)) \sqrt{\frac{(\mu_c f_c)^2}{(\mu_c f_c)^2 + (\mu_u \pi x (d_2 \sin \alpha - x \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha))^2}} - \quad (3)$$

$$- \frac{(\mu_u \pi x (d_2 \sin \alpha - x \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha))^2 \cdot (\mu_c f_c)^2}{[(\mu_c f_c)^2 + (\mu_u \pi x (d_2 \sin \alpha - x \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha))^2]^{3/2}}.$$

$$\cdot \left[\frac{\pi}{4} (d_u^2 - d_1^2) + \frac{\pi}{4} d_1^2 \frac{(\mu_u \pi x (d_2 \sin \alpha - x \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha))^2}{(\mu_u \pi x (d_2 \sin \alpha - x \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha))^2 + (\mu_c f_c)^2} \right];$$

где m – масса подвижных деталей форсунки; V – объем кармана форсунки; β – коэффици-

ент сжимаемости топлива; Δp – давление впрыска; γ – плотность топлива; x – координата подъема иглы; $f_u(x)$ – функция зависимости площади первого дросселирующего сечения от подъема иглы; f_c – площадь второго дросселирующего сечения; μ_u – коэффициент расхода первого дросселирующего сечения; μ_c – коэффициент расхода второго дросселирующего сечения; d_u – диаметр направляющей иглы в прецизионной паре; d_l – диаметр иглы в области кармана; c – жесткость пружины.

С изменением какого-либо параметра форсунки эти коэффициенты будут меняться. Для примера возьмем форсунку ОАО «РУМО». Изменение произведения коэффициентов A_1A_2 , A_0A_3 от давления подаваемого в форсунку топлива представлено на рис. 1. В соответствии с критерием Раусса-Гурвица рабочая область слева от точки пересечения характеризует устойчивую работу форсунки, а область справа от точки пересечения – неустойчивую.

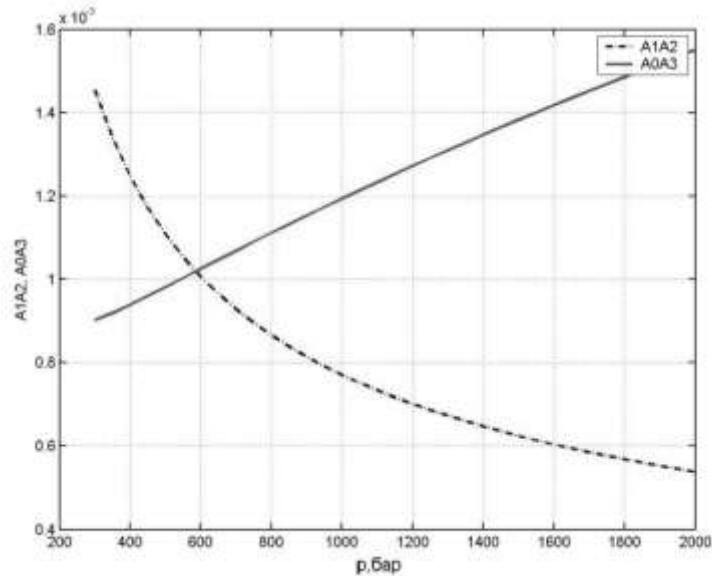


Рис. 1. Зависимость произведения коэффициентов A_1A_2 , A_0A_3 от давления подаваемого в форсунку топлива

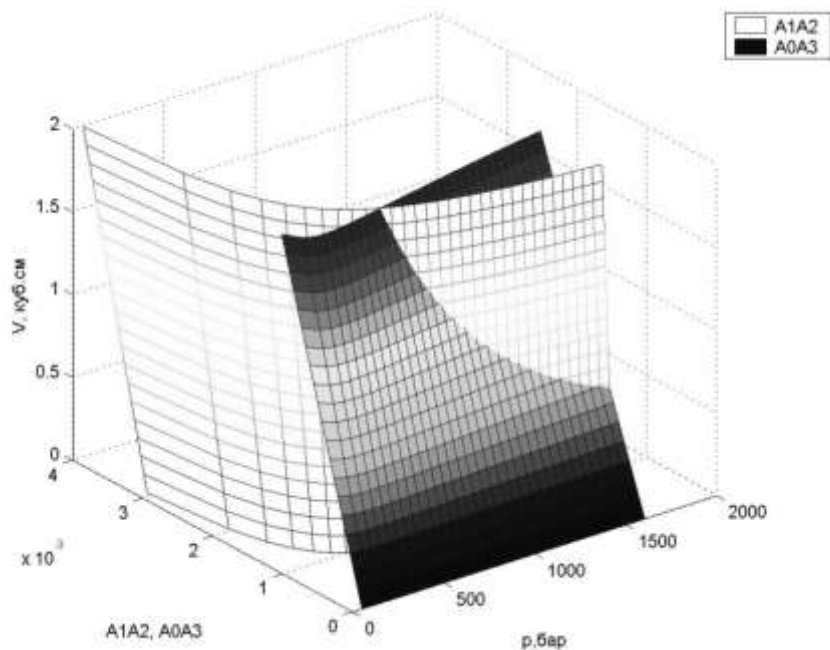


Рис. 2. Смещение границы устойчивости в зависимости от давления и объема кармана форсунки

Предложена идея в данную двумерную картину ввести 3-ю координату в виде другого параметра форсунки. На рис. 2 этим параметром является объем кармана форсунки. В результате имеем не две пересекающиеся кривые, а две поверхности и не точку пересечения кривых, а линию. Данная операция осуществлена в программном пакете MATLAB. По сути, данная линия будет показывать смещение границы устойчивости при изменении любых двух параметров.

В итоге мы имеем информацию о взаимосвязанном влиянии двух параметров форсунки на ее устойчивость. Это позволит осуществить оптимизационный подбор этих параметров для исключения неустойчивости работы форсунки. Данный подход может позволить создать методику по подбору параметров форсунки для обеспечения устойчивости ее работы, что может найти применение в процессе проектирования форсунки, а также служить инструментом в исследовательской работе по изучению влияния различных параметров форсунки на ее устойчивость.

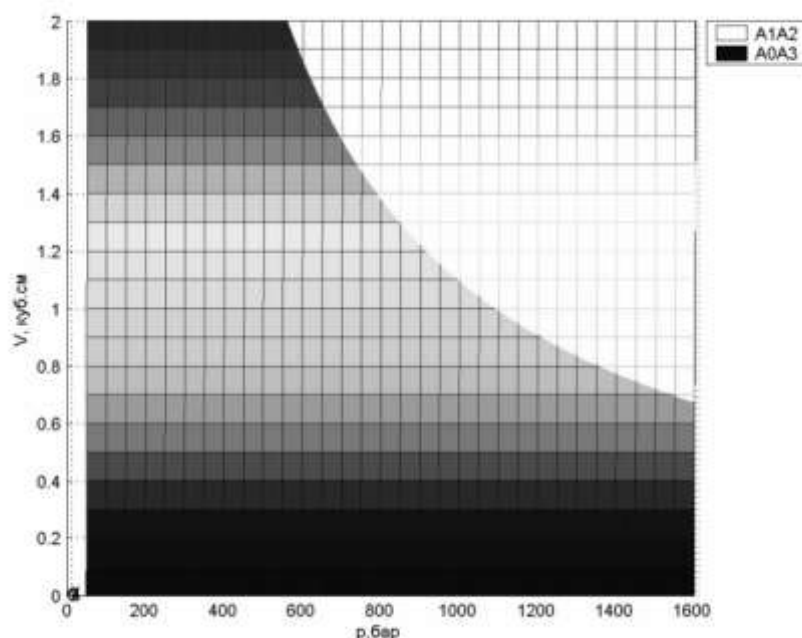


Рис. 3. Смещение границы устойчивости в зависимости от давления и объема кармана форсунки (вид со стороны оси A_1A_2 , A_0A_3)

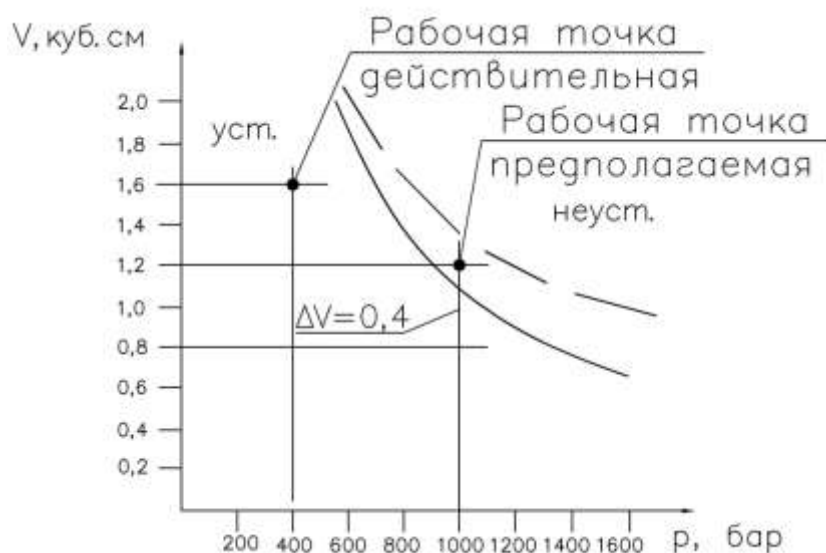


Рис. 4. Смещение границы устойчивости в зависимости от давления и объема кармана форсунки (упрощенный вид)

Схема методики оценки устойчивости форсунки выглядит следующим образом. Давление впрыска форсунки ОАО «РУМО» примерно составляет 400 бар. Можно проанализировать, как изменится устойчивость этой форсунки при увеличении давления впрыска, например, до 1000 бар. Развернем график на рис. 2 до вида, показанного на рис. 3. В результате графическую зависимость устойчивости форсунки от давления и объема кармана форсунки можно редуцировать до вида, показанного на рис. 4. Из графика видно, что для сохранения устойчивости при давлении $p = 1000$ бар необходимо уменьшить объем кармана до $0,8 \text{ см}^3$ от существующего значения $1,6 \text{ см}^3$. Допустим V возможно снизить только до $1,2 \text{ см}^3$. Необходимо найти эквивалентные по эффективности приращению объема $\Delta V = 0,4 \text{ см}^3$ приращения других параметров. Такие эквивалентные приращения можно быстро найти методом подбора.

В итоге имеем приращения параметров $d1$ (диаметр иглы в области кармана), d_i (диаметр направляющей иглы в прецизионной паре), x (координата подъема иглы), которые приведут к подъему линии границы устойчивости на величину $\Delta V = 0,4 \text{ см}^3$ (рис. 5). Получаем достаточно точные количественные инструкции для исключения неустойчивого режима работы форсунки при увеличении давления впрыска от 400 до 1000 бар. Поэтапная иерархия методики применительно к данному сюжету проектирования показана на рис. 6.

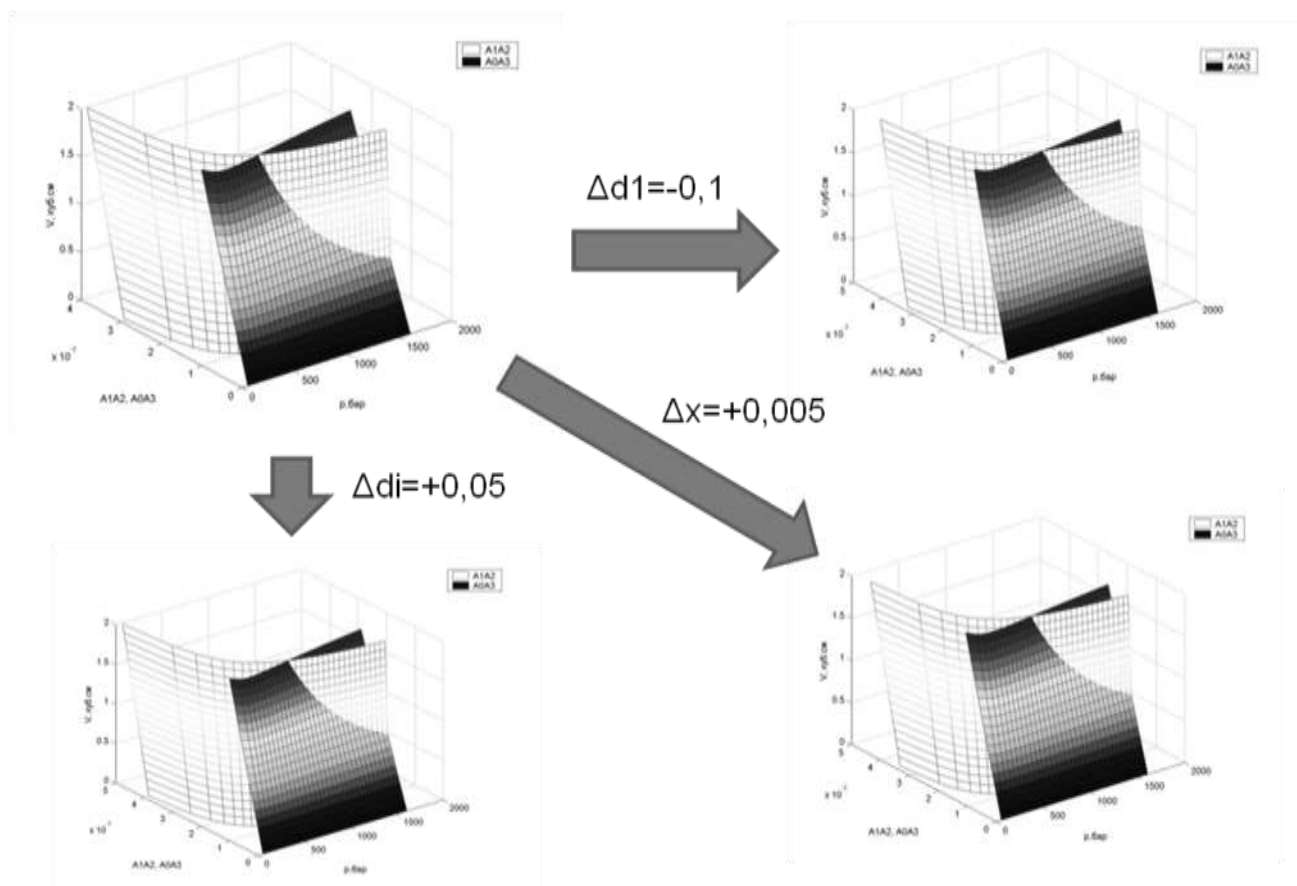


Рис. 5. Влияние приращений различных параметров на положение линии границы устойчивости форсунки

В общем случае предложенная методика может быть применима к любому варианту проектирования дизельной форсунки, а также к оценке устойчивости любой физической системы, описываемой дифференциальным уравнением 3-го порядка.

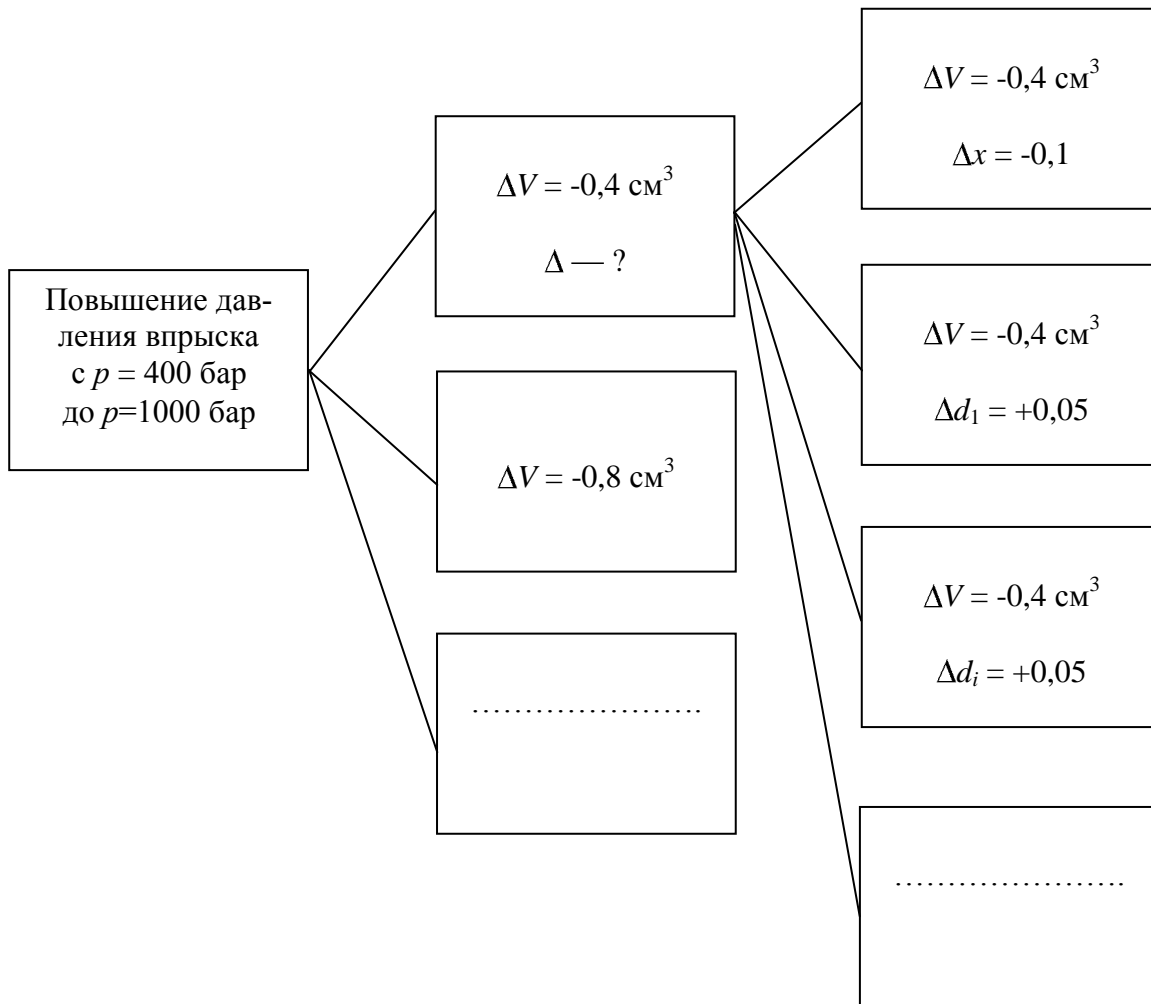


Рис. 6. Схема применения методики оценки устойчивости дизельной форсунки

Дата поступления
в редакцию 09.06.2010

D.V. Kosolapov, V.L. Khimich

STUDY OF NOZZLE STABILITY OF DIESEL ENGINE

The problems of needle self-oscillations of the fuel injectors in diesel engines are considered. A refined method for assessing the sustainability of the nozzle of diesel engine is proposal.

Key words: Internal combustion engine, nozzle, stop needle, self-oscillations. stability, modeling.

УДК 629.12

В.П. Лобастов

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ
СМЕШАННОГО (РЕКА-МОРЕ) СООБЩЕНИЯ**

ФГУ «Российский Речной Регистр»

Рассматриваются перспективные решения, позволяющие улучшить позиции отечественных судовладельцев на рынке смешанных (река-море) перевозок в виде совершенствования конструкций судов смешанного плавания (ССП) на базе инновационных решений; создания прогрессивной транспортно-технологической системы на основе использования толкаемых составов смешанного плавания (ТССП).

Ключевые слова: судовладелец, смешанные перевозки, конструкция судов, транспортно-технологическая система, толкаемые составы.

Водный транспорт России исторически занимал одно из ведущих мест в обслуживании крупных промышленных центров страны.

Строительство гидроузлов на Волге, Каме, Дону и судоходных каналов: Беломорского, Волго-Донского, Волго-Балтийского – обусловило необходимость создания большегрузных грузовых судов для смешанных (река-море) перевозок, без перевалки грузов в устьевых портах.

Благодаря своим преимуществам суда смешанного и ограниченного района плавания (СОРП) дедвейтом менее 5000 т составляют сегодня существенную часть мирового торгового флота. Доля от общего числа судов для танкеров – около 45%, для сухогрузов – около 67%. Как правило, эти суда имеют ограничения по районам и сезонам плавания, удаленности от места убежища, условиям волнения и ветра. [1]

При реализации данных ограничений поиск технических решений, позволяющих существенно снизить затраты на строительство судов и их эксплуатацию, является одним из главных путей завоевания рынка, а в нынешних условиях – его удержания.

К таким перспективным решениям, позволяющим не только сохранить позиции отечественных судовладельцев на рынке смешанных (река-море) перевозок, но и существенно их улучшить, прежде всего относятся:

- совершенствование конструкций судов смешанного плавания (ССП) на базе инновационных решений;
- создание прогрессивной транспортно-технологической системы на основе использования толкаемых составов смешанного плавания (ТССП).

1. Современное состояние. Варианты транспортных систем для перевозки грузов в смешанном «река-море» сообщении, используемые в мировой практике, представлены на рис. 1.

Каждая из этих систем имеет свои преимущества и недостатки и при определенных условиях эксплуатации может оказаться наиболее эффективной. В то же время, по результатам многочисленных технико-экономических обоснований в целом ряде стран, приоритетное направление отдано самоходным судам и толкаемым или буксируемым составам.

При их проектировании прорабатывается и исследуется весь комплекс вопросов и характеристик, свойственных речным и морским судам. Поэтому создание судов смешанного плавания является сложной инженерной задачей, учитывающей трудности совмещения в одном судне разнообразных и часто противоречивых требований, требующих принятий компромиссных решений по целому ряду вопросов.

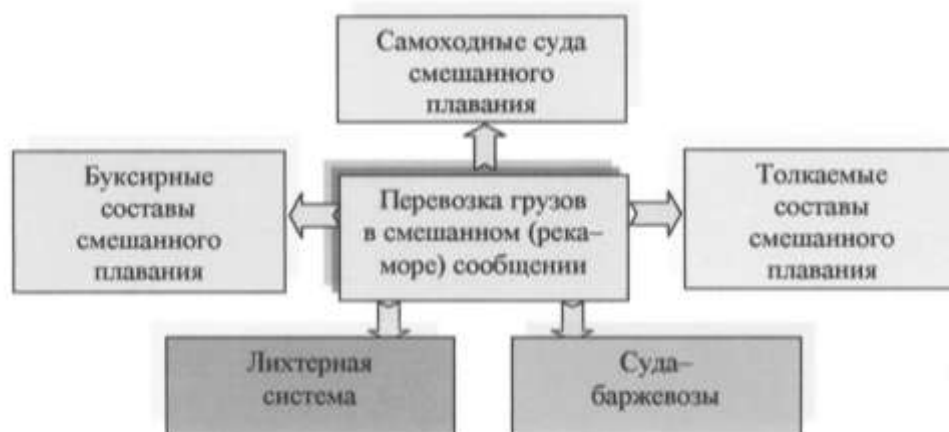


Рис. 1. Варианты транспортных систем для перевозки грузов в смешанном (река-море) сообщении

Для самоходных судов ССП это нашло свое отражение в формировании отечественной школы проектирования, строительства и эксплуатации судов, включающей научно-технический потенциал (НИИ, КБ и академическую науку), организационно-правовые нормы (кодекс КВВТ), нормативную базу (Правила РРР), целый комплекс требований контроля со стороны государства за соблюдением стандартов безопасности и др.

В то же время для ТССП целый комплекс вопросов по анализу экспериментальных исследований основ проектирования, выбору типа цепного устройства и разработке теоретических и методических основ проектирования остается несистематизированным и научно не обобщенным.

В настоящее время на кафедре «Кораблестроение и авиационная техника» НГТУ им. Р.Е. Алексеева завершается работа над монографией «Проектирование толкаемых составов смешанного (река-море) плавания» (автор – к.т.н, доцент В.П. Лобастов, рецензент – д.т.н., профессор В.А. Зуев), которая, по мнению автора, позволяет научно-технической общественности профессионально ознакомиться со всеми специальными вопросами проектирования ТССП.

2. Проектирование толкаемых составов смешанного (река-море) плавания.

В монографии основным средством формирования нормативных материалов и практических рекомендаций по проектированию являются экспериментальные исследования, проведенные при непосредственном участии автора совместно с сотрудниками ОАО КБ «Вымпел», ВГАВТа, НГАВТа, ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.П. Крылова».

Практическая ценность модельных испытаний заключается в возможности переноса полученных при испытании данных на натурный объект, при соблюдении геометрического, кинематического и динамического подобия модели и натурального судна.

Экспериментальные исследования качки, волновых нагрузок и мореходности двухсекционного состава показали, что поведение секций на волнении, его мореходные качества и ходкость, а также усилия в корпусе и сцепе определяются целым рядом гидродинамических и конструктивных особенностей. К числу наиболее важных следует отнести следующие: тип цепного устройства, главные размерения и их соотношение, положение цепного устройства по длине состава, конструктивный тип кормовой оконечности грузовой секции и др. Учет этих факторов дает возможность при проектировании ТССП за счет конструктивных мероприятий добиваться существенного улучшения их мореходных качеств и эффективности.

Проектирование как процесс. При наличии отмеченных факторов процесс проектирования толкаемых составов смешанного (река-море) плавания, как и обычных судов, развивается путем последовательного уточнения параметров в виде спирали проектирования (рис. 2).

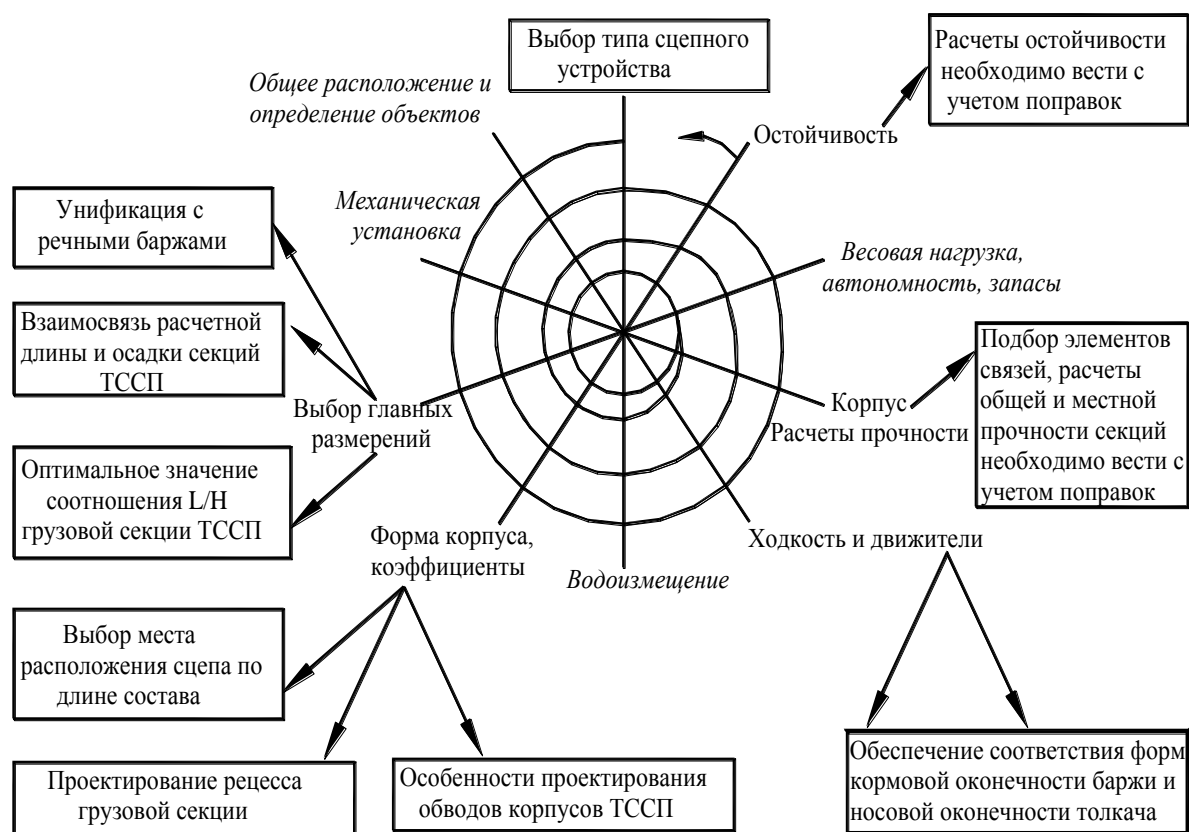


Рис. 2. Спираль проектирования ТССП

Однако формируется эта спираль последовательности проектирования с определенными особенностями:

1. Процесс проектирования рационально начинать с выбора типа сцепного устройства состава. Определяющим является количество степеней свободы относительных перемещений секций, предоставляемых сцепным устройством.

Все сцепные устройства, в зависимости от того, какой тип соединения образуют, можно разделить на три основные группы. За основу такого разделения сцепных устройств на группы принято количество степеней свободы, которое они (сцепные устройства) обеспечивают при соединении: жесткое, ограниченно-подвижное, подвижное.

Схема классификации сцепных устройств толкаемых составов по различным признакам приведена на рис. 3 [2].

Из двух наиболее надежных и перспективных типов сцепного устройства (жесткий или ограниченно-подвижный) предпочтительным для мелкосидящих ТССП следует считать ограниченно-подвижный (шарнирный) сцеп с одной степенью свободы.

2. Выбор главных размерений должен оптимальным образом учитывать реализацию всех факторов преимуществ ТССП как при эксплуатации на море, так и при эксплуатации в реке (раскрепление тяги, увеличение числа толкаемых барж состава в реке, максимальное использование габаритов судового хода при оптимальном заполнении камер шлюзов и т.д.).

Но обоснование выбора главных размерений этим не ограничивается. Существенное влияние на определение размерений влияет взаимосвязь расчетной длины и осадки секций толкаемого состава.

3. При отработке форм корпуса особое внимание должно быть уделено выбору места расположения сцепа по длине состава, проектированию рецесса грузовой секции и проектированию обводов корпусов толкаемого состава смешанного плавания.



Рис. 3 Схема классификации сцепных устройств толкаемых составов

Отработанная таким образом форма корпусов – одна из главных характеристик, от которой зависят мореходные качества и экономические показатели работы состава, поскольку дополнительные составляющие сопротивления движению состава в общем балансе сопротивления выше, чем у обычных судов.

4. Подбор элементов связей, расчеты общей и местной прочности секций состава необходимо вести с учетом поправок на величину усилий в сцепе и величину максимума дополнительного вертикального изгибающего момента баржи, вызванного реакцией взаимодействия секций в районе сцепа.

5. Расчетной мерой остойчивости толкаемого состава, как и для обычного судна, является восстанавливающий момент. Однако восстанавливающий момент M_{BC} толкаемого состава с сцепным устройством, имеющим одну или более степень свободы, не может быть получен простым сложением восстанавливающих моментов грузовой (M_{B1}) и энергетической (M_{B2}) секций.

Изменение восстанавливающего момента можно представить в виде

$$M_{BC} = (M_{B1} + M_{B2}) - \Delta M_{BC},$$

где M_{BC} - восстанавливающий момент для состава, кНм; M_{B1} , M_{B2} - моменты восстанавливающие для грузовой и энергетической секций состава, кНм; ΔM_{BC} - величина изменения момента восстанавливающего для состава, кНм.

При этом абсолютная величина ΔM_{BC} во многом зависит от размерений и формы корпусов секций, координат центров тяжести, интенсивности волнения, курсовых углов движения состава и т.п.

Выбор места расположения сцепа по длине состава. При шарнирном соединении секций достаточно эффективным средством воздействия на мореходные и прочностные качества состава является изменение положения оси шарнира по длине. В наибольшей мере положение оси сцепа влияет на качку энергетической секции и величину вертикального усилия в сцепе. Для улучшения этих характеристик мореходности и прочности необходимо стремиться к максимально возможному (насколько возможно большему) выдвиганию шарнира в нос толкача. Следует отметить, что это смещение благоприятно также для исключения оголения движителей.

На горизонтальные усилия в сцепе положение сцепного устройства и его тип практического влияния не оказывают.

Проектирование рецесса грузовой секции. Дополнительные возможности улучшения ходовых и мореходных качеств состава с врезным упором связаны с выбором размеров и формы рецесса грузовой секции.

Удлинение рецесса, особенно на переднем ходу, благоприятно влияет на килевую качку энергетической секции, что обусловлено умерением возмущающего воздействия волнения из-за экранирующего действия скегов. Наиболее заметно это воздействие на сравнительно коротких волнах.

Увеличение относительной длины рецесса от $\bar{l}_p = \frac{l_p}{L_{гр}} = 0,11$ до $\bar{l}_p = 0,27$,

где l_p - длина рецесса, м; $L_{гр}$ - длина грузовой секции, м, с одной стороны приводит к росту смоченной поверхности корпуса, а с другой, – сопровождается уменьшением площади отрыва на торцах скегов, уменьшением вихреобразования в корме, что, в конечном итоге, способствует уменьшению сопротивления в целом. В дальнейшем с увеличением длины рецесса $l_p > 0,30$ следует ожидать рост сопротивления за счет увеличения смоченной поверхности.

Авторами представлены значения коэффициентов счала $K_{сч}$ в зависимости от скорости движения и длины рецесса.

Наименьшие значения коэффициента счала соответствуют составам, у которых толкач на 0,3-0,5 своей длины входит в кормовой рецесс грузовой секции. С уменьшением длины рецесса коэффициент счала возрастает и приближается к коэффициенту счала толкаемых составов с транцевым упором.

Таким образом, для составов с врезным упором обеспечение соответствия формы кормовой ниши баржи форме носа толкача также актуально, как для составов с транцевым упором.

3. Определение усилий на сцепное устройство. На момент разработки первого толкаемого состава смешанного плавания на базе судов проектов 16806 и 14506 (RosScan Power) апробированные на практике расчетные методики отсутствовали. По этой причине для определения усилий на сцепное устройство автором были рассмотрены 12 известных экспериментально-теоретических исследований.

Анализ применения различных методик для определения нагрузок на шарнирное сцепное устройство ТССП выявил большой разброс их величины от 100 до 800% и более.

Все это вместе взятое явилось основанием для подготовки предложений о формировании эмпирических формул и включении их в Правила Российского Речного Регистра для определения нагрузок на сцепные устройства толкаемых составов смешанного плавания [3], [4].

4. К определению волновых нагрузок на шарнирно-сочлененную систему ТССП. Результаты экспериментальных исследований подтвердили наиболее существенные закономерности общего вертикального изгиба шарнирно-сочлененной системы толкач-баржа, находящейся под произвольным углом φ к регулярному двумерному волнению, и действенность формул, полученных А.М. Фроловым для оценки волновых нагрузок, определяющих прочность баржи при общем вертикальном изгибе состава [5].

Библиографический список

1. **Егоров, Г.В.** Проектирование и постройка коастров и судов смешанного плавания / Г.В. Егоров. – Одесса: Изд-во Николая Дубова, 2008. –128 с.
2. **Лобастов, В.П.** Сцепные устройства морских составных судов и толкаемых составов, рукопись за № ДР-2455 депонир. в ЦНИИ «Румб» 20.03.1986.
3. **Лобастов, В.П.** Разработка требований к сцепным устройствам толкаемых составов смешанного плавания / В.П. Лобастов, В.Н. Заякин, Г.П. Котов // Научно-технический отчет. Ч. I, II. – Нижний Новгород. Российский Речной Регистр. 1999 г.
4. Российский Речной Регистр. Правила. Т-4. Москва.
5. **Фролов, А.М.** К определению волновых нагрузок на шарнирно-сочлененную систему толкач-баржа // Труды ГИИВТ. Горький. 1980. Вып. 181. С. 60-70.

*Дата поступления
в редакцию 09.06.2010*

V.P. Lobastov

THE DESIGN FEATURES of TRANSPORT SYSTEMS OF MIXED (RIVER-SEA) COMMUNICATIONS

Federal State Institute Russian River Register

Considered promising solutions to improve the position of domestic shipowners in the market mixed (river-sea) communications in the form of: improving the design of combined vessels, based on innovative solutions, creating advanced transportation technology systems through the use of pushed convoys mixed navigation.

Key words: shipowner, mixed (river-sea) communication, construction vessels, advanced transportation technology systems, convoys navigation.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.3

Е.И. Татаров

РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОПОДСТАНЦИЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева

Рассмотрено влияние особенностей режимов работы главных понизительных трансформаторов тяговых подстанций переменного тока на характеристики, определяющие эффективность работы подстанций.

Ключевые слова: электрическая тяга, разрешенная мощность, загрузка трансформатора, нагрузочные потери, норматив потерь.

В рамках реформы электроэнергетики РФ продолжается работа по совершенствованию правовой базы, во многом определяющей эффективность отрасли не только на данный момент, но и в будущем. При этом можно выделить два направления, которые требуют более детального анализа инженерных методов подхода применительно к особенностям систем электроснабжения переменного тока электрифицированных железных дорог.

Поправки, принятые к закону о правилах недискриминационного присоединения электроустановок потребителей [1] в апреле 2009 г., создали предпосылки к наведению порядка в системе определения разрешенной к использованию мощности. В частности, прописан механизм установления этой величины в случае утраты технических условий на присоединение к сетям электросетевой организации (ЭСО) и для владельцев избыточных значений разрешенной мощности разрешена их продажа частным предпринимателям. В перспективе этот шаг законодателя позволит повысить степень использования уже существующих электрических сетей.

В конце 2008 г. принята вторая редакция Инструкции по организации расчета и обоснования нормативов технологических потерь [2]. Этот документ совершенствует принятые в РФ нормы тарифообразования на услуги транспорта электрической энергии, описывая порядок расчета нормативов потерь электрической энергии (НТПЭ) при ее транспорте, затраты на компенсацию которых составляют второе слагаемое транспортного тарифа. Весьма важной составляющей этих потерь являются потери, связанные с нагревом обмоток силовых трансформаторов понижающих подстанций.

В рамках рассмотренных направлений возникают две конкретные инженерные задачи: определение допустимой присоединяемой нагрузки к трансформаторам электрифицированных железных дорог и расчет нагрузочных потерь в обмотках этих трансформаторов с учетом особенностей режимов электропотребления тяговых нагрузок.

По данным ОАО РЖД суммарная протяженность электрифицированных путей составляет около 40 000 км. При этом до 73% всех грузовых перевозок в России осуществляются по электрифицированным участкам. При высокой степени унификации схемных решений по тяговым понизительным подстанциям (ТПС) и среднем расстоянии между ними около 50 км понятно значение рассматриваемых вопросов.

Основные особенности эксплуатационных характеристик трансформаторов тяговых подстанций определяются особенностями режима транспорта электроэнергии потребителям электрифицированной железной дороги, представляющими собой значительные однофазные нагрузки, получающие питание от трехфазной сети.

Отсутствие в массовой практике эксплуатации информации о реальном распределении токов по фазам трансформаторов с тяговой нагрузкой не позволяет применить для анализа режимов классический метод симметричных составляющих.

Целью данного исследования является определение реальной пропускной способности трехфазного силового трансформатора в условиях питания несимметричных (тяговых) нагрузок от обмоток среднего напряжения.

Критерием допустимости нагрузки отдельной наиболее загруженной фазы при несимметричном режиме нагрузки является не превышение ее значений величины номинальной фазной мощности обмоток (при симметричной подключенной к трансформатору нагрузке – одна треть от номинала). При этом для маслонаполненных трансформаторов с системами охлаждения М и Д первый критерий допустимости режима – не превышение температурой наиболее нагретых частей трансформатора значения $+140^{\circ}\text{C}$ – будет выполняться, а второй – температура верхних слоев масла не выше $+95^{\circ}\text{C}$ – будет выполняться гарантированно за счет существенной недогрузки обмотки одной из трех фаз.

Особенность анализа заключается в необходимости оценить допустимые уровни передаваемой мощности через обмотки отдельных фаз в условиях, когда эксплуатирующий персонал располагает лишь интегральными значениями параметров режима (P, Q), получаемых с приборов объективного контроля.

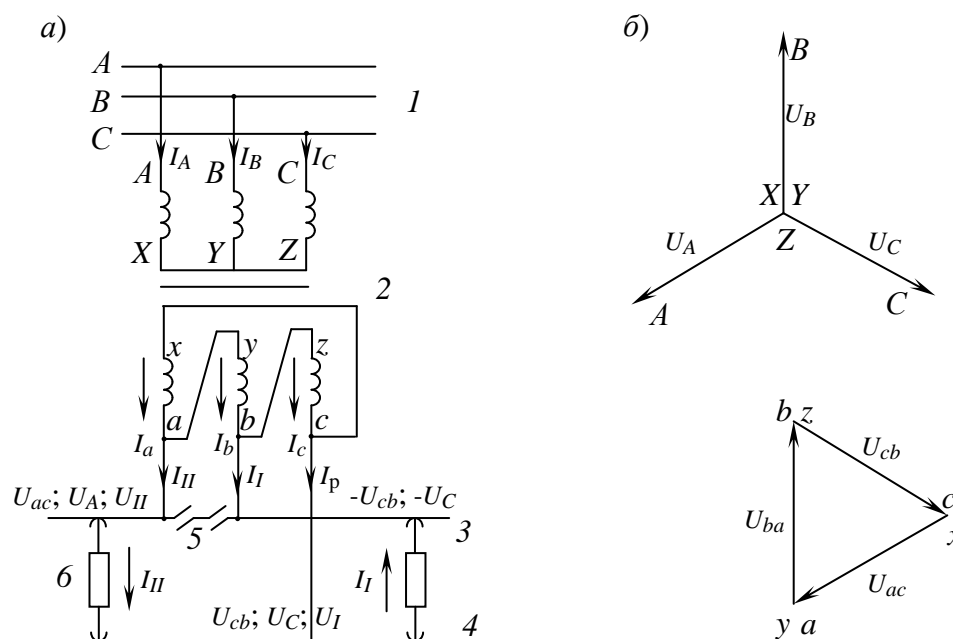


Рис. 1. Схема питания тяговой сети однофазного тока с помощью трехфазного трансформатора, соединенного по схеме $Y/\Delta-11$ (а); векторная диаграмма напряжений первичной и вторичной обмоток (б):

1 – трехфазная линия передачи; 2 – трехфазный трансформатор; 3 – контактная сеть; 4 – рельсы; 5 – нейтральная вставка; 6 – электровоз

Однолинейной исполнительной схеме ГПС соответствует схема питания тяговой сети однофазного тока с помощью трехфазного трансформатора (рис. 1). Данная схема (рис. 1, а) позволяет ввести набор обозначений, используемых при анализе режимов работы трансформаторов с тяговой нагрузкой [3]. Векторные диаграммы напряжений первичной (110 кВ) и

вторичной (27,5 кВ) обмоток, в привязке к началам и окончаниям фазных обмоток (рис. 1, б) соответствуют группе соединений Y - o/Δ и общепринятой системе обозначений при направлении отсчета углов против часовой стрелки. О величинах, имеющих индексы в виде римских цифр I, II и III, будет сказано далее.

С учетом введенных обозначений напряжения в тяговой сети между контактным проводом и рельсами U_{ac} (слева на рис. 1, а) и между рельсами и контактным проводом U_{cb} (на рис. 1, а - справа) совпадают по фазе с напряжениями первичной стороны соответственно U_A и U_C (рис. 1, б). Данная схема является трехфазно-двухфазной. В общем случае при этой схеме трехфазная система нагружается неравномерно.

Обратим внимание на то, что напряжение в фидерных зонах совпадает по фазе с фазными напряжениями двух фаз трехфазной системы, в данном случае U_C (справа на рис. 1) и U_A (слева). Эти фазы условно называют рабочими, а третью фазу B - нерабочей. Эту нерабочую фазу B обозначим цифрой III и тогда соответственно ходу вращения векторов фазу C - цифрой I и фазу A цифрой II.

В теории электрических машин доказывается, что для схемы Y/Δ , т.е. для схемы, где отсутствуют токи нулевой последовательности, каждую фазу трансформатора и при несимметричной нагрузке можно рассматривать независимо одна от другой, т.е. как однофазный трансформатор. При этом в замкнутом контуре треугольника не может возникнуть однофазный ток нулевой последовательности, и распределение нагрузок на вторичной стороне между фазами трансформатора определяется только соотношением сопротивлений обмоток. Напряжение левой фидерной зоны (с током I_{II}) $U_{II} = U_{ac}$.

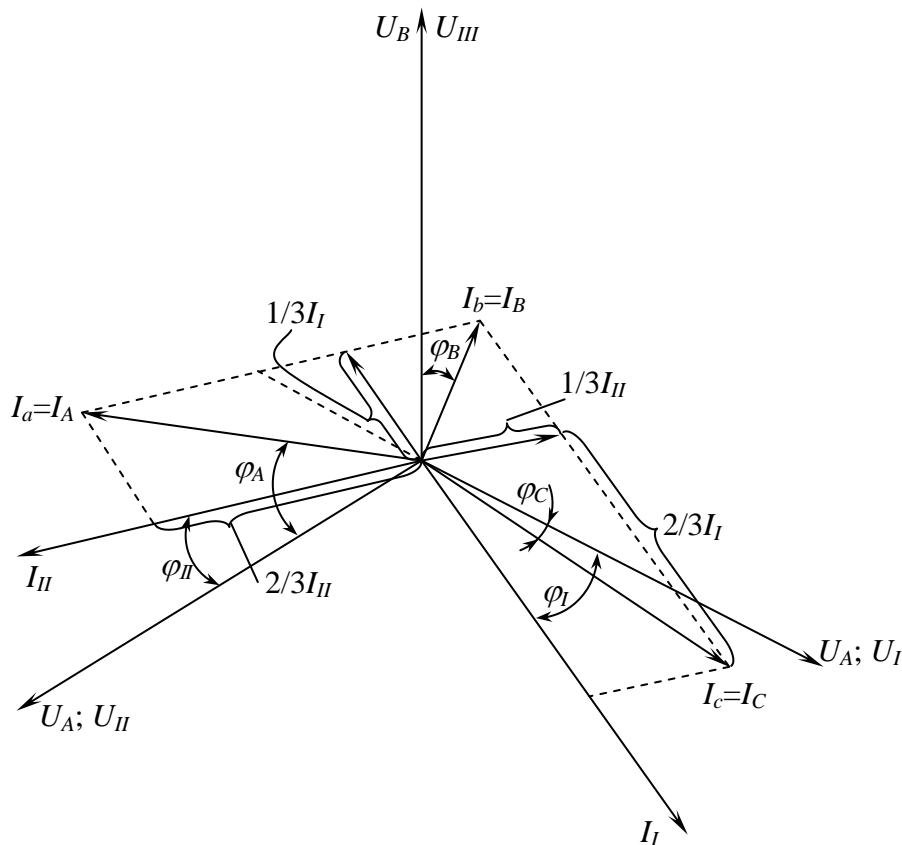


Рис. 2. Векторная диаграмма для определения токов фаз трехфазного трансформатора

Это напряжение генерируется как бы в двух параллельно соединенных источниках электрической энергии вторичной цепи (рис. 1, а); первым является обмотка ax , а вторым -

последовательно соединенные обмотки by и cz (где оно получается в результате геометрического сложения напряжений двух обмоток by и cz). Но сопротивление обмотки ax в два раза меньше сопротивления двух других обмоток, соединенных последовательно. Поэтому ток I_{II} разделяется между этими генерирующими напряжением U_{ac} обмотками в отношении 2:1. Аналогичным образом делится и ток I_I . Соответствующая этому подходу векторная диаграмма токов и напряжений в общем виде приведена рис. 2.

Значения токов в фазовых обмотках трансформатора можно получить из уравнений Кирхгофа. Если в рассматриваемый момент времени справа от подстанции нагрузка I_I и слева I_{II} (рис. 1, a), то можно написать:

$$-I_I = I_b - I_c; \quad I_{II} = I_a - I_b; \quad I_p = I_c - I_a. \quad (1)$$

Кроме того, известно, что

$$I_a + I_b + I_c = 0. \quad (2)$$

Решив эти уравнения относительно I_a , I_b и I_c , получим

$$I_c = \frac{2}{3}I_I - \frac{1}{3}I_{II}; \quad I_a = \frac{2}{3}I_{II} - \frac{1}{3}I_I; \quad I_b = -\frac{2}{3}I_I - \frac{1}{3}I_{II}. \quad (3)$$

Полученные выражения позволяют построить адаптированную к конкретным условиям векторную диаграмму токов в фидерных зонах при условии, что нам будут известны фазовые углы между токами и напряжениями в фидерных зонах. Информационное обеспечение задачи не позволяет в условиях эксплуатации учесть некоторое отличие углов φ между токами и напряжениями левой и правой фидерной зоны, в силу чего принимаем допущение о равенстве этих углов. На основании обработки значений коэффициентов мощности и расчета соответствующих им фазовых углов на недельных интервалах, включающих характерные зимние сезонные сутки 17.12.2008 г. (с 15 по 21 декабря 2008 г.) и характерные летние сезонные сутки 17.06.2009 г. (с 15 по 21 июня 2009 г.) установлено, что среднечасовые значения коэффициентов мощности меняются в диапазоне от 0,486 до 1,360 зимой и от 0,277 до 9,850 летом, однако средние недельные их значения одинаковы для обоих сезонов и соответствуют фазовому углу между током и напряжением около 39° (при построении диаграммы значение угла удобнее округлить до 40°). Пренебрегаем незначительными потерями в обмотках трансформатора и на этом основании считаем, что данные приборного учета на стороне 27,5 кВ характеризуют режим непосредственно нагрузки, под которой в данной задаче понимаем и собственно подвижный состав, и контактную сеть. Внешний вид такой векторной диаграммы показан на рис. 3. Диаграмма строится в прямоугольной системе координат: ось абсцисс соответствует действительным числам, ось ординат – мнимым. Наносим симметричную трехфазную систему первичных напряжений, совмещая с осью мнимых чисел напряжение "нерабочей" фазы \underline{U}_B . Учитывая допущение о равенстве средних нагрузок фидерных зон и постоянство среднегодового значения фазовых углов, строим вектора токов фидерных зон \underline{I}_I и \underline{I}_{II} . При этом, поскольку нас интересует относительное распределение мощностей по фазам обмоток, величина модулей этих векторов может быть показана на диаграмме произвольно (рис. 3).

Используя адаптированную диаграмму токов фидерных зон в прямоугольной системе координат можно получить аналитические выражения для описания комплексного (векторного) характера этих величин:

$$\underline{I}_I = I_I \cos 70^\circ - j I_I \sin 70^\circ; \quad \underline{I}_{II} = -I_{II} \cos 10^\circ + j I_{II} \sin 10^\circ. \quad (4)$$

Подставляя полученные выражения в формулы (3) и считая, что $|\underline{I}_I| = |\underline{I}_{II}| = I$, получим выражения для расчета токов работающих и неработающей фаз тяговой обмотки:

- "рабочая опережающая" фаза C:

$$\begin{aligned} \underline{I}_C &= \frac{2}{3}\underline{I}_I - \frac{1}{3}\underline{I}_{II} = \\ &= \frac{2}{3}(I_I \cos 70^\circ - jI_I \sin 70^\circ) - \frac{1}{3}(-I_{II} \cos 10^\circ + jI_{II} \sin 10^\circ) = . \\ &= \frac{I}{3} [2\cos 70^\circ + \cos 10^\circ - j(\sin 70^\circ + \sin 10^\circ)]; \end{aligned} \quad (5)$$

- "рабочая отстающая" фаза A:

$$\begin{aligned} \underline{I}_A &= \frac{2}{3}\underline{I}_{II} - \frac{1}{3}\underline{I}_I = \\ &= \frac{2}{3}(-I_{II} \cos 10^\circ + jI_{II} \sin 10^\circ) - \frac{1}{3}(I_I \cos 70^\circ - jI_I \sin 70^\circ) = . \\ &= \frac{I}{3} [(-2\cos 10^\circ - \cos 70^\circ) + j(\sin 10^\circ + \sin 70^\circ)]; \end{aligned} \quad (6)$$

- "нерабочая" фаза B:

$$\underline{I}_B = -(\underline{I}_A + \underline{I}_C). \quad (7)$$

Полученные уравнения (4 – 7) соответствуют векторной диаграмме (рис. 2), где показаны углы сдвига фаз φ_A , φ_B , φ_C между напряжениями U_A , U_B , U_C и токами I_A , I_B и I_C соответственно.

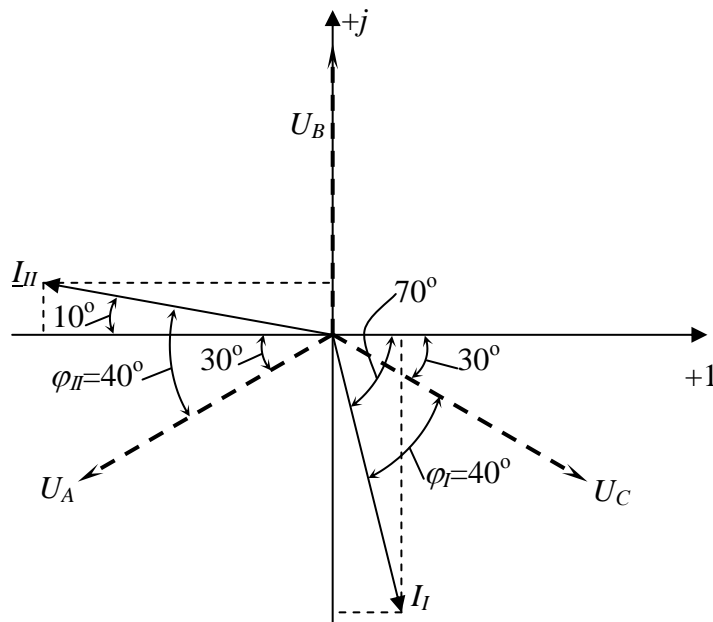


Рис. 3. Адаптированная векторная диаграмма токов фидерных участков ТПС

Выражения (5)–(7) позволяют определить, в каких пропорциях будут распределяться токовые нагрузки тяговой обмотки трансформатора по фазам при равных значениях токов правого и левого фидерного плеча. При действующем значении тока тяговой нагрузки 100 единиц значения фазовых токов составляют:

$$\begin{aligned} \underline{I}_A &= -77,055 + j42,900 ; \quad I_A = 88,192 ; \\ \underline{I}_B &= 21,426 + j25,535 ; \quad I_B = 33,333 ; \\ \underline{I}_C &= 55,628 - j68,434 ; \quad I_C = 88,192 . \end{aligned}$$

Относительные значения фазовых токов относительно тока в фидерном плече составляют по фазам: $I_a\% = 42\%$; $I_b\% = 16\%$; $I_c\% = 42\%$. При допущении симметрии напряжений тяговой обмотки в таких же пропорциях будут распределяться и фазные мощности.

На унифицированных ТПС, как правило, установлены два трехфазных трехобмоточных специальных трансформатора, основные технические характеристики которых приведены (табл. 1).

Таблица 1

Паспортные данные силовых трансформаторов ТПС

Наименование параметра	Ед.изм.	Т-1	Т-2
Тип		ТДТНГЭ-31 500/110	ТДТНГЭ-31 500/110
Группа соединений обмоток		Y-о/Δ/Δ	Y-о/Δ/Δ
Номинальные напряжения:			
ВН	кВ	110	110
СН	кВ	27,5	27,5
НН	кВ	6,6	6,6
Номинальная мощность обмоток:			
ВН	кВ·А	31 500	31 500
СН	кВ·А	31 500	31 500
НН	кВ·А	18 000	18 000
Номинальные токи:			
ВН	А	165,5	165,5
СН	А	662	662
НН	А	1 591	1 591
Мощность потерь х.х.	кВт	108	87,3
Ток х.х.	%	3,7	1,6
Мощность потерь к.з.:			
$\Delta P_{к(в-н)}$	кВт	288,88	293,3
$\Delta P_{к(в-с)}$	кВт	204,767	267,3
$\Delta P_{к(с-н)}$	кВт	310,6	235,3

С учетом изложенного можно отметить:

- общая номинальная мощность тяговой обмотки составляет 31,5 МВ·А;
- номинальная мощность на одну фазу - 10,5 МВ·А;
- номинальное напряжение тяговой обмотки - 27,5 кВ;
- номинальный ток тяговой обмотки на фазу - 0,662 кА.

С учетом несимметрии нагрузки номинальные токи по фазам, кА:

$$I_a = 0,662;$$

$$I_b = 0,662 \frac{16\%}{42\%} = 0,250;$$

$$I_c = 0,662.$$

Предельные полные фазные мощности по отдельным обмоткам, МВ·А:

$$S_a = 10,5;$$

$$S_b = 4,0;$$

$$S_c = 10,5.$$

Общая полная разрешенная мощность тяговой обмотки при $S_{ном,27,5} = 31,5$ МВ·А таким образом составит всего:

$$S_{пред,27,5} = 25 \text{ МВ·А.}$$

Для окончательного ответа на вопрос о реальной пропускной способности тягового трансформатора на ТПС произведены расчеты пропускной способности отдельных обмоток силового трансформатора с техническими характеристиками (табл. 1). Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Расчет выполнен в соответствии с алгоритмом.

Задаемся значениями коэффициента загрузки тяговой обмотки:

$$k_{з27,5} = S_{27,5} / S_{пред,27,5}, \quad (8)$$

в диапазоне от 0 до 1 с шагом 0,1.

Рассчитываем значение $S_{27,5}$ по преобразованной формуле (8) и распределяем передаваемые мощности тяговой нагрузки по фазам в соответствии со схемой подключения трансформатора к контактной сети и полученными соотношениями фазового распределения мощности.

Определяется суммарная допустимая мощность симметричной не тяговой нагрузки 6 кВ, передача которой не вызовет перегрева ни трансформатора, ни отдельных его узлов по выражению,

$$\text{если } (3S_{раб.ф.27,5} + S_{ном.6}) < S_{ном}, \quad S_{пред.6} = 18; \quad (9)$$

$$\text{иначе } S_{пред.6} = S_{ном} - 3S_{раб.ф.27,5},$$

и полученное значение распределяется по фазовым обмоткам 6 кВ трансформатора.

Определяется загрузка отдельных одноименных фаз обмотки высокого напряжения и их суммированием – общая допустимая загрузка трансформатора при заданной величине тяговой нагрузки.

Для удобства применения методики оценки допустимости режима трансформатора построена соответствующая номограмма (рис. 4).

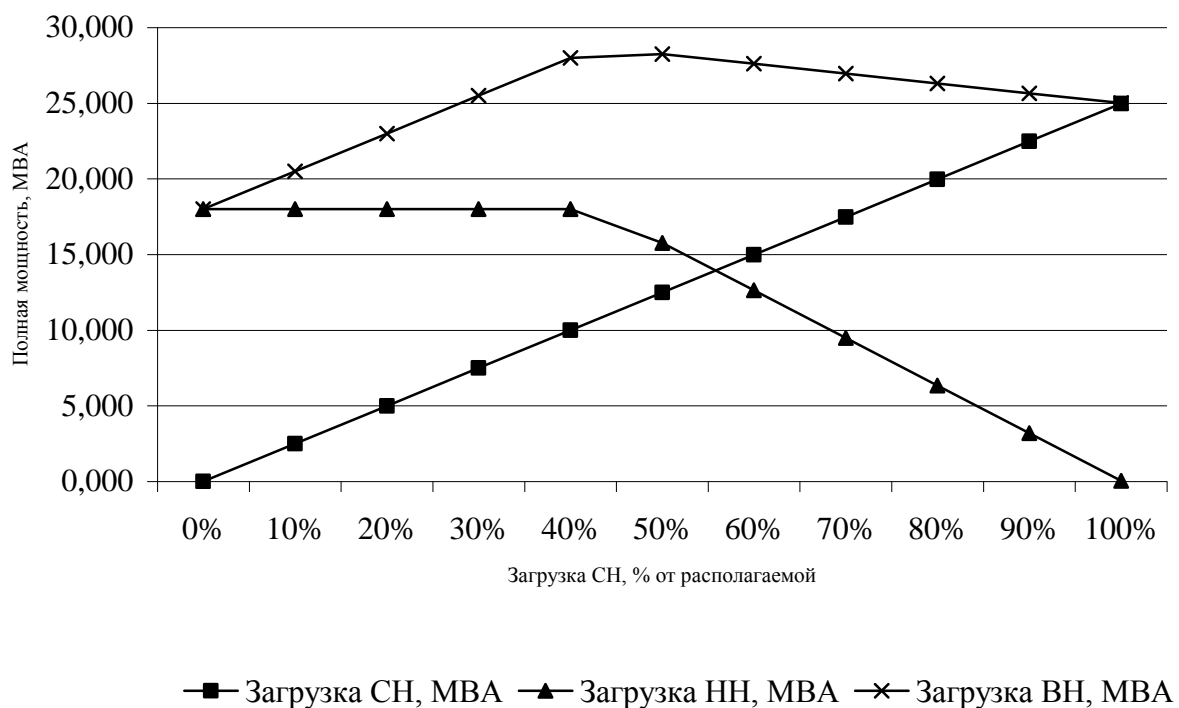


Рис. 4. Оценка располагаемой мощности тягового трансформатора типа ТДТНГЭ-31500/110

Таблица 2

Зависимость предельной допустимой загрузки тягового трансформатора от величины общей мощности тяги

$k_{327,5}^1$	Мощность тяговой обмотки 27,5 кВ, МВ·А				Разрешенная мощность, МВ·А							
					не тяговой обмотки 6 кВ				трансформатора			
	$S_{27,5}$	а	в	с	Итого НН	а	в	с	а	в	с	Итого ВН
0	0,000	0,000	0,000	0,000	18,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	18,000
0,1	2,497	1,049	0,399	1,049	18,000	6,000	6,000	6,000	7,049	6,399	7,049	20,497
0,2	4,994	2,097	0,799	2,097	18,000	6,000	6,000	6,000	8,097	6,799	8,097	22,994
0,3	7,491	3,146	1,198	3,146	18,000	6,000	6,000	6,000	9,146	7,198	9,146	25,491
0,4	9,987	4,195	1,598	4,195	18,000	6,000	6,000	6,000	10,195	7,598	10,195	27,987
0,5	12,484	5,243	1,997	5,243	15,770	5,257	5,257	5,257	10,500	7,254	10,500	28,254
0,6	14,981	6,292	2,397	6,292	12,624	4,208	4,208	4,208	10,500	6,605	10,500	27,605
0,7	17,478	7,341	2,796	7,341	9,478	3,159	3,159	3,159	10,500	5,956	10,500	26,956
0,8	19,975	8,389	3,196	8,389	6,332	2,111	2,111	2,111	10,500	5,307	10,500	26,307
0,9	22,472	9,438	3,595	9,438	3,186	1,062	1,062	1,062	10,500	4,657	10,500	25,657
1	24,969	10,487	3,995	10,487	0,040	0,013	0,013	0,013	10,500	4,008	10,500	25,008

Примечание:

1. $k_{327,5} = S_{27,5} / S_{\text{пред},27,5}$. Для трансформатора ТДТНГЭ – 31 500/110 $S_{\text{пред},27,5} = 25$ МВ·А

В настоящее время [2] предлагает рассчитывать нагрузочные потери в обмотках трехфазных трехобмоточных трансформаторов с использованием активных сопротивлений ветвей схемы замещения трансформаторов - трехлучевой звезды. При этом в качестве важнейшего используется допущение о симметричности нагрузок фаз трансформатора, что справедливо для большинства понижающих трансформаторов, но не для тяговых, имеющих комбинированную нагрузку.

Анализ влияния несимметричной загрузки обмоток 27,5 кВ на величину нагрузочных потерь удобнее выполнить на основе выражения, основанного на использовании значений мощности потерь короткого замыкания обмоток и коэффициентов загрузки обмоток [4] и трехлинейной схеме замещения тягового трансформатора. Полученные выше соотношения загрузки отдельных фаз трансформаторов ТПС позволили получить численные значения поправочных коэффициентов для потерь в обмотках 110 и 27,5 кВ в зависимости от доли тяговой нагрузки в нагрузке ТПС (табл. 3).

Таблица 3

Кратность увеличения нагрузочных потерь в обмотках тяговых трансформаторов

Доля тяговой нагрузки в общей нагрузке ТПС, о.е.	Кратность увеличения нагрузочных потерь в обмотках трансформаторов по сравнению с симметричным режимом	
	Обмотка ВН	Обмотка СН
0	1,000	1,135
0,1	1,001	1,135
0,2	1,005	1,135
0,3	1,012	1,135
0,4	1,022	1,135
0,5	1,034	1,135
0,6	1,049	1,135
0,7	1,066	1,135
0,8	1,087	1,135
0,9	1,110	1,135
1	1,135	1,135
средн	1,040	1,135

Полученные данные позволяют рекомендовать в практических расчетах применять усредненные значения поправочных коэффициентов: 1,040 для потерь в обмотках высокого напряжения и 1,135 – для обмоток среднего напряжения. При этом расчетное выражение может иметь вид

$$\Delta W_{\text{нагр}} = 1,040 \Delta P_{110} \cdot k_{3110}^2 + 1,135 \Delta P_{27,5} \cdot k_{327,5}^2 + \Delta P_6 \cdot k_{36}^2, \quad (10)$$

где ΔP_{110} , $\Delta P_{27,5}$, ΔP_6 - мощность потерь короткого замыкания соответствующих обмоток, кВт; k_{3110}^2 , $k_{327,5}^2$, k_{36}^2 - квадраты коэффициентов загрузки соответствующих обмоток, о.е.

Выводы

1. Получены численные значения предельной допустимой мощности, передаваемой через обмотки среднего (тягового – 27,5 кВ) и высокого – 110 кВ напряжений, меньшие номинальных мощностей соответствующих обмоток трансформатора.

2. Получена номограмма, позволяющая определять величину допустимой не тяговой нагрузки в зависимости от загрузки обмотки 27,5 кВ.

3. Получено выражение, позволяющее повысить точность расчета нагрузочных потерь в трансформаторах ТПС при вычислении норматива технологических потерь при транспорте электроэнергии.

Библиографический список

1. Постановление Правительства РФ от 27 декабря 2004 г. N 861 "Об утверждении правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг, правил недискриминационного доступа к услугам по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике и оказания этих услуг, правил недискриминационного доступа к услугам администратора торговой системы оптового рынка и оказания этих услуг и правил технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям".
2. "Инструкция по организации в Министерстве энергетики РФ работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям", утверждена приказом Минэнерго России от 30 декабря 2008 г. № 326, зарегистрирована в Минюсте России 12 февраля 2009 г. №13314.
3. **Марквардт, К.Г.** Электроснабжение электрифицированных железных дорог / К.Г. Марквардт. – 4-е изд. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
4. **Копытов, Ю.В.** Экономия электроэнергии в промышленности: справочник / Ю.В. Копытов, Б.А. Чуланов. – М.: Энергия, 1978. – 120 с.

*Дата поступления
в редакцию 10.06.2010*

E.I. Tatarov

**MODES WORK OF TRANSFORMERS
ON TRACTION SUBSTATION RAILWAYS**

Has been examine influence of the features of modes of the main step-down transformers in traction AC substations that determine the effectiveness work of the substations.

Key words: electrification railway, limiting of power rating, load of transformer, resistive losses, standard of losses.

УДК 621.3

Л.А. Герман

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ТЯГОВОЙ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Нижегородский филиал МИИТ

Рассмотрены устройства контроля и поиска коротких замыканий в тяговой сети переменного тока железных дорог.

Ключевые слова: короткие замыкания, контроль и поиск, тяговая сеть, железные дороги.

1. Новые устройства автоматизации электроснабжения тяговых сетей

Повреждения в тяговой сети железных дорог случаются значительно чаще, чем в сетях общего назначения, что связано с постоянным взаимодействием токоприемника электроподвижного состава (ЭПС) с контактной сетью. Перспектива высоких скоростей на отечественных железных дорогах до 250 км/час усиливает необходимость повышения надежности электроснабжения в аварийных ситуациях за счет быстрого обнаружения и локализации места повреждения, а также быстрого восстановления электроснабжения. Другими словами, быстрота устранения повреждения является решающим фактором в надежной системе электроснабжения тяговых сетей.

Рассмотрим новые устройства для автоматизации электроснабжения в аварийных ситуациях, разработанные Нижегородским филиалом МИИТ, и применяемые на Горьковской железной дороге в тяговых сетях переменного тока [1–5].

Длительный опыт эксплуатации систем электроснабжения тяговых сетей указывает на то, что в связи с их спецификой большинство коротких замыканий (КЗ) составляют проходящие (самоустраняющиеся) КЗ – 80...90% и более. В этом случае следует быстро определить, что КЗ – проходящее, и включить фидер контактной сети с использованием быстродействующего автоматического повторного включения (БАПВ).

Для этого разработано и внедрено устройство контроля короткого замыкания (УККЗ), воздействующее на БАПВ.

В случае устойчивых КЗ следует определить место КЗ и контролировать устранение повреждения. К сожалению, устройство определения места повреждения контактной сети переменного тока (ОМП), разрабатываемое многие десятки лет, так и не получило применение в связи с большой погрешностью его работы. Поэтому разработанное устройство определения зоны повреждения (УПКЗ), внедренное на Горьковской ЖД, должно найти широкое применение на железных дорогах.

Все рассматриваемые устройства основаны на новых принципах работы, запатентованы и включены в опытную эксплуатацию. Указанные разработки позволяют перейти на современную технологию эксплуатации контактной сети переменного тока.

2. Устройство контроля короткого замыкания в тяговой сети (УККЗ)

Отечественные электровозы и электропоезда с машинными фазорасщепителями (асинхронные машины) для собственных нужд (например, ВЛ-80с, ЭР-9), обладают таким свойством, что при отключении напряжения в контактной сети (из-за аварийной обстановки или по другим причинам) фазорасщепители переходят в генераторный режим и генерируют напряжение в контактную сеть в течение 0,5...1 с. Если короткое замыкание проходящее (то есть оно исчезло после «снятия» напряжения в контактной сети), то напряжение фик-

сируется с помощью трансформатора напряжения ТН-27,5 кВ (ТН_о на рис. 1), установленного у выключателя фидера со стороны контактной сети, что является фактом отсутствия короткого замыкания. В этом случае дается разрешение на автоматическое повторное включение (АПВ) выключателя фидера.

Если же КЗ устойчивое, то генерируемое напряжение в контактной сети равно нулю, и это является основанием блокировки АПВ.

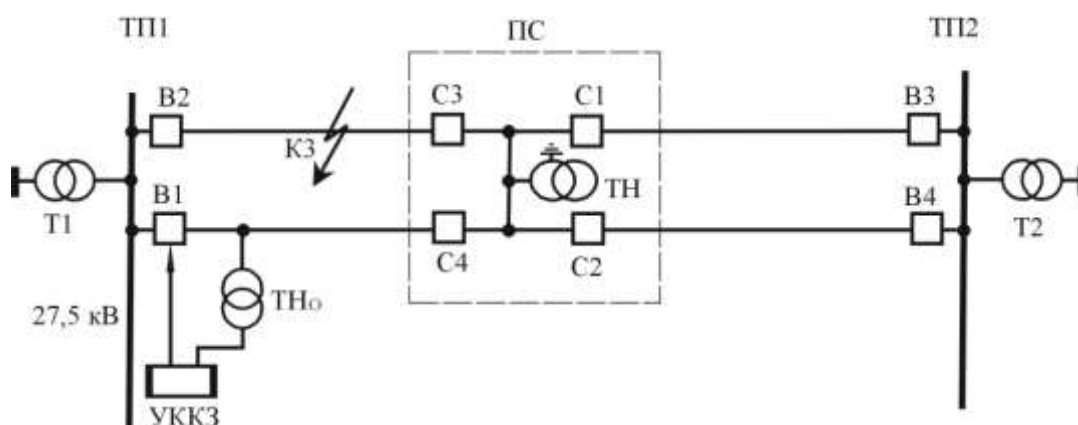


Рис. 1. Схема электроснабжения с постом секционирования (ПС) на выключателях с групповой потенциальной защитой

Устройство УККЗ (6 экземпляров изготовлено на предприятии НПП «ПРИМА», Н.Новгород) работает уже более двух лет на участках систем 25 и 2х25 кВ с включением УККЗ на один фидер межподстанционной зоны (рис. 2).



Рис. 2. Устройство УККЗ

За 2009 год УККЗ сработало при проходящих КЗ 42 раза, а при устойчивых КЗ дало запрет на включение БАПВ 4 раза.

Устройство УККЗ имеет последовательный интерфейс RS-232 для подключения ноутбука, с помощью которого можно проконтролировать работу устройства и изменить соответствующие настройки. На лицевой панели УККЗ установлены светодиодный индикатор работоспособности устройства и кнопка для входа в режим перепрограммирования УККЗ.

В рабочем режиме индикатор светится зелёным цветом. Для контроля работоспособности (искусственного вызова «события») можно нажать и отпустить кнопку контроля на верхней крышке УККЗ. Индикатор работоспособности погаснет и снова засветится по истечении 4–5 с, а через интерфейс RS232 на ноутбук будет выдан результат замера параметров входных сигналов при данном «событии».

При проходящих КЗ и срабатывании БАПВ время перерыва питания в контактной сети не превышает 0,5..0,6 с, что проходит для электроподвижного состава незаметно.

В качестве иллюстрации эффективной работы УККЗ рассмотрим аварийное отключение напряжения в контактной сети двухпутного участка системы 2х25кВ при КЗ и с последующим БАПВ, произошедшее 5.12.2008 при питании от тяговой подстанции Бобьльская Горьковской ЖД (рис. 3). Схема участка подобна схеме на рис. 1, где фидера 1 и 2 соответствуют фидерам 5 и 4 подстанции Бобьльская. УККЗ с БАПВ установлены на фидере 5.

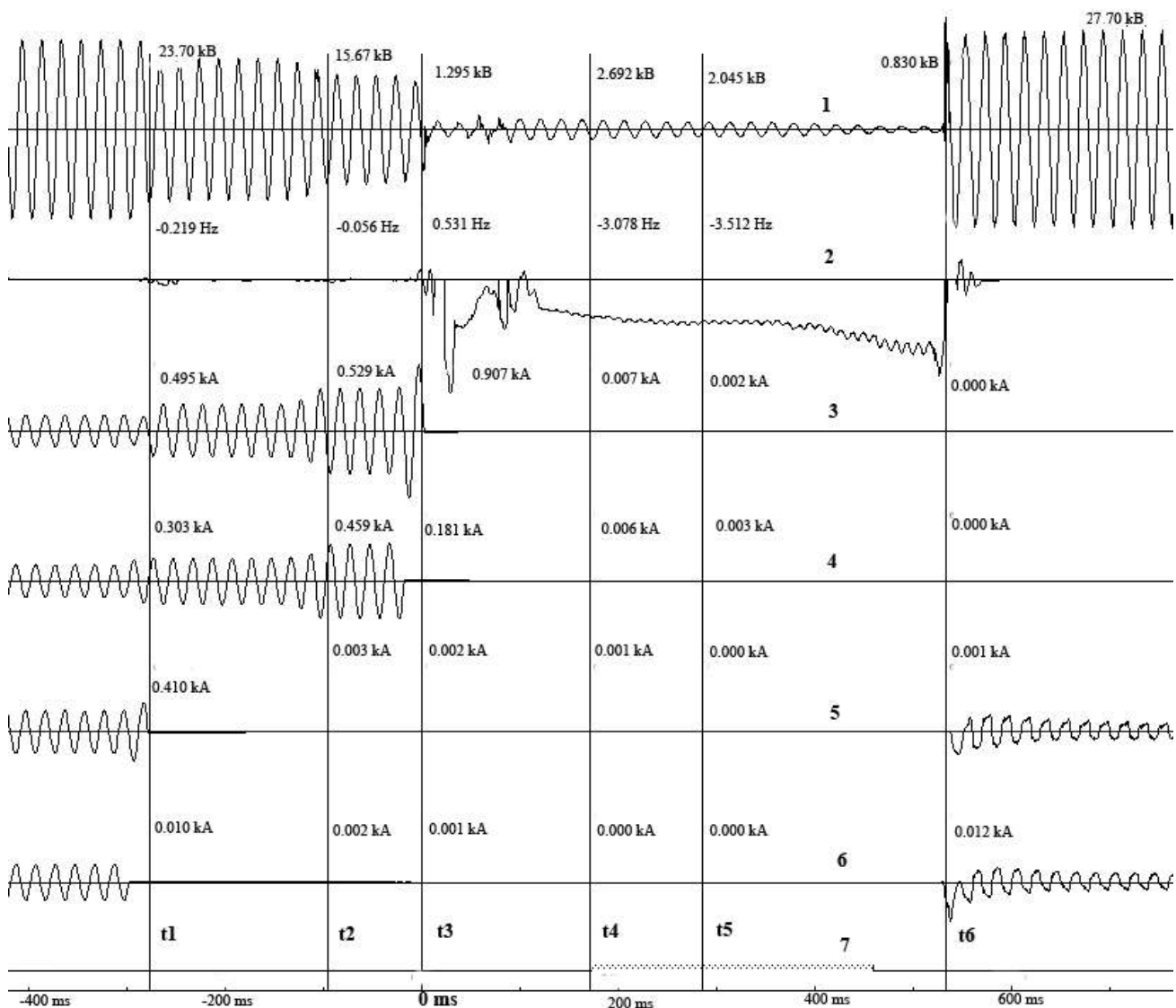


Рис. 3. Оциллограмма остаточного напряжения

До момента t_1 уже сработала защита фидера 4 (кривая 3 – контактная сеть, а кривая 4 – питающий провод) и фидера 5 (кривая 5 – контактный провод, а кривая 6 – питающий провод). В t_1 отключился фидер 5, а в момент t_3 отключился фидер 4. Начиная от t_3 (отметка времени «0ms») действует остаточное напряжение ОН. Кривая 1 показывает изменение остаточного напряжения ОН за время $t_3 - t_6$, а кривая 2 – его частотную характеристику (отклонение частоты от 50 Гц). Например, в t_5 отклонение частоты ОН составит 3,512 Гц, то-есть частота ОН равна $50 - 3,512 = 46,988$ Гц, а напряжение ОН равно 2,045 кВ.

УККЗ настроено на срабатывание при частоте остаточного напряжения 48,5 Гц и ниже.

После переходного процесса частота ОН изменяется примерно от $(50-3 = 47)$ Гц до $(50-5 = 45)$ Гц. В результате в момент t_4 замкнулись выходные контакты УККЗ (кривая 7) и после задержки на время готовности привода выключателя (в 0,3 с), отключившего ток КЗ, в момент t_6 включился фидер 5. Как видно, после t_6 ЭПС продолжает работать в тяговом режиме (см. тяговую нагрузку по кривым 5 и 6). Перерыв питания контактной сети составил 0,528 с.

Осциллограмма доказывает практическую возможность подачи напряжения в контактную сеть по БАПВ за время не более 0,6 с и при этом ЭПС продолжает работать в тяговом режиме. Пост секционирования за такой кратковременный провал напряжения не успевает отключиться.

Зафиксированные подобные осциллограммы (более 300) переходных процессов в различных режимах электроснабжения свидетельствуют о надежности показателя «остаточное напряжение» для формирования команды управления БАПВ

Практика применения БАПВ на Горьковской ЖД позволила дать следующие рекомендации по настройке аппаратуры УККЗ.

Минимальное время БАПВ ограничивается временем готовности привода выключателя фидера контактной сети (для вакуумного выключателя - 0,2...0,3 с) и временем деионизации дуги в месте КЗ. Для тяговых сетей время деионизации затягивается в связи с наличием остаточного напряжения, генерируемого фазорасщепителями ЭПС, и наведенным напряжением. Эксплуатация УККЗ показывает, что за время провала напряжения в 0,5...0,6 с происходит полная деионизация дуги в месте КЗ.

Поэтому настройка УККЗ выполняется следующим образом. После отключения фидера дается пауза в 3 периода (0,06 с) для отстройки от переходных процессов, затем идет ожидание частоты 48,5 Гц и ниже, далее 4 периода подряд (0,08 с) проверяется наличие частоты 48,5 и ниже и только после этого дается разрешение с дополнительной задержкой в 0,3 с на включение фидера контактной сети. Так происходит подача напряжения по БАПВ при проходящих КЗ за 0,5...0,6 с.

Подобное устройство обладает одним недостатком – при отсутствии на участке подвижного состава ЭПС или наличии ЭПС без фазорасщепителей (например, электровазы ЧС-7, ЭП1 или поезд «Сапсан») УККЗ может сработать ложно.

В модернизированном варианте комбинированного устройства УККЗ-2 введен второй блок измерения напряжения с ТН-27,5 кВ. Если остаточное напряжение равно нулю, то он продолжает измерение через 1 с, когда в контактной сети будет наведенное напряжение *электрического влияния* от ДПР-27,5 кВ и (или) контактной сети смежного пути. При наличии наведенного напряжения дается команда на АПВ, а при отсутствии – запрет АПВ.

Отметим, что, если УККЗ дает команду на быстросрабатывающее БАПВ, то при контроле наведенного напряжения дается команда на штатное АПВ.

Аппаратура УККЗ-2 может работать на двухпутных участках систем 25 и 2х25 кВ, а также на однопутном участке при наличии ДПР-27,5 кВ.

Подводя итог, укажем, что так как в настоящее время УККЗ, как правило, установлены на одном фидере для контроля всей межподстанционной зоны, то вероятность отсутствия ЭПС с фазорасщепителем на двухпутном участке в 50 (система 25 кВ) или 80 км (система 2х25 кВ) очень мала. Поэтому работа УККЗ ещё многие годы будет эффективной.

Тем не менее следует постепенно переходить на комбинированные УПКЗ-2, где будет осуществляться контроль остаточного и наведенного напряжения для определения наличия КЗ в отключенной контактной сети.

Отметим ещё важный момент по работе ЭПС в рекуперативном режиме, оборудованных микропроцессорной системой управления. Опыты показывают, что при кратковременном снятии напряжения в контактной сети (до 0,2 с) у них исчезает напряжение синхронизации системы управления выпрямительно-инверторными преобразователями электровозов, в результате происходит разборка схемы электровозов и отключение ГВ. Это значит, что в этом случае БАПВ фидеров контактной сети с временем 0,5 с не будет выполнять свою задачу. Однако специалисты Красноярской ЖД утверждают, что возможно доработать аппаратную и программную часть блоков управления электровозов для реализации успешных БАПВ с задержкой в 0,5 с и для ЭПС, работающих в рекуперативном режиме.

3. Устройство поиска короткого замыкания в тяговой сети на основе измерения наведенного напряжения (УПКЗ)

При устойчивых коротких замыканиях (КЗ) в контактной сети переменного тока поиск повреждения в настоящее время ведут поочередным отключением продольных разъединителей и последующим опробованием контактной сети включением фидерного выключателя. Например, при КЗ на контактной сети I пути между разъединителями Р2 и Р3 (рис.4) от защит отключается выключатель В1, затем отключают Р1 с последующим включением и отключением В1, далее включают Р1 и отключают Р2, и, наконец, включают Р2 и отключают Р3. Так определяют зону КЗ между разъединителями Р2 и Р3. При этих переключениях каждый раз включается и отключается выключатель В1.

При этом в процессе поиска увеличивается объем повреждений контактной сети, так как выключатель В1 периодически включается на КЗ, увеличивается износ выключателя В1, повышается вероятность пережога контактной сети и увеличивается износ силового трансформатора тяговой подстанции в связи с увеличением числа электродинамических воздействий.

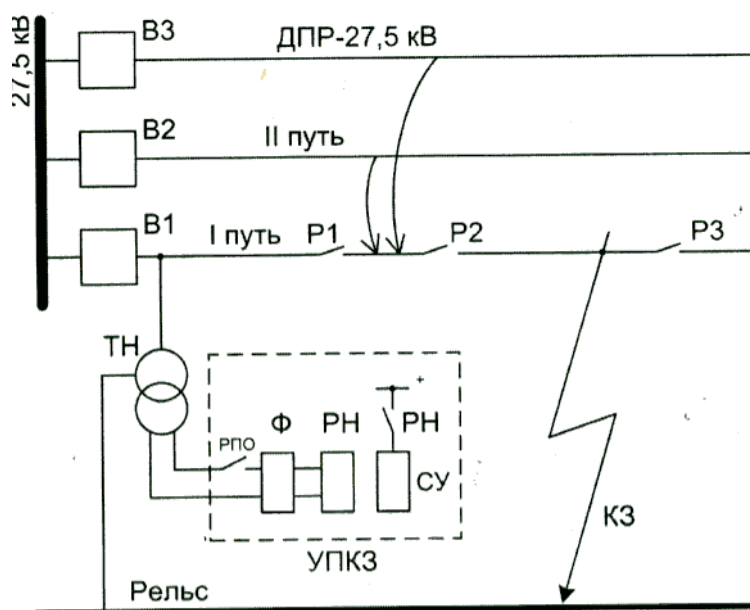


Рис. 4. Устройство поиска короткого замыкания

Для предотвращения разрастания объема повреждений в аварийных ситуациях, снижения износа силового оборудования и, главное, для существенного уменьшения вре-

мени поиска повреждения (время поиска снижается в 5 ...10 раз) на дороге введена в опытную эксплуатацию аппаратура УПКЗ по эффективному способу поиска повреждений (коротких замыканий) контактной сети переменного тока систем электроснабжения 25 и 2х25 кВ.

Рассматриваемый способ и реализованное устройство УПКЗ основаны на наличии наведенного напряжения на отключенном участке контактной сети от соседнего пути и (или) от линии продольного электроснабжения ДПП-27,5кВ. При КЗ наведенное напряжение от *электрического влияния* равно нулю, а при отсутствии КЗ это напряжение, измеренное с помощью трансформатора напряжения ТН (ЗНОМ-27,5кВ), равно 2, 3.....7,1 (замеры произведены на участках контактной сети системы 25 и 2х25 кВ). Таким образом, по величине наведенного напряжения можно определить, сохранилось или исчезло (самоликвидировалось) КЗ в сети. При этом важно отметить, что на первом этапе нет необходимости требовать опускания токоприемников, так как холостой ход трансформатора ЭПС практически не влияет на результаты измерений. Однако при нулевом значении наведенного напряжения следует дожидаться опускания токоприемников ЭПС (в соответствии с нормативными документами токоприемники должны быть опущены в течение 2 мин), так как в этом случае может быть подозрение на повреждение крышевого оборудования ЭПС.

Информация с УПКЗ передается на пульт энергодиспетчера, и по показаниям УПКЗ энергодиспетчер переключает соответствующие разъединители, *не прибегая к включению аварийно отключенного выключателя фидера контактной сети*. Этим достигается существенная экономия времени поиска и ликвидации повреждения. Результат – быстрое восстановление движения поездов после повреждения контактной сети.

Структурная схема УПКЗ показана на рис. 4, оно подключено к трансформатору напряжения и содержит низкочастотный фильтр Ф для фильтрации высших гармоник в наведенном напряжении и реле напряжения РН, замыкающий контакт которого запускает сигнальное устройство СУ (в простейшем варианте – это сигнальная лампа).

УПКЗ запускается только при отключенном выключателе В1. Для этого фильтр Ф включается к ТН через замыкающий контакт РПО реле-повторителя отключенного положения выключателя В1.

УПКЗ достаточно установить один комплект на запасной выключатель и при КЗ автоматически по команде энергодиспетчера переключать на тот фидер, где произошло повреждение.

Современные посты секционирования оборудованы трансформаторами напряжения, включенными на выключателях фидеров со стороны контактной сети. Поэтому и здесь возможно включение УПКЗ на каждый фидер контактной сети поста секционирования. При включении УПКЗ на фидерах контактной сети подстанции и поста секционирования быстрота определения повреждения возрастает.

Наведенное напряжение от ДПП определяется в основном электрическим влиянием, так как нагрузки в линии малы и поэтому кривая наведенного напряжения близка к синусоиде.

Наведенное напряжение от контактной сети второго пути определяется электрическим влиянием, а также магнитным влиянием, если по второму пути протекает тяговая нагрузка.

Если наведенное напряжение на контактной сети 1-го пути определяется только электрическим влиянием (при отсутствии тяговой нагрузки на 2-м пути), то при отсутствии КЗ напряжение, измеренное трансформатором напряжения, будет более 2 кВ, работает реле РН и даст команду на сигнальное устройство СУ об отсутствии КЗ.

Сигнальное устройство также работает и при наличии тяговой нагрузки и отсутствии КЗ. Например, при измерениях нагрузка на втором пути была 154А, напряжение на ТН-27,5 кВ - 7,136 кВ, коэффициент искажения синусоидальной формы кривой указанного

напряжения составлял 0,69%. Уставка на реле РН-1000В обеспечивает его надежную работу (при приведении к напряжению контактной сети). Здесь важно отметить, что при отключении контактной сети 2-го пути наведенное напряжение от ДПР составляло 2,13 кВ.

Если же произойдет КЗ на 1-м пути, то напряжение в контактной сети будет около нуля (при отсутствии тяговой нагрузки на 2-м пути) и сигнальное устройство СУ не работает, что укажет на наличие КЗ в контактной сети.

В этой же ситуации при наличии тяговой нагрузки и КЗ в контактной сети наведенное напряжение в контактной сети будет присутствовать за счет магнитного влияния, и тогда может ложно сработать СУ.

Исключить ложную работу устройства УПКЗ можно, используя факт сильного искажения кривой наведенного напряжения от магнитного влияния контактной сети из-за значительного содержания в кривой нечетных гармоник напряжения 3, 5, 7 и т.д. И это понятно, так как с увеличением порядка гармоник увеличивается во столько же раз действующее значение ЭДС от индуктируемого переменного магнитного поля.

Вот почему в простейшем случае необходимо включение низкочастотного фильтра Ф, который предотвратит срабатывания реле РН при КЗ в контактной сети.

В УПКЗ добавлено разработанное микропроцессорное устройство контроля спектрального состава и действующего значения измеряемого напряжения с целью адаптации принятой уставки срабатывания реле РН к режиму работы конкретной межподстанционной зоны. В процессе работы УПКЗ происходит постоянный контроль работоспособности схемы, каждое срабатывание УПКЗ при КЗ в контактной сети фиксируется в памяти микроконтроллера. Информация считывается с помощью ноутбука, подключаемого к УПКЗ через СОМ.

Что касается работы УПКЗ в системе 2х25кВ, то, как показывают специально проведенные измерения, эффективность работы УПКЗ в этой системе повышается.

Целесообразно включать УПКЗ на фидерах контактной сети и тяговых подстанций и постов секционирования, в этом случае определение зоны происходит с двух сторон, что повышает точность определения и снижает время поиска.

Устройство УПКЗ смонтировано и проведена экспериментальная проверка его работоспособности на тяговой подстанции Сейма скоростного участка Н.Новгород–Владимир с обращением поездов «Сапсан», то есть там, где требуется быстрое определение зоны повреждения контактной сети. Трансформатор напряжения ТН-27,5 кВ установлен на запасной шине с тем, чтобы была возможность подключения его на любой фидер контактной сети.

Проводимая опытная эксплуатация позволит уточнить характеристики устройства, а также методы и параметры настройки. В частности, уже ясно, что необходимо совмещение функций УККЗ и УПКЗ в одном устройстве.

Рассматриваемые разработки, внедренные на Горьковской ЖД, должны быть введены в нормативные документы и типовые проекты по автоматизации электроснабжения тяговых сетей. В настоящее время необходима разработка проектной документации и серийное изготовление устройств контроля коротких замыканий (УККЗ) и устройств поиска короткого замыкания (УПКЗ).

Библиографический список

1. Пат. №2365929 РФ. Устройство контроля короткого замыкания в контактной сети / Герман Л.А., Герман В.Л. Приоритет от 24 марта 2008 г.
2. Пат. № 2316719 РФ. Устройство контроля короткого замыкания в контактной сети переменного тока / Герман Л.А., Герман В.Л., Марков А.Ю. Приоритет от 12 декабря 2005 г.
3. **Герман, Л.А.** Диагностика аварийных ситуаций контактной сети переменного тока железных дорог / Л.А. Герман, В.Л. Герман // ЭЭТ. 2008. №3. С. 41–47.

4. **Герман, Л.А.** Уменьшить провал напряжения в контактной сети. Локомотив. 2008. № 8. С. 45–47.
5. Простой способ поиска повреждения на контактной сети переменного тока / Л.А. Герман [и др.] // Локомотив. 2008. № 4. С. 45–46.

*Дата поступления
в редакцию 01.06.2010*

L.A. German

**AUTOMATION OF ELECTRIC SUPPLY IN EMERGENCY OF RAILWAYS
CONTACT NETWORKS**

The devices of control and searching of short circuits in contact networks of alternative current in railway are considered.

Key words: automation, short circuits, control and searching, contact network, railways.

УДК 621.313

С.Е. Степанов

ВЫЧИСЛИТЕЛЬ УГЛА НАГРУЗКИ ДЛЯ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ОАО «Гипрогазцентр»

В статье рассмотрен вариант построения системы регулирования возбуждения синхронного двигателя в функции угла нагрузки. Приведена структурная схема, математическое описание и результаты моделирования.

Ключевые слова: синхронный двигатель, автоматическое регулирование, угол нагрузки.

Наиболее приемлемым вариантом решения этой задачи является использование методов косвенного определения угла δ с помощью идентификатора, с малой динамической погрешностью вычисляющего угол нагрузки.

При построении системы автоматического регулирования возбуждения синхронных двигателей в ряде случаев возникает задача измерения угла нагрузки (δ).

Информация о мгновенном значении угла нагрузки позволяет прогнозировать момент выпадения СД из синхронизма и своевременно форсировать возбуждение, тем самым предотвращая асинхронный ход двигателя. Демпфирование колебаний ротора осуществляется посредством форсировок возбуждения в соответствии со значением скорости изменения угла δ .

Таким образом, идентификатор угла δ должен вычислять значение угла нагрузки по легко измеряемым координатам СД (току I_f и напряжению U_f цепи возбуждения, активному и реактивному токам и напряжению статора).

Поскольку начальное значение потокосцепления обмотки возбуждения $\Psi_f(0)$ известно из уравнений, соответствующих установившемуся режиму работы СД, то потокосцепление Ψ_f в переходном режиме определяется по напряжению возбуждения U_f и току возбуждения I_f согласно уравнению (1):

$$\psi_f = \int_0^t (u_f - r_f i_f) d\tau + \psi_f(0). \quad (1)$$

Потокосцепление обмотки возбуждения и потокосцепление статора Ψ_{sd} по продольной оси связаны с токами в контурах машины следующими уравнениями:

$$\psi_{sd} = L_d i_{sd} + L_{ad} i_f + L_{ad} i_{od}; \quad (2)$$

$$\psi_f = L_{ad} i_{sd} + L_f i_f + L_{ad} i_{od}. \quad (3)$$

Из уравнений (2) и (3) для потокосцепления обмотки возбуждения имеем:

$$\psi_f = \frac{L_{ad} L_f}{L_f - L_{ad}} i_{sd} + L_{ad} i_{od}, \quad (4)$$

где Ψ_{md} – потокосцепление в воздушном зазоре по продольной оси; $L_{\sigma s}$ и $L_{\sigma f}$ – индуктивности рассеяния статора и обмотки возбуждения.

Продольный ток статора i_{sd} , входящий в уравнение (4), может быть определен лишь

при известных значениях угла нагрузки δ , активного и реактивного тока статора. Если ток i_{sx} соответствует реактивному току статора и ориентирован вдоль вектора потокосцепления статора $\Psi_s = (\Psi_{sd} + j\Psi_{sq})$, а ток i_{sy} соответствует активному току статора и совпадает с вектором напряжения статора $U_s = (U_{sd} + jU_{sq})$, то угол нагрузки δ является углом сдвига между координатными осями dq и xy :

$$\mathbf{i}_s^{xy} = i_{sx} + j i_{sy} = (i_{sd} + j i_{sq}) \cdot \mathbf{e}^{-j\delta}; \quad (5)$$

$$i_{sx} = \operatorname{Re} \mathbf{i}_s^{xy} = \operatorname{Re} \mathbf{i}_s^{dq} \cdot \mathbf{e}^{-j\delta} = i_{sd} \cos \delta + i_{sq} \sin \delta; \quad (6)$$

$$i_{sy} = \operatorname{Im} \mathbf{i}_s^{xy} = \operatorname{Im} \mathbf{i}_s^{dq} \cdot \mathbf{e}^{-j\delta} = i_{sq} \cos \delta - i_{sd} \sin \delta. \quad (7)$$

Продольный ток статора выражается из формул (1.5) – (1.7)

$$i_{sd} = i_{sx} \cos \delta - i_{sy} \sin \delta. \quad (8)$$

Величина потокосцепления Ψ_{sd} из уравнения (4) зависит от напряжения статора U_s и угла нагрузки δ , поскольку проекция вектора потокосцепления статора на ось d определяется следующим выражением

$$\psi_{sd} = \psi_s \cos \delta = \omega_s^{-1} u_s \cos \delta. \quad (9)$$

В результате подстановки (8) и (9) в уравнение (4) потокосцепление обмотки возбуждения выражается уравнением:

$$\psi_f = \omega_s^{-1} u_s \cos \delta - L_\sigma (i_{sx} \cos \delta - i_{sy} \sin \delta) + L_{\sigma f} i_f. \quad (10)$$

Введем обозначения:

$$k_1 = \omega_s^{-1} u_s - L_\sigma i_{sx}; \quad k_2 = L_\sigma i_{sy}; \quad k_3 = \psi_f - L_{\sigma f} i_f. \quad (11)$$

Тогда уравнение (10) преобразуется к виду

$$k_1 \cos \delta + k_2 \sin \delta - k_3 = 0. \quad (12)$$

Уравнение (12) имеет несколько решений для угла δ :

$$\delta = \pm \arccos \frac{k_3}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}} + 2m\pi + \theta; \quad (13)$$

$$\theta = \operatorname{arctg} (k_2 k_1^{-1}) + n\pi,$$

где, исходя из физических соображений, верным является следующее:

$$\delta = - \arccos \frac{k_3}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}} + \xi \quad \text{или} \quad (14)$$

$$\delta = - \arccos \frac{\psi_f - L_{\sigma f} i_f}{\sqrt{(\omega_s^{-1} u_s - L_\sigma i_{sx})^2 + (L_\sigma i_{sy})^2}} + \xi;$$

$$\text{здесь } \zeta = \operatorname{arctg} \frac{k_2}{k_1} = \operatorname{arctg} \frac{L_\sigma i_{sy}}{\omega_s^{-1} u_s - L_\sigma i_{sx}}.$$

Для вычисления угла нагрузки по формулам (14) напряжение статора U_s и ток возбуждения i_f измеряются непосредственно, а потокосцепление Ψ_f вычисляется по формуле (1). Активный i_{sy} и реактивный i_{sx} токи статора вычисляются через фазные токи и напряжения статора в физических координатах.

Составляющие напряжения $u_{s\alpha}$, $u_{s\beta}$ и тока $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$ статора СД в неподвижной двухфазной системе координат вычисляются по формулам:

$$u_{s\alpha} = \frac{2}{3} u_a - \frac{1}{3} (u_b + u_c); \quad (15)$$

$$u_{s\beta} = \frac{1}{\sqrt{3}} (u_b - u_c);$$

$$i_{s\alpha} = \frac{2}{3} i_a - \frac{1}{3} (i_b + i_c);$$

$$i_{s\beta} = \frac{1}{\sqrt{3}} (i_b - i_c).$$

Составляющие тока статора во вращающейся двухфазной системе координат i_{sx} , i_{sy} определяются выражениями:

$$i_{sx} = i_{s\alpha} \cos \gamma + i_{s\beta} \sin \gamma;$$

$$i_{sy} = i_{s\beta} \cos \gamma - i_{s\alpha} \sin \gamma, \quad (16)$$

где

$$\gamma = \arccos \frac{u_{s\alpha}}{\sqrt{u_{s\alpha}^2 + u_{s\beta}^2}} - \frac{\pi}{2} \quad - \text{ фаза потокосцепления статора.} \quad (17)$$

Соотношения, связывающие между собой обобщенные вектора тока статора i_s , потокосцепления Ψ_s статора и угол нагрузки δ_0 в статическом режиме имеют вид:

$$|\psi_s| \cdot \sin \delta_0 = L_q |i_s| \cdot \sin (\delta_0 + \chi); \quad (18)$$

$$|\psi_s| \cdot \sin \delta_0 = L_q |i_s| \cdot (\sin \delta_0 \cdot \cos \chi + \cos \delta_0 \cdot \sin \chi); \quad (19)$$

$$(|\psi_s| - L_q |i_s| \cdot \cos \chi) \cdot \sin \delta_0 = L_q |i_s| \cdot \sin \chi \cdot \cos \delta_0. \quad (20)$$

Из выражения (20) определяется угол нагрузки δ_0 в статическом режиме:

$$\operatorname{tg} \delta_0 = \frac{L_q |i_s| \cdot \sin \chi}{|\psi_s| - L_q |i_s| \cdot \cos \chi}. \quad (21)$$

Выражения для скалярного и векторного произведений обобщенных векторов i_s и Ψ_s имеют вид

$$\psi_s \cdot i_s = |\psi_s| \cdot |i_s| \cdot \cos \chi = \psi_{s\alpha} i_{s\alpha} + \psi_{s\beta} i_{s\beta}; \quad (22)$$

$$\psi_s \times i_s = |\psi_s| \cdot |i_s| \cdot \sin \chi = \psi_{s\alpha} i_{s\beta} - \psi_{s\beta} i_{s\alpha}, \quad (23)$$

где $\Psi_{s\alpha}, \Psi_{s\beta}, i_{s\alpha}, i_{s\beta}$ – проекции векторов тока и потокосцепления статора на оси неподвижной двухфазной системы координат.

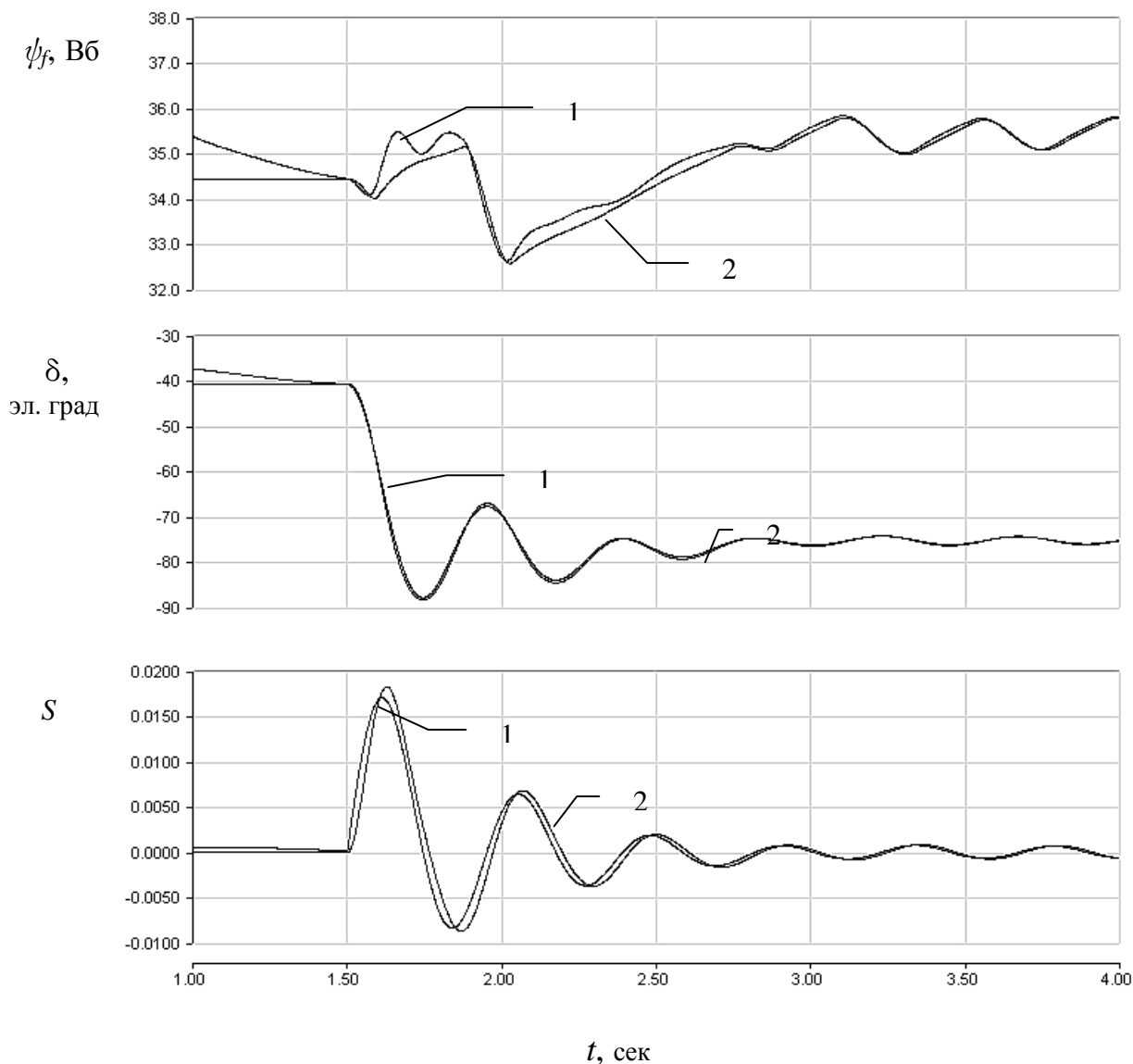


Рис. 1. Идентификация угла нагрузки и скольжения ротора при набросе нагрузки от 0.5 $M_{ном}$ до 2.0 $M_{ном}$:
 1 – теоретические изменения значений величин;
 2 – значения величин, вычисляемые косвенно

В результате подстановки (22) и (23) в (21) получается

$$\delta_0 = \arctg \frac{L_q \cdot (\psi_s \times i_s)}{|\psi_s|^2 - L_q \cdot (\psi_s \cdot i_s)}. \quad (24)$$

Согласно (16) – (18) формула (24) преобразуется к следующему виду:

$$\delta_0 = \arctg \frac{L_q \cdot \operatorname{Re}\{u_s i_s^*\}}{\omega_s^{-1} |u_s|^2 - L_q \cdot \operatorname{Im}\{u_s i_s^*\}}. \quad (25)$$

Подставляя δ_0 , определяемое по (25), в уравнение (10), получаем выражение для потокосцепления в начальный момент времени $\Psi_f(0)$:

$$\psi_f(0) = \omega_s^{-1} u_s \cos \delta_0 - L_\sigma (i_{sx} \cos \delta_0 - i_{sy} \sin \delta_0) + L_\sigma i_f. \quad (26)$$

Таким образом, для косвенного измерения угла нагрузки по формулам (14) используются сигналы датчика тока возбуждения (ДТВ), датчика напряжения возбуждения (ДНВ), датчика тока (ДТС) и напряжения (ДНС) статора.

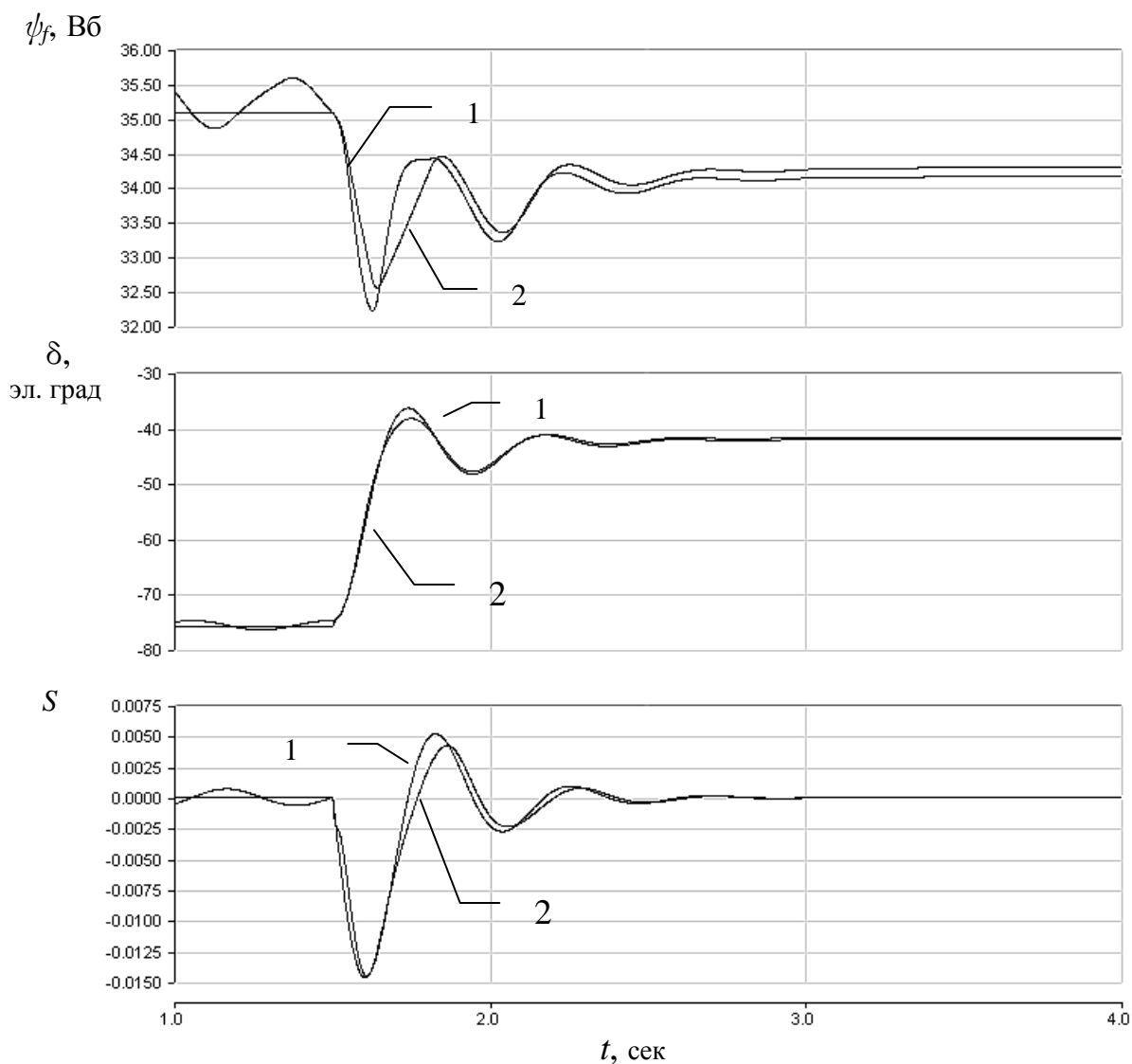


Рис. 2. Идентификация угла нагрузки и скольжения ротора

при сбросе нагрузки от $2.0 M_{\text{ном}}$ до $0.5 M_{\text{ном}}$:

1 – теоретические изменения значений величин;

2 – значения величин, вычисляемые косвенно

Для проверки работоспособности идентификатора угла нагрузки, построенного по формулам (1), (14)–(26), в среде Simulink 4.0 была разработана соответствующая струк-

турная схема СД с идентификатором угла нагрузки и его производной, которая представлена на рис. 3.

В результате моделирования работы идентификатора при сбросе и набросе нагрузки СД получены графики вычисляемых по формулам (1), (14)–(26) потокосцепления обмотки возбуждения Ψ_f и угла нагрузки δ СД (рис. 3, 4). Также представлены графики изменения скольжения ротора S (производной угла нагрузки). При моделировании было введено допущение, что параметры схемы замещения СД известны точно и являются неизменными, а помеха на входе интегратора отсутствует.

Представленные графики свидетельствуют о высокой точности косвенного измерения угла нагрузки по токам и напряжениям в статорных контурах СД и в его обмотке возбуждения.

Система регулирования с идентификатором угла нагрузки представлена на структурной схеме (рис. 3). Регулятор тока возбуждения компенсирует постоянную времени обмотки возбуждения и обеспечивает требуемое быстродействие в контуре регулирования тока возбуждения. Регулятор реактивного тока (реактивной мощности) необходим для обеспечения экономичного режима работы двигателя. В тех случаях, когда узел нагрузки не испытывает дефицита реактивной мощности, оптимальным является режим работы СД, с $\cos \varphi$ близким к 0,9, обеспечивающий минимум электрических потерь и благоприятный тепловой режим двигателя. Регулятор напряжения обеспечивает стабилизацию напряжения в узле нагрузки путем изменения величины реактивной мощности, потребляемой или генерируемой двигателем в сеть.

Структурная схема системы регулирования с идентификатором угла нагрузки представлена на рис. 3.

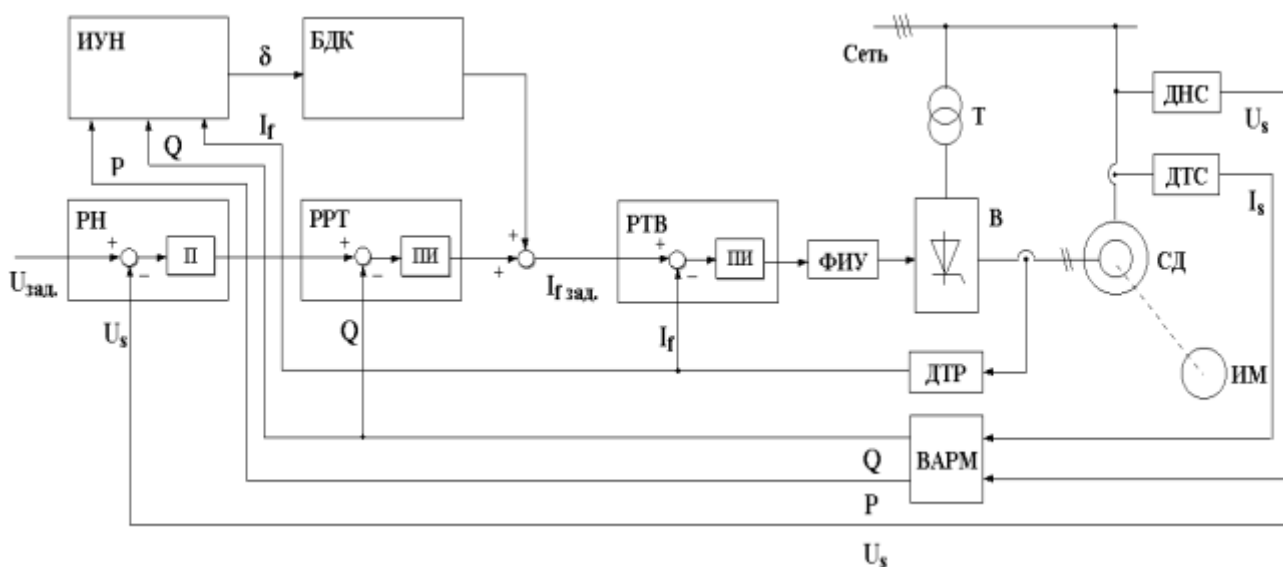


Рис. 3. Структурная схема системы регулирования возбуждения СД с идентификатором угла нагрузки

Блок демпфирования колебаний ротора СД предназначен для ограничения амплитуды колебаний ротора, снижения колебаний активной и реактивной мощности СД. Тем самым повышается устойчивость и надежность работы двигателя при ударном приложении нагрузки.

Регулирование тока возбуждения в целях демпфирования качаний ротора осуществляется по углу нагрузки δ и его производной, которые являются параметрами, непосредственно определяющими устойчивость работы двигателя. Угол нагрузки δ и его производная вычисляются идентификатором угла нагрузки.

Библиографический список

1. **Важнов, А.И.** Переходные процессы в машинах переменного тока / А.И. Важнов. – Л.: Энергия, 1980.
2. **Трещев, И.И.** Методы исследования машин переменного тока / И.И. Трещев. – Л.: Энергия, 1969.
3. **Петелин, Д.П.** Автоматическое управление синхронными электро-приводами / Д.П. Петелин. – М.: Энергия, 1968.
4. **Вейнгер, А.М.** Регулируемый синхронный электропривод / А.М. Вейнгер. – М. Энергоатомиздат, 1985.
5. **Слодарж, М.И.** Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных электродвигателей / М.И. Слодарж. – М.: Энергия, 1977.
6. **Лютер, Р.А.** Расчет синхронных машин / Р.А. Лютер. – Л.: Энергия, 1979.

*Дата поступления
в редакцию 02.07.2010*

S.E. Stepanov

THE CALCULATOR OF A CORNER OF LOADING OF SYNCHRONOUS ENGINES

In article the variant of construction of system of regulation of excitation of the synchronous engine as a loading corner is considered. The block diagramme, the mathematical description and results of modelling is resulted.

Key words: The synchronous engine, automatic control, loading corner.

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 669.18.046

В.В. Стулов, А.М. Севастьянов

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ОТЛИВОК В ФУТЕРОВАННОЙ ФОРМЕ

Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН, г. Комсомольск-на-Амуре

Выполнена разливка алюминия в футерованную неохлаждаемую форму с установленной по центру неохлаждаемой и охлаждаемой тепловой трубой. Установлено, что время охлаждения полый отливки сокращается более чем в три раза при наличии охлаждаемой трубы. Таким образом, увеличивается более чем в два раза скорость кристаллизации металла.

Ключевые слова: футерованная форма, тепловая труба, алюминий, охлаждение, вода.

В процессе получения полых отливок в футерованных формах и кокилях [1,2], а также в установке литейно-ковочного модуля (ЛКМ) [3] актуальной задачей является уменьшение времени формирования отливки, в первую очередь в результате уменьшения разгара центрального стержня, а также увеличение срока службы форм и стержня. Кроме этого, разработка новых способов охлаждения металла при высоких температурах рабочей среды и высокой эффективности охлаждения является актуальной.

В настоящей работе поставлена цель - выполнить разливку алюминия в футерованную неохлаждаемую форму с установленной по центру высокоэффективно охлаждаемой тепловой трубой и с неохлаждаемой трубой и исследовать влияние отвода тепла от центра отливки на интенсивность затвердевания алюминия, а также на получение мелкозернистой структуры.

Применение разливки алюминия в футерованную неохлаждаемую форму с охлаждаемой трубой исключает недостатки, присущие разливке металла в стальной кокиль с водяным охлаждением [2, 4]: трудности обеспечения начальной температуры формы выше 150°C , разогрев кокиля перед первой разливкой, возможности попадания воды из системы охлаждения стальных стенок кокиля в металл.

Исходные данные

Параметры футерованной формы, мм: высота $H = 400$, диаметр наружный $d_T = 230$, толщина металлической стенки $\delta = 10$, толщина футеровки $\delta_{\Phi} = 20$. Масса стальной стенки формы $m_C = 22,6$ кг, масса футеровки $m_{\Phi} = 4,7$ кг.

Параметры стальной охлаждаемой и неохлаждаемой труб, мм: наружный диаметр $d_C = 55$; длина $L = 1020$; толщина стенки $\delta = 3$ мм. Масса трубы $m_T = 4,1$ кг.

Параметры алюминиевой отливки, мм: максимальный наружный диаметр $d_0 = 165$, высота $H_0 = 300$, диаметр отверстия $d_{01} = 55$; объем отливки $V_0 = 4,23 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Масса отливки $m = 11,445$ кг; площадь поверхности контакта со стержнем $F_K = 5,18 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$.

Теплофизические параметры алюминия [5]: $\rho_1 = 2350 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\rho_2 = 2650 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$,
 $r = 0,395 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$, $t_K = 660^{\circ}\text{C}$, $C_1 = 1177 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$, $C_2 = 1000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$.

Обозначения: ρ_1, ρ_2 - плотность алюминия в твердом и жидком состоянии соответственно, C_1, C_2 - теплоемкость алюминия в твердом и жидком состоянии соответственно, r - удельная теплота кристаллизации, t_k - температура кристаллизации. Температура разливки алюминия - $t_1 = 730$ °С.

Теплофизические параметры футерованной формы [6]: $\rho_C = 7,8 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$,
 $\rho_\Phi = 1,5 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $C_C = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $C_\Phi = 800 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Обозначения: ρ_C, ρ_Φ - плотность стали и материала футеровки (песок); C_C, C_Φ - теплоемкость стали и материала футеровки.

Теплофизические параметры воды при средней температуре $\bar{t}_B = 50$ °С [6]:
 $\rho = 988 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $C_P = 4177 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Массовый расход воды на охлаждение тепловой трубы: $\dot{m}_B = 12,7 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{с}}$.

Методика измерений

В процессе охлаждения и кристаллизации залитого жидкого алюминия в футерованную форму с установленной по ее центру трубой производились измерения температуры охлаждения и затвердевания алюминия, температуры в зазоре между стальной формой и футеровкой, температуры снаружи металлической формы, температуры поверхности стальной неохлаждаемой трубы и температуры охлаждающей воды на выходе из конденсатора тепловой трубы. Глубина погружения термопар - 30 мм.

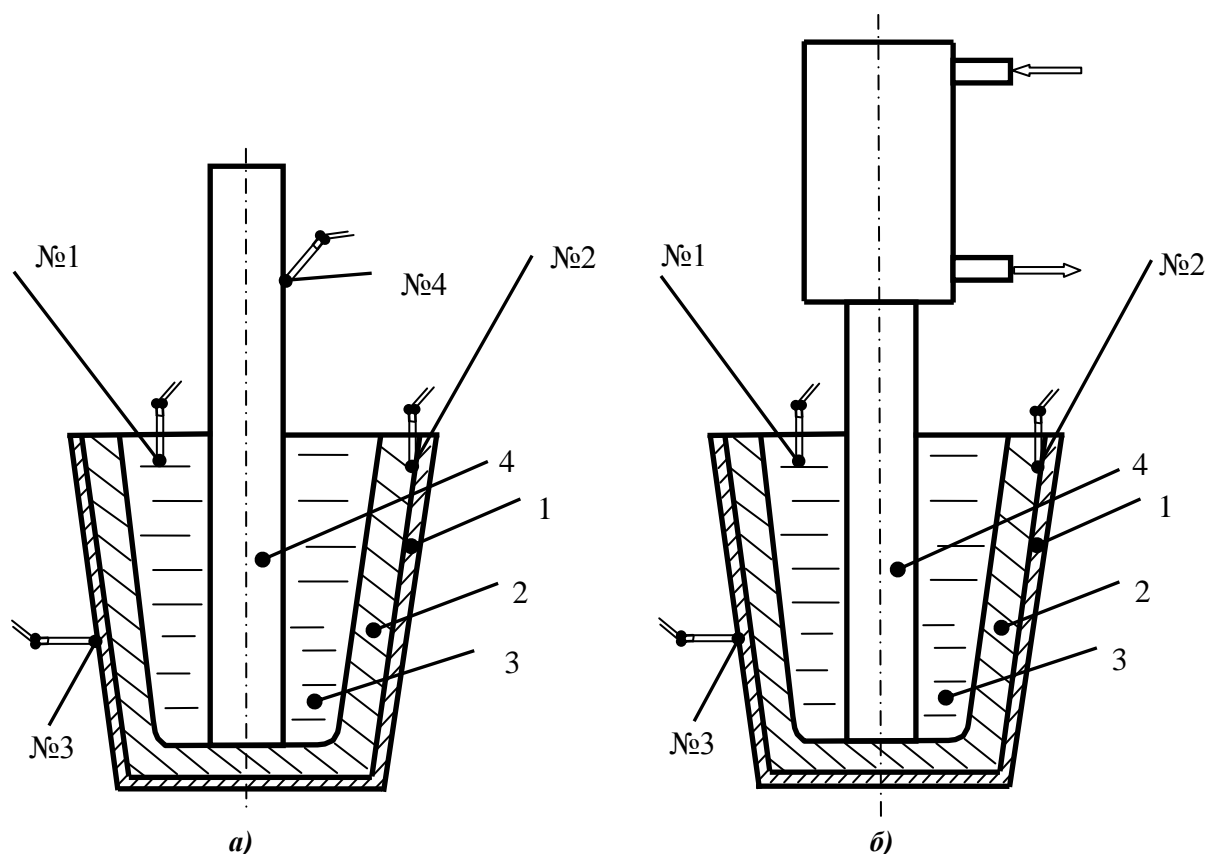


Рис. 1. Схема установки термопар в футерованной форме:
 а - с неохлаждаемой трубой; б - с охлаждаемой тепловой трубой;
 1 - стальная стенка; 2 - футеровка; 3 - алюминий; 4 - труба

Измерение температуры производилось ХК- и WR-термопарами, подключенными к автоматическому потенциометру КСП – 4 и милливольтметру. На рис. 1, а, б приведены схемы установки термопар в футерованной форме с неохлаждаемой трубой (рис. 1, а) и охлаждаемой водой тепловой трубой (рис. 1, б).

Результаты исследований

На рис. 2 приведены зависимости температуры алюминия, разлитого в футерованную форму со стальной неохлаждаемой (кривая 1) и охлаждаемой водой (кривая 2) тепловой трубой от времени. Из рис. 2 следует, что применение охлаждаемой тепловой трубы, по сравнению с неохлаждаемой трубой, уменьшает время охлаждения алюминия до 200°C со 135 (кривая 1) до 35 минут (кривая 2), т.е. в 3,9 раза. Наиболее крутой характер кривых 1 и 2 (рис. 1) наблюдается в интервале первых 20–35 минут охлаждения, что связано с наибольшей интенсивностью охлаждения алюминия. При этом максимальное значение tg угла наклона касательных к кривым 1 и 2 (рис. 2) равняется соответственно $\text{tg}\varphi_1^{\text{max}} = 1,19$ и $\text{tg}\varphi_2^{\text{max}} = 3,23$, а минимальные значения - $\text{tg}\varphi_1^{\text{min}} = 0,4$ и $\text{tg}\varphi_2^{\text{min}} = 1,036$.

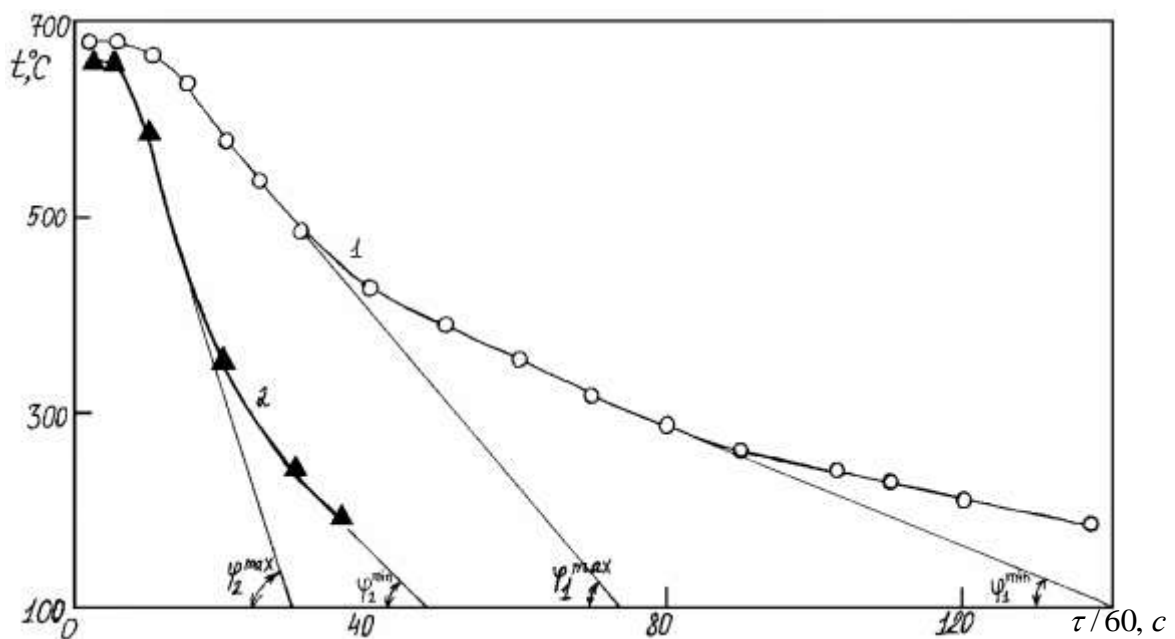


Рис. 2. Зависимости температуры алюминия, разлитого в футерованную форму со стальной трубой от времени:

1 – при неохлаждаемой трубе; 2 – с охлаждаемой водой тепловой трубой

В результате получаем соотношения: $\frac{\text{tg}\varphi_2^{\text{max}}}{\text{tg}\varphi_1^{\text{max}}} = 2,71$ и $\frac{\text{tg}\varphi_2^{\text{min}}}{\text{tg}\varphi_1^{\text{min}}} = 2,59$. То есть применение

охлаждаемой тепловой трубы, по сравнению с неохлаждаемой трубой, повышает интенсивность затвердевания алюминия в футерованной форме в 2,59 – 2,71 раза.

На рис. 3 приведены зависимости температур наружной поверхности стальной стенки футерованной формы от времени охлаждения в ней алюминия. Из рис. 3 видно, что с использованием неохлаждаемой стальной трубы максимальная температура наружной поверхности стальной стенки формы достигает 240°C (кривая 1), а с использованием охлаждаемой тепловой трубы – всего 155°C (кривая 2), то есть уменьшается на 85°C . Максимальная температура наружной поверхности стальной стенки формы достигается через время 20 мин с момента разлива алюминия.

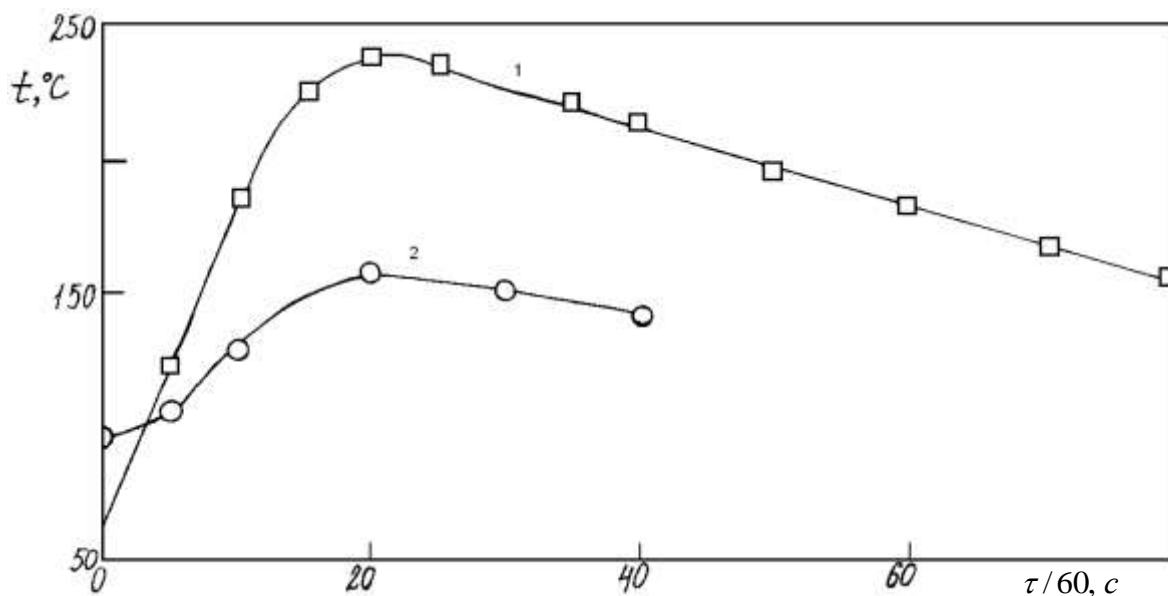


Рис. 3. Зависимости температур наружной поверхности стальной стенки футерованной формы с установленной в ней трубой от времени охлаждения алюминия:

- 1 – при использовании стальной неохлаждаемой трубы;
2 – при использовании охлаждаемой водой тепловой трубы

На рис. 4 приведена зависимость температуры поверхности стальной неохлаждаемой трубы за пределами футерованной формы от времени охлаждения алюминия. Из рис. 4 видно, что максимального значения температура поверхности стальной неохлаждаемой трубы достигает всего 135°C через время 25 мин с момента разливки алюминия в форму. При этом температура поверхности стальной трубы, находящейся вместе с алюминием в форме, через это время может достигать $450 - 500^{\circ}\text{C}$ (рис. 2), то есть перепад температур наружной поверхности по длине трубы достигает $315 - 365^{\circ}\text{C}$.

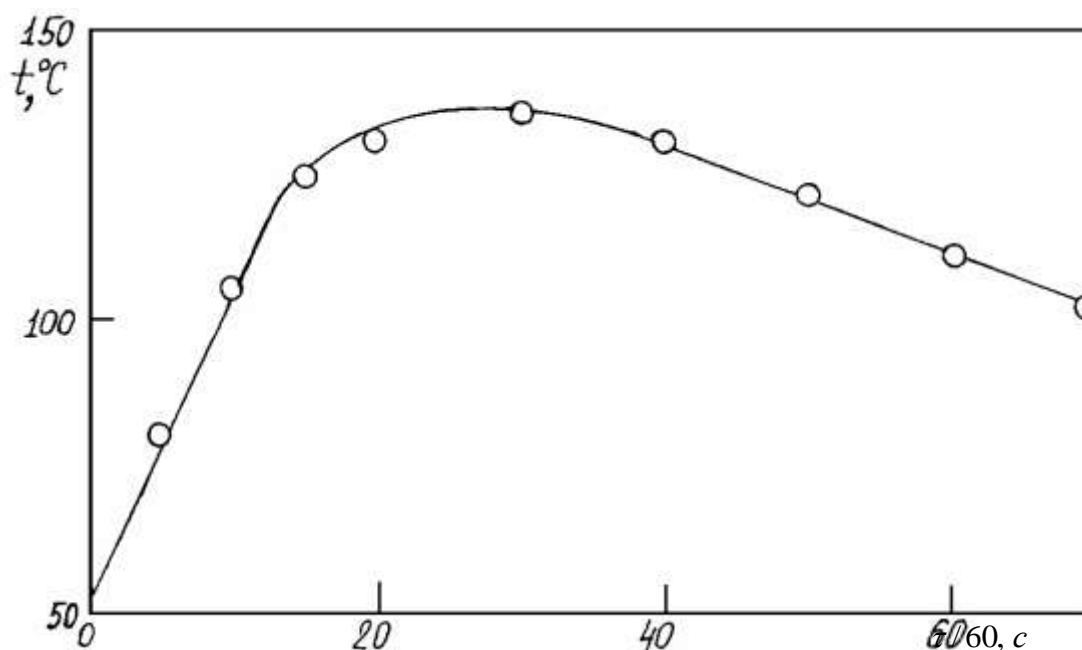


Рис. 4. Зависимость температуры поверхности стальной неохлаждаемой трубы, установленной в футерованной форме с охлаждаемым алюминием, от времени

На рис. 5 приведена зависимость температуры охлаждающей воды на выходе из конденсатора тепловой трубы от времени охлаждения алюминия в форме. Из рис. 5 видно, что максимальное значение температуры охлаждающей воды, равное 90°C на выходе из конденсатора тепловой трубы, наблюдается через 8 мин с момента разливки алюминия в футерованную форму.

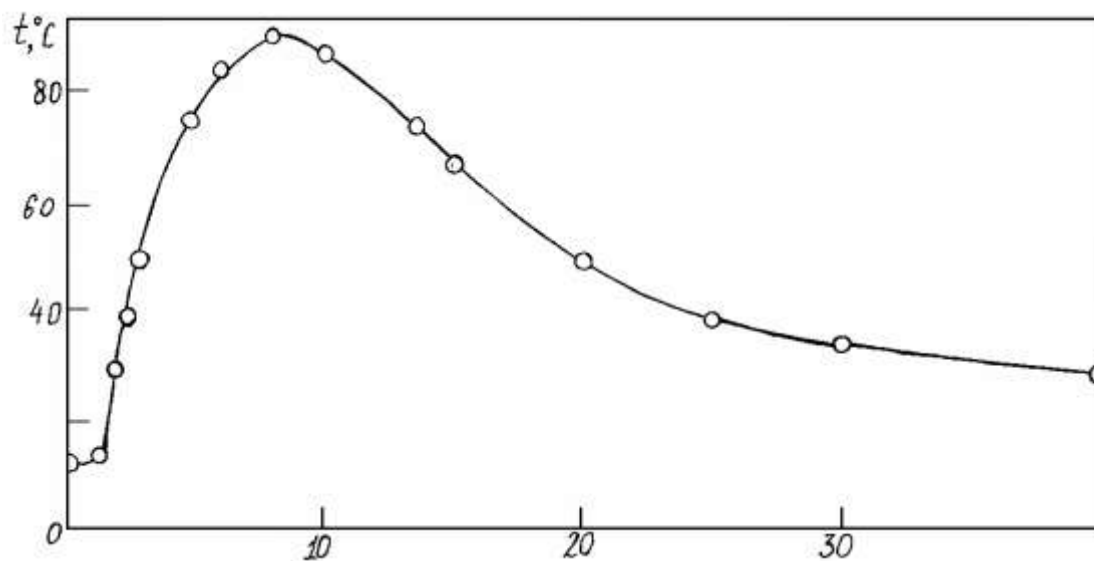


Рис. 5. Зависимость температуры охлаждающей воды на выходе из конденсатора тепловой трубы от времени охлаждения алюминия в форме

$\tau/60, \text{с}$

Максимальные значения температур в зазоре между футеровкой и стальной стенкой формы равняются соответственно для двух вариантов охлаждения металла 270 и 148°C через 20 мин с момента разливки алюминия. То есть использование для охлаждения алюминия в форме тепловой трубы позволяет уменьшить температуру в зазоре между футеровкой и стальной стенкой формы на 122°C .

С учетом приведенных зависимостей определим значения составляющих теплового баланса футерованной формы с разлитым алюминием.

Теплосодержание алюминия определим по формуле

$$Q_0 = mr + m(C_1\Delta t_1 + C_2\Delta t_2), \quad (1)$$

где $\Delta t_1 = t_1 - t_k$ - температура перегрева жидкого алюминия, $\Delta t_2 = t_k - t_2$ - перепад температур в алюминии в твердом состоянии; $t_2 = 60^{\circ}\text{C}$ - конечное значение охлажденного алюминия.

После подстановки в выражение (1) исходных данных получаем значение $Q_0 = 12,33 \cdot 10^6$ Дж. В полученном значении на теплоту кристаллизации алюминия приходится $4,52 \cdot 10^6$ Дж, что составляет $36,7\%$ от его общего теплосодержания.

Тепло, затраченное на нагрев стальной стенки формы, определим по формуле

$$Q_C = C_C m_C (t_{C2} - t_{C1}), \quad (2)$$

где $t_{C2} = 150^{\circ}\text{C}$ - максимальное значение температуры стальной стенки разогретой формы (по рис. 3); $t_{C1} = 25^{\circ}\text{C}$ - начальное значение температуры стальной стенки. После подстановки в выражение (2) исходных данных получаем $Q_C = 1,3 \cdot 10^6$ Дж.

Тепло, затраченное на нагрев футеровки формы Q_{Φ} , определим также по формуле (2) при соответствующих значениях C_{Φ} , m_{Φ} и $t_{\Phi 2} = 325^{\circ}\text{C}$ - максимальном значении температуры футеровки. После подстановки в формулу (2) исходных данных получаем

$Q_{\Phi} = 1,12 \cdot 10^6$ Дж. Общее тепло, затраченное на нагрев футерованной формы $Q_{C\Phi} = Q_C + Q_{\Phi}$, равняется $Q_{C\Phi} = 2,42 \cdot 10^6$ Дж.

Тепло, отданное конвекцией воздуху от стенки формы, определим по формуле

$$Q_K = \alpha F_{\Phi} \Delta t \bar{\tau}, \quad (3)$$

где $\alpha = 2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ - коэффициент теплоотдачи естественной конвекцией воздуху со стенки формы [6]; $F_{\Phi} = 0,29 \text{ м}^2$ - площадь наружной поверхности формы; $\Delta t = 100^{\circ}\text{C}$ - перепад температур между стенкой формы и окружающим воздухом; $\bar{\tau} = 1800 \text{ с}$ - среднее время охлаждения формы (по рис. 3). После подстановки в формулу (3) исходных данных получаем $Q_K = 0,104 \cdot 10^6$ Дж.

Тепло, затраченное на разогрев стальной тепловой трубы до средней температуры $\bar{t}_T = 250^{\circ}\text{C}$, определим по формуле (2). После подстановки в формулу (2) исходных данных получаем $Q_T = 0,426 \cdot 10^6$ Дж.

Тепло, отведенное охлаждающей водой за время $\tau = 2400 \text{ с}$, определим с учетом рис. 5 при среднем перепаде температур охлаждающей воды $\Delta t_B = 57^{\circ}\text{C}$ по формуле

$$Q_B = C_B \dot{m}_B \Delta t_B \tau. \quad (4)$$

После подстановки в формулу (4) исходных данных получаем $Q_B = 7,2 \cdot 10^6$ Дж.

Общее количество теплоты, отданное алюминием в футерованной форме, $Q_0' = 10,15 \cdot 10^6$ Дж. При этом доля тепла, отведенного водой при охлаждении тепловой трубы, составляет 71%. Сравнение полученного значения $Q_0' = 10,15 \cdot 10^6$ Дж с теплосодержанием разливаемого алюминия $Q_0 = 12,33 \cdot 10^6$ Дж показывает, что расхождение составляет 17,7% и объясняется неучтенными потерями тепла с поверхности футерованной формы, конвекцией воздухом с поверхности разогретой тепловой трубы, погрешностями определения составляющих баланса тепла в форме.

Таблица 1

Площади зерен алюминия в зависимости от наличия охлаждения

Без тепловой трубы		С тепловой трубой	
№	Площадь (усл. ед)	№	Площадь (усл. ед)
1	19068,5	1	4303,5
2	9335,5	2	3947
3	22425	3	7397
4	13832,5	4	5238
5	8465	5	6210,5
6	17327	6	6563,5
7	18681,5	7	5762,5
8	10653,5	8	3392
9	17253,5	9	6573,5
10	14076,5	10	5862
11	15696,5	11	4555
12	14868	12	2707
13	8426,5	13	5319
Среднее значение площади	14623,81		5217,731

При небольших степенях переохлаждения, когда велик зародыш критического размера, а скорость образования зародышей мала, при затвердевании формируется крупнокристаллическая структура. При быстром охлаждении расплава достигается его затвердевание в состоянии переохлаждения, при этом скорость образования зародышей увеличивается более интенсивно, чем скорость их роста, соответственно получают более мелкие зерна. В табл. 1 приведены площади зерен (в условных единицах), определенные по фотографиям шлифов. Как видно из таблицы, быстрый отвод тепла от центра отливки способствует измельчению зерен алюминия и увеличению их общего количества.

Отсюда уменьшение площади зерен:

$$k = \frac{14623,81}{5217,731} \approx 2,8 .$$

Выводы

Разливка алюминия в футерованную форму с установленной по центру высокоэффективно охлаждаемой тепловой трубой уменьшает время формирования заготовки в форме со 135 до 35 мин, то есть в 3,9 раза. Также быстрый отвод тепла от центра отливки способствует измельчению площади зерен в 2,8 раза.

Библиографический список

1. Пат. на ПМ № 38651 RU. Кокильная машина с тепловой трубой / В.В. Стулов; опубл. 10.07.04. Бюл. № 19.
2. **Петриченко, А.М.** Теория и технология кокильного литья / А.М. Петриченко. – К.: Техніка, 1967. – 250 с.
3. **Одинокоев, В.И.** Литейно-ковочный модуль (литье и деформация) / В.И. Одинокоев, В.В. Стулов. – Владивосток: Дальнаука, 1998. – 150 с.
4. Специальные способы литья: справочник / В.А. Ефимов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1991. – 736 с.
5. **Зиновьев, В.Е.** Теплофизические свойства металлов при высоких температурах: справ. изд. / В.Е. Зиновьев. – М.: Metallurgy, 1989. – 384 с.
6. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: справочник / Е.В. Аметистов [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 512 с.

*Дата поступления
в редакцию 20.05.2010*

V.V. Stulov, A.M. Sevastyanov

GETTING HOLLOW ALUMINUM CASTINGS IN LINED FORM

Completed casting aluminum lined with uncooled form centered on the non-cooled and heat pipe cooling. Established that the cooling time of hollow casting is reduced by more than 3 times in the presence of cooling pipes. Thus, increasing more than twice the velocity of crystallization of the metal.

Key words: lined shape, heat pipe, aluminum, cooling, water.

УДК 669.14.018.8

В.В. Стулов, А.И. Горнаков

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ЖИДКОЙ СТАЛИ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МНЛЗ

Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН, г. Комсомольск-на-Амуре

Приведены результаты течения в разные моменты времени окрашенной струи жидкости в горизонтальной плоскости на мениске модели кристаллизатора, а также картины перемешивания измельченных частиц в разные моменты времени. Моделирование на воде выполнено соблюдением равенства критерия Рейнольдса. В работе использована модель новой конструкции погружного разливочного стакана.

Ключевые слова: кристаллизатор МНЛЗ, погружной стакан, критерий Рейнольдса.

В настоящее время при разработке новых способов и устройств для непрерывной разливки стали в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) [1] стоит актуальная задача исследования гидродинамики расплава и поведения наводимой шлакообразующей смеси на модели кристаллизатора.

В работе [2,3] приведены результаты моделирования гидродинамики жидкой стали на плоской модели при разливе расплава через стакан эксцентричными отверстиями. Недостаточная глубина расположения выходных отверстий стакана модели вносит существенную погрешность в полученные результаты.

В работе [4] приведены результаты моделирования разливки стали через два погружных стакана на прозрачной модели кристаллизатора.

В настоящей работе ставилась цель исследовать гидродинамику расплава в горизонтальной плоскости кристаллизатора, определить параметры истекающих струй в горизонтальной плоскости, состояние шлаковой смеси на поверхности мениска расплава.

Исходные данные

Параметры прозрачной модели кристаллизатора, м: высота $H_M = 0,3$; длина широкой стенки $L_M = 0,39$; длина узкой стенки $B_M = 0,05$.

В нижней части модели установлена перегородка с отверстиями в виде сот диаметром 4 мм для равномерного вытекания воды.

Параметры модели погружного разливочного стакана, м: диаметр наружный $d_M = 0,036$; диаметр внутренний $d_{M0} = 22 \cdot 10^{-3}$; размеры выходных отверстий – $9 \times 25 \cdot 10^{-3}$; смещение отверстий – 0,018; глубина погружения стакана в модель кристаллизатора – 0,05.

Параметры разливки стали Ст.3 в промышленный кристаллизатор: скорость разливки – 0,55 м/мин, температура разливки составляет 1530 °С.

Параметры рабочего пространства промышленного кристаллизатора, м: высота $H_{\Pi} = 1,2$; толщина $B_{\Pi} = 0,2$; ширина $L_{\Pi} = 1,55$.

На рис. 1 показана схема экспериментальной установки для моделирования истечения жидкой стали в кристаллизаторе МНЛЗ.

Экспериментальная установка на рис. 1 состоит из прозрачной модели кристаллизатора 1 с перегородкой 2 и отверстиями 3, модели погружного разливочного стакана 4 с двумя выходными отверстиями 5, сливного коллектора 6 с патрубком 7 и краном 8, разливочной емкости 9 со стопором 10, дополнительной емкости 11 со сливной трубой 12 и краном 13, трубы 14 с краном 15, цифровой видеокамеры 16.

Работа экспериментальной установки на рис. 1 осуществляется следующим образом. Вода по трубе 14 через открытый кран 15 поступает в дополнительную емкость 11 и через сливную трубу 12 при открытом кране 13 поступает в разливочную емкость 9 и заполняет её.

После заполнения водой емкости 9 производится заполнение емкости 11. При заполненной емкости 11 и закрытых кранах 14 и 8 установка готова к разливке жидкости в модель кристаллизатора 1.

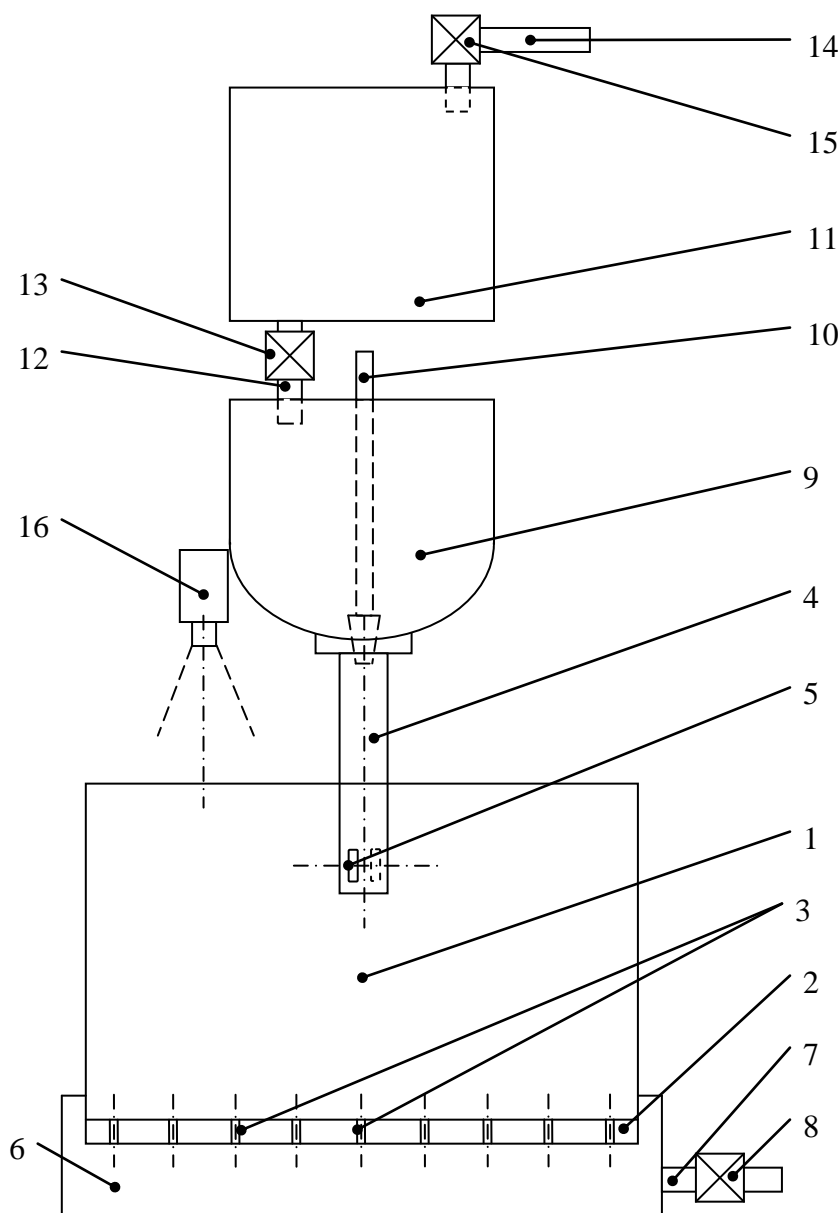


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для моделирования гидродинамики жидкой стали и шлакообразующей смеси в кристаллизаторе МНЛЗ:

1 – прозрачная модель кристаллизатора; 2 – перегородка; 3 – отверстия; 4 – модель погружного разливочного стакана; 5 – выходные отверстия; 6 – сливной коллектор; 7 – патрубков; 8, 13, 15 – кран; 9 – разливочная емкость; 10 – стопор; 11 – дополнительная емкость; 12 – сливная труба; 14 – труба; 16 – цифровая видеокамера

Затем поднимается стопор 10 и вода из разливочной емкости 9 через погружной разливочный стакан 4 с двумя выходными отверстиями 5 поступает в прозрачную модель кристаллизатора 1 и заполняет её.

Одновременно открывается кран 15 и вода по трубе 14 поступает в дополнительную емкость 11. После погружения выходных отверстий 5 разливочного стакана 4 в воду производится впрыскивание через насадки окрашивающей жидкости в отверстие 5 с окрашиванием истекающих струй. Одновременно открывается кран 8 и вода через отверстия 3 в перегородку

родке 2 поступает в сливной коллектор 6 и через патрубок 7 удаляется из модели кристаллизатора 1. Перемещением стопора 10 в разливочной емкости 9 добиваются одинакового погружения выходных отверстий 5 в воду в прозрачной модели кристаллизатора 1. Процесс истечения окрашенных струй жидкости в вертикальной и горизонтальной плоскостях, а также перемешивание мелких частичек размером 1-2 мм на мениске жидкости в кристаллизаторе записываются на цифровую видеокамеру 16.

Методика исследований

Варианты визуализации течений моделирующей жидкости в модели кристаллизатора:

1. Впрыскивание окрашивающей жидкости в модель погружного стакана.
2. Подача (наведение) на поверхность мениска жидкости нетонущих частичек размером 1-2 мм с плотностью 350 кг/м^3 .

Процесс истечения жидкости записывается на цифровую камеру EX-F1(CASIO) со скоростью съемки 30-300 кадр/с при эффективном количестве пикселей – 6 млн.

В качестве основного параметра, характеризующего степень турбулентности струи расплава в кристаллизаторе, является критерий Рейнольдса [4] $Re = \omega \cdot l / \nu$.

Обозначения: ω – скорость расплава в кристаллизаторе, м/с; l – характерный размер, м; ν – кинематическая вязкость расплава, $\text{м}^2/\text{с}$. В качестве l выбираем половину длины широкой грани кристаллизатора.

При разливке стали Ст.3 в промышленный кристаллизатор с параметрами $\omega = 0,1-1 \text{ м/с}$, $l = L/2 = 0,75 \text{ м}$ и $\nu = 0,86 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ получаем значение $Re_{\text{п}} = (0,872-8,72) \cdot 10^5$.

Теплофизические свойства разливаемой стали Ст.3 [5]: $t_{\text{п}} = 1508 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{\text{с}} = 1465 \text{ }^\circ\text{C}$; $C_1 = 718$ и $C_2 = 832 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$, где C_1, C_2 – теплоемкость стали соответственно в твердом и жидком состояниях; $t_{\text{л}}, t_{\text{с}}$ – температура стали соответственно в жидком и твердом состояниях.

В качестве моделирующей жидкости в прозрачной модели кристаллизатора выбрана вода [4]. Теплофизические параметры воды [6] при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$: $\rho = 998 \text{ кг/м}^3$; $\nu = 1,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $C_p = 4183 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$; $\lambda = 0,6 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$.

Результаты исследований

1. Впрыскивание окрашивающей жидкости в выходные отверстия модели погружного стакана.

При скорости истечения окрашенной струи воды $\omega = 0,8-1,2 \text{ м/с}$ в прозрачную модель кристаллизатора получены в разные моменты времени картины течения жидкости на мениске в горизонтальной плоскости кристаллизатора, представленные на рис. 2. На рис. 2 цифрами 5–15 показано нарастание прозрачности течений в разные моменты времени. В момент времени $\tau = 0 \text{ с}$ (рис. 2, а) окрашенная струя 5, вытекающая из отверстия 4 погружного стакана 3, распространяется вдоль широкой стенки 1 модели кристаллизатора в сторону узкой стенки 2, являющейся преградой. В момент времени $\tau = 2-2,2 \text{ с}$ (рис. 2, б, в) поток окрашенной жидкости 5 распространяется на противоположную широкую стенку 1. В момент времени $\tau = 5 \text{ с}$ (рис. 2, д) основной поток окрашенной жидкости 8 переходит на противоположную широкую стенку 1, за которым следует поток 9 осветленной жидкости. В момент времени $\tau = 6-7 \text{ с}$ (рис. 2, е, з) характерно появление более светлых перемешанных областей 11 (рис. 2, е) и 13 (рис. 2, з) в районе противоположной широкой стенки 1 кристаллизатора в результате образования вихря с центром в точке O . Центр вихря (т. O) расположен на расстоянии $(1/3) \cdot (L_M/2)$ от узкой стенки 2 со смещением на $(1/4) \cdot B_M$ от широкой стенки 1. Вихрь может изменяться в размерах: сжиматься и растягиваться. В момент времени $\tau = 11 \text{ с}$ (рис. 2, и) осветленная область 13 в виде вращающегося вихря увеличивается в своих размерах практически на все сечение кристаллизатора. Менее светлые области 12 остаются вдоль узкой стенки 2 модели кристаллизатора и в районе модели погружного стакана 3. В момент времени $\tau = 15 \text{ с}$ (рис. 2, к) менее светлая область 14 сохраняется только у модели погружного стакана 3.

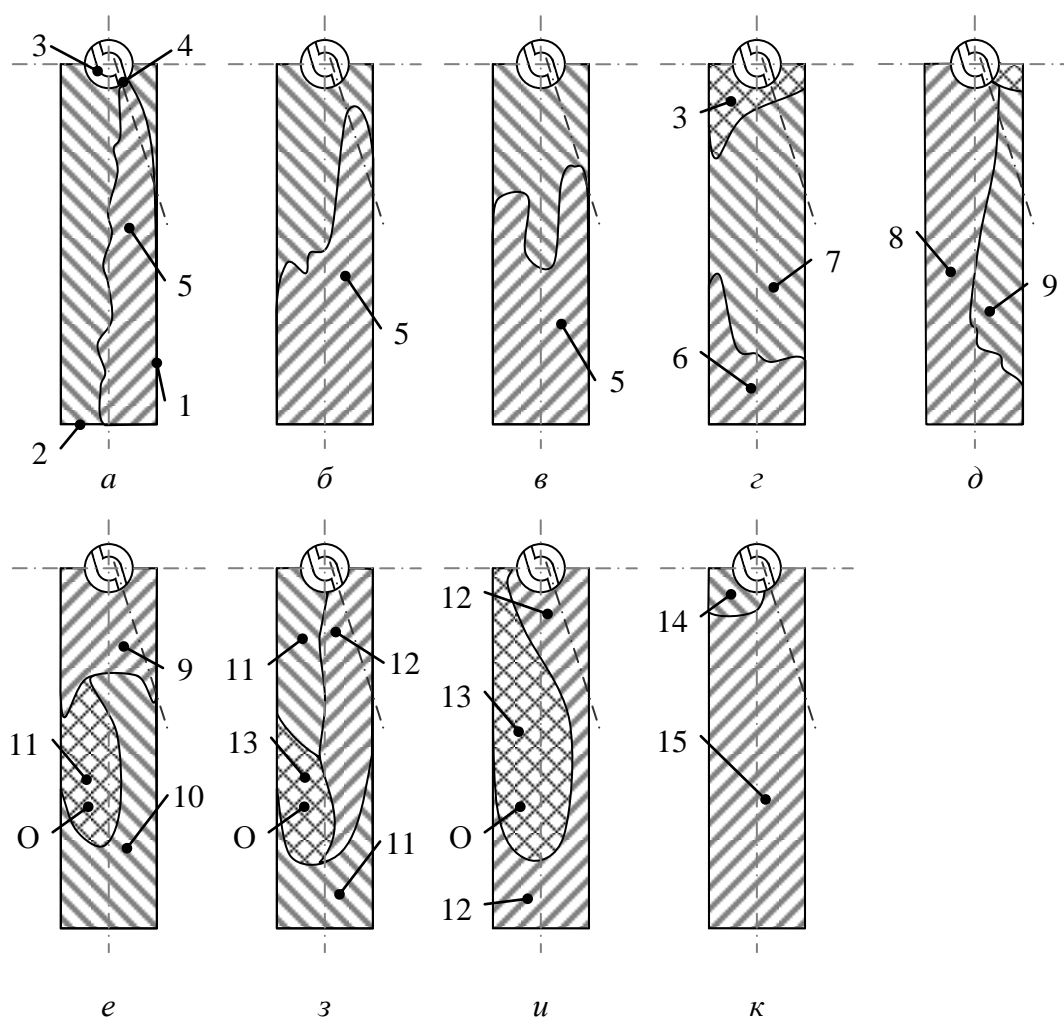


Рис. 2. Картины течений окрашенной жидкости на мениске в горизонтальной плоскости модели кристаллизатора в разные моменты времени:

a – $\tau = 0$ с; *б* – $\tau = 2$ с; *в* – 2,2; *г* – 3,3; *д* – 5; *е* – 6; *з* – 7; *и* – 11; *к* – 15;

1 – половина широкой стенки модели кристаллизатора; *2* – узкая стенка; *3* – модель погружного разливающего стакана; *4* – выходное отверстие; *5* – 15 нарастание прозрачности течений в разные моменты времени; точка *O* – центр вихря

Из результатов проведенных исследований с окрашиванием струи истекающей из модели погружного стакана, можно сделать следующие выводы:

- в области широкой стенки через время 7 с с противоположной стороны струи располагается наиболее перемешиваемая первоначально осветляемая область вихря;
- наименее перемешиваемая (в последнюю очередь) область располагается левее выходного отверстия модели стакана. Весь процесс перемешивания и осветления течения жидкости происходит за время не более 15 с.

С целью подтверждения полученных результатов с окрашенной струей жидкости выполним исследование поведения измельченных частичек на поверхности мениска жидкости (рис. 3).

2. В процессе исследования с мелкими частицами обнаружено поочередное образование двух вихрей интенсивно разбивающих слой из частичек.

Центры образующихся вихрей №1 и №2 смещены под противоположную широкую стенку от середины кристаллизатора. Первоначально образуется вихрь №1 в момент $\tau = 1-1,4$ с (рис. 3, б, в) с центром удаленным на $(1/3) \cdot (L_M/2)$ от узкой стенки.

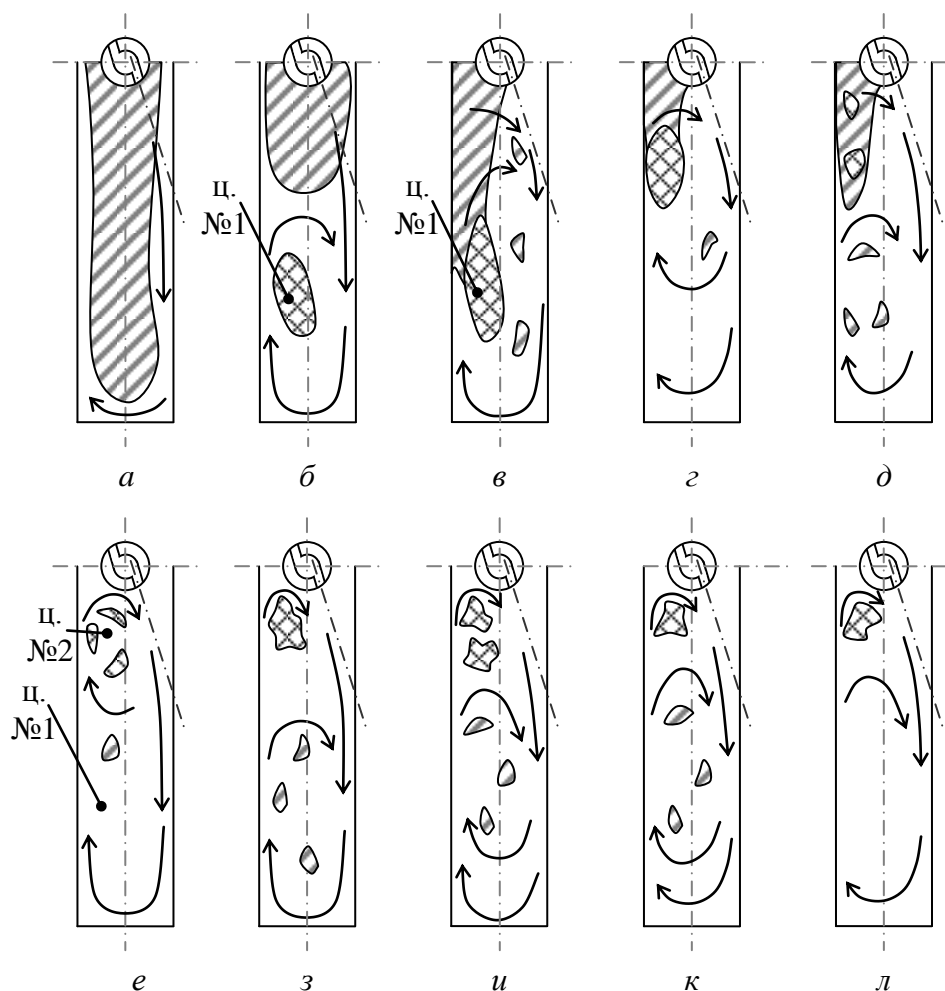


Рис. 3. Картины перемешивания измельченных частичек на мениске в горизонтальной плоскости модели кристаллизатора в разные моменты времени:

$a - \tau = 0$ с; $b - \tau = 1$ с; $в - 1,4$; $г - 2,4$; $д - 3,4$; $e - 5$; $з - 6$; $и - 8$; $к - 10$; $л - 14$

Вихрь изменяет свою форму, но центр его приходится на одну точку. Вихрь может распадаться на “островки” из частичек ($\tau = 1,4$ и $3,4$ с) (рис. 3, *в*, *д*), а потом вновь образуется из уже уменьшенных “островков”. То есть слой покрытия из частичек дробится и разрушается образующимися вихрями.

В момент $\tau = 3,4$ с (на рис. 3, *д*) образуется второй вихрь №2, центр которого расположен левее модели стакана. В момент $\tau = 5$ с (рис. 3, *e*) в вихре №1 не наблюдается “островков” из мелких частичек, а вихрь №2 разбивается на мелкие вращающиеся “островки”. В дальнейшем интервале времени $\tau = 6-14$ с (на рис. 3, *з-л*) происходит измельчение “островков” из частичек в вихре №2, которые потом попадают в вихрь №1.

По полученным результатам исследований с измельченными частичками можно сделать следующие выводы:

1. Разрушение покрытия жидкости из частичек начинается со стороны узкой стенки с образованием вращающегося смещенного к широкой стенке вихря №1, распадающегося на мелкие “островки”.

2. Образование вращающегося вихря №2 в районе модели погружного стакана с дроблением оставшегося покрытия из слоя частичек за время $\tau = 14$ с.

3. Разрушение слоя частичек на поверхности жидкости в результате образования вращающихся с частицами двух вихрей подтверждает поведение потока окрашенной жидкости за время $\tau = 15$ с.

4. При средней скорости в струе жидкости $\overline{\omega}_c = 0,8-1,2$ м/с средняя скорость частичек в вихрях составляет 0,5–0,8 м/с.

5. Сопоставление значения критерия Рейнольдса при разливке стали в промышленный кристаллизатор $Re = (87,2-872) \cdot 10^3$ со значением критерия Рейнольдса воды в модели кристаллизатора $Re = (160-230) \cdot 10^3$ показывает, что полученные результаты поведения струи в кристаллизаторе и поведение измельченных частиц (шлакообразующей смеси) сопоставимы.

6. Полученные результаты разрушения слоя размельченных частиц на поверхности мениска воды за время $\tau_m = 14$ с подтверждаются результатами промышленных исследований разогрева и расплавления шлакообразующей смеси на поверхности мениска жидкой стали в кристаллизаторе МНЛЗ за $\tau_n = 120$ с [1]. При этом в процессе разливки временной масштаб ($M_t = \tau_n/\tau_m$) равен 8,6.

7. Результаты моделирования поведения струи расплава в модели кристаллизатора используются при разработке математической модели гидродинамики с перемешиванием расплава в кристаллизаторе МНЛЗ.

Библиографический список

1. Разработка нового способа разливки слябовых заготовок на МНЛЗ / В.В. Стулов [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: ИМиМ ДВО РАН, 2008. – 158 с.
2. **Стулов, В.В.** Совершенствование процесса непрерывной разливки стали на основе исследования гидродинамики и теплообмена в кристаллизаторе / Автореф. дисс. ... канд. тех. наук. – М. МИСиС, 1992. – 17 с.
3. **Стулов, В.В.** Исследование гидродинамики расплава в кристаллизаторе МНЛЗ / В.В. Стулов [и др.]. // Прикладные задачи механики деформируемого твердого тела и прогрессивные технологии в машиностроении: сб. ст. ИМиМ ДВО РАН / Комсомольск-на-Амуре. 2009. Вып. 3. Ч. 2. С. 39-43.
4. Экспериментальное исследование гидродинамики непересекающихся плоских струй в емкости кристаллизатора / В.В. Стулов [и др.] // Изв. вузов. Черная металлургия. 1989. №11. С. 50–52.
5. **Островский, О.И.** Свойства металлических расплавов / В.А. Григорян, А.Ф. Вишкарев. – М.: Металлургия, 1988. – 304 с.
6. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: справочник / В.А. Григорьев [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 512 с.

*Дата поступления
в редакцию 20.05.2010*

V.V. Stulov, A.I. Gornakov

STUDY OF HYDRODYNAMICS OF LIQUID STEEL IN THE MOLD CONTINUOUS CASTER

The results of flow at different times colored liquid jet in a horizontal plane at the meniscus model of the mold, as well as pictures of mixing crushed particles at different points in time. Simulation of the water holds equality of the Reynolds number. We used a model of the new construction submersible glass bottling.

Key words: continuous casting crystallizer, submersible glass, the Reynolds number.

УДК 669.621.74

В.А. Коровин, И.О. Леушин, В.А. Героцкий

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОЦЕССОВ ПЛАВКИ И МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева

Аналитическими и численными методами исследовано получение требуемого жидкого расплава при плавке и модифицировании жидкого расплава при получении высокопрочного чугуна. Показано, что рассмотрение процессов плавки и внепечной обработки (модифицирование) жидкого чугуна с энергетической и технологической позиций позволяет объяснить и обеспечить заметное повышение практического результата.

Ключевые слова: плавка, модифицирование, массоперенос, высокопрочный чугун, жидкий металл, шлак, газ, включение, ковш с крышкой, лигатура.

Важнейшей задачей литейщиков является повышение качества отливок. Довольно трудно в настоящее время представить себе деталь, конструкцию, которые не испытывали бы необходимости повышения качества.

За прошедшее время были достигнуты значительные успехи в повышении качества ответственных деталей и построении различных теорий, объясняющих природу процессов, происходящих при получении отливки и, в частности, при получении требуемого жидкого расплава на основе взаимосвязи плавки и модифицирования.

При этом в большом количестве работ, посвященных исследованию данной проблемы, обращается внимание на возможность и перспективность создания комплексной технологии получения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, взаимосвязанной с информацией о качестве металла по всей технологической цепочки, на основе привлечения системного анализа и синергетики. Оптимальную структуру, фазовый состав и механические свойства заготовок необходимо формировать в литом состоянии.

Знание закономерностей формирования расплава и затем литой структуры и создание активной технологии позволяют прогнозировать микроструктуру заготовки и конечные свойства отливки.

Улучшение технологического процесса рассматривается как постоянное требование производства. В области ковшевой металлургии процесс модифицирования играет очень большую роль.

Технологические требования процесса – это гарантированное обеспечение требуемого состава расплава в узких пределах допусков, а также минимально возможного времени обработки. В этом случае необходимо устанавливать оптимальные технологические параметры и располагать соответствующими стратегиями модифицирования.

Задача плавки заключается в получении жидкого металлического расплава нужной температуры, состава и структуры, обеспечивающих необходимые технологические свойства. Температура достигается соответствующим нагревом. Необходимый ее уровень без особых проблем устанавливается опытным путем, хотя, в принципе, может быть рассчитан теоретически.

Что касается структуры жидкого расплава, то при бесспорном ее влиянии на технологические свойства, научные знания о ней пока недостаточны. Таким образом, в практическом отношении главная задача реальной плавки заключается в получении определенного состава расплава.

Понятие состава требует разъяснения. Обычно под составом понимают химический состав из ограниченного ряда элементов, который регламентируется техническими условия-

ми, однако в металле присутствуют и другие элементы в виде неопределяемых примесей. Специфической частью состава металла следует считать неметаллические включения, а также растворенные в нем газы. Эти примеси отрицательно влияют на физико-механические свойства металла.

Таким образом, в задачи технолога при плавке входит получение регламентного состава по химическим элементам [1], ограничение содержания неметаллических включений в расплаве [2], ограничение содержания газов в расплаве [3].

Химсостав и содержание неметаллических включений и газов в металлической ванне при плавке непрерывно изменяются как в одну, так и в другую сторону. Началом плавки можно считать набор известными способами шихты и загрузку ее в печь. В составе шихты, кроме регламентируемых элементов, имеется некоторое количество неметаллических включений (НВ) и газов. Это различные загрязнения шихты и адсорбированные на ее поверхности газы. НВ и газы содержатся также в объеме металла кусков шихты.

С целью ограничения содержания нежелательных примесей используются, по возможности, чистая шихта и ее прокатка перед загрузкой в печь.

В период от расплавления шихты до выпуска металла из печи идут процессы ответственные за качество металла. Взаимодействия металла с контактирующими фазами обобщает схема процесса плавки (рис. 1).

Основой модели служат различные виды массопереноса, в результате которых и формируется состав жидкого металла, т.е. содержание элементов, газов, неметаллических включений, а также его структура, которая влияет на последующую кристаллизацию.

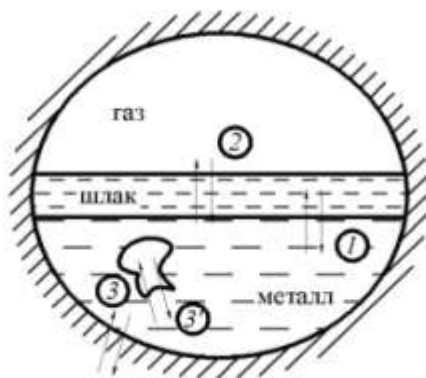


Рис. 1. Схема процесса плавки:

1 – металл-шлак; 2 – металл-газ; 3 – металл-инородные включения;
3' – металл-футеровка

Направление и полнота массопереноса зависят от разности концентраций мигрирующего компонента

$$C_M - C_\Phi \leq \Delta_{M\Phi},$$

где C_M – активная концентрация компонента в металле; C_Φ – в контактирующей среде; $\Delta_{M\Phi}$ – разность концентраций. При $\Delta_{M\Phi} < 0$ компонент переходит в металл, при $\Delta_{M\Phi} > 0$ – в контактирующую фазу.

Активные концентрации, или активности, более просто определяются для газовой фазы. В связи со слабым взаимодействием частиц они принимаются равными фактическим концентрациям компонентов. В жидких металлах и шлаках взаимодействие элементарных частиц сильное, в связи с чем химические активности отличаются от фактических концентраций в ту или иную сторону. Для неметаллических и шлаковых растворов разработаны методы расчета активностей через фактические концентрации компонентов [1, 2].

Чисто механическое распределение компонента между фазами вследствие разности

концентраций встречается редко. Обычно в распределении участвуют те или иные химические реакции. В таких случаях за действующие концентрации принимают таковые для равновесия реакции.

В общем случае массоперенос из одной фазы в другую включает следующие этапы:

- 1) перенос компонента к межфазной границе;
- 2) адсорбционно-химический акт на межфазной границе;
- 3) отвод продуктов реакции в объем фазы.

Первый и третий этапы осуществляются путем молекулярной или циркуляционной диффузии. Последняя называется конвективной или турбулентной. Вторым этапом обычно включает адсорбцию реагирующих частиц и последующий акт химического взаимодействия.

Ведущую роль при массопереносе играет его скорость, т.е. количество вещества перемещаемого в единицу времени. Молекулярная диффузия определяется вязкостью фазы. В газовой фазе ее скорость наибольшая, затем идет жидкая фаза, и твердой фазе скорость наименьшая.

Значительно возрастает скорость диффузии, когда частицы перемещаются не только за счет кинетического движения, но и вместе с потоками жидкой или газовой фазы. Такие потоки возникают как результат конвекции или перемешивания жидкой или газовой фазы. Соответственно перемешивание используется как эффективный способ ускорения массопереноса.

На схеме (рис. 1) и в реальных процессах плавки газовая фаза отделена слоем шлака. Толщина этого слоя может изменяться от нуля до величин, сопоставимых с глубиной металлической ванны. Слой шлака затрудняет массоперенос из газовой фазы, но не подавляет его совсем. Реагирующие компоненты могут диффундировать в металл через слой шлака.

Массоперенос между шлаком и металлической ванной наиболее важен при плавке, так как вносит наибольший вклад в формирование состава металла.

В условиях повышенных температур идет активный обмен компонентами между металлом и шлаком. Задача технолога при этом – способствовать переходу нежелательных примесей из металла в шлак, полезных – из шлака в металл и, по возможности, подавлять обратные процессы.

Третий вид массопереноса (рис. 1) связан с добавками твердых кусков металла в жидкую металлическую ванну. Это обычно или загрузка части шихты или доводка состава ферросплавами и лигатурами. Если твердые добавки имеют более низкую температуру плавления, чем базовый расплав, то они плавятся и затем распределяются в объеме ванны циркуляционным массопереносом. Если температура плавления добавок выше температуры расплава, то идет их растворение по диффузионному механизму.

Аналогичные моменты можно отметить и при модифицировании расплава чугуна.

Известно, что научно-технический прогресс во многом определяется уровнем развития науки о материалах, технологий их получения и обработки. Сегодня достигнуто понимание того факта, что для дальнейшего эффективного развития промышленности и, в частности, получения материалов с заданными свойствами необходим переход на новую методологию, т.е. рассмотрение проблем активного воздействия на расплав на комплексной позиции.

В традиционном способе модифицирования имеет место свободный доступ кислорода к лигатуре. При этом в связи с активной реакцией возникают потери магния на окисление, пироэффект и дымовыделение. Ограничения доступа кислорода позволит уменьшить отрицательные эффекты.

Разработан и осуществлен способ модифицирования чугуна в ковше с крышкой, в которой имеется отверстие для заливки чугуна (рис. 2).

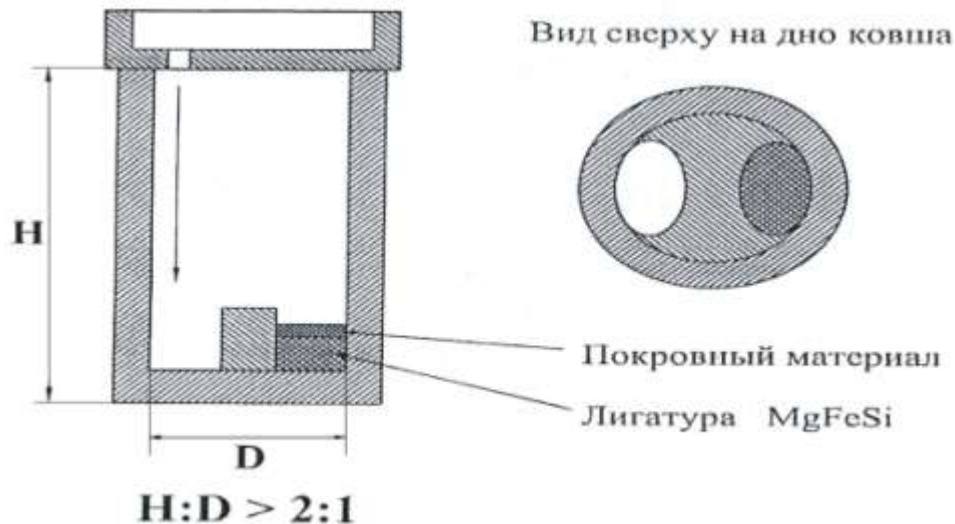


Рис. 2. Схема процесса модифицирования чугуна в ковше с крышкой

Перед заливкой чугуна в ковше находится объем воздуха, равный объемной емкости ковша плюс $\sim 10\%$. Для ковша емкостью в 1 т количество кислорода в нем составит

$$m_{O_2} = 1,1km_m c_0 \rho_g / \rho_m, \quad (1)$$

где m_{O_2} – масса кислорода в ковше, г; $k=3\div 4$ – коэффициент времени выпуска металла; m_m – емкость ковша, т; $c_0 = 0,21$ – концентрация кислорода в воздухе; $\rho_g = 1200 \text{ г/м}^3$ – плотность воздуха; $\rho_m = 7 \text{ т/м}^3$ – плотность чугуна.

Для ковша емкостью в 1 т $m_{O_2} = 1,1 \cdot 1 \cdot 0,21 \cdot 1200 / 7 = 39,6 \text{ г}$. В соответствии с химической формулой MgO, данный кислород может окислить следующее количество магния:

$$m_{Mg} = m_{O_2} A_{Mg} / A_O = 39,6 \cdot 24 / 16 = 59,4 \text{ г}, \quad (2)$$

где $A_{Mg} = 24$ и $A_O = 16$ – атомные массы магния и кислорода.

Нетрудно подсчитать, что для стандартной обработки чугуна 3% лигатуры с содержанием магния 5% затрата магния на окисление составит лишь 4% от добавленного количества.

После начала заливки металла через отверстие в крышке ковша воздух в объеме ковша нагреется, расширится и начнет выходить через неплотности между крышкой и ковшом. Дополнительно газ в ковше будет выжиматься поднимающимся уровнем металла. Некоторое сокращение объема газа возникнет в результате связывания кислорода. Однако это сокращение перекроется термическим расширением газа и подъемом уровня металла.

Приведенные соображения однозначно свидетельствуют о предотвращении доступа кислорода извне к реагирующей лигатуре из-за избыточного давления в ковше под крышкой.

Таким образом, в предложенной схеме организации модифицирования чугуна потери магния на окисление и соответственно пироэффект и дымовыделение будут минимальными.

Основой технологии модифицирования чугуна в ковше служит слив металла с некоторой высоты. При этом выделяется энергия, обеспечивающая перемешивание расплава, растворение и реагирование зерен, кусков лигатуры с жидким чугуном. Величина энергии пропорциональна высоте слива:

$$W = mgh, \text{ Дж}, \quad (3)$$

где m – масса металла, кг; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение силы тяжести; h – высота слива, м.

Растворение или реагирование зерен лигатуры требует определенного времени. Если слив будет продолжаться меньше этого времени, зерна не успеют раствориться, прореагиро-

вать полностью. В противном случае часть энергии окажется излишней. С учетом этого процесс характеризуется мощностью, в выражение которой входит время:

$$P = W / \tau = mgh / \tau, \text{ Дж/с (Вт)}, \quad (4)$$

где τ - время слива металла.

В оптимальном режиме модифицирования время τ должно совпадать со временем растворения, реагирования зерен лигатуры. Последнее определяется из практики, например, наблюдением за реагированием зерен лигатуры, добавленных на поверхность расплава.

При свободном сливе металла в ковш время τ , как правило, не регулируется.

В предложенном способе модифицирования металл попадает в ковш через промежуточную крышку – чашу с калиброванным отверстием в дне (рис. 1). Диаметр этого отверстия определяет время слива металла. Для расчета диаметра выпускного отверстия в чаше на основе гидравлических закономерностей истечения жидкости получено следующее выражение:

$$d = \left(4m / \tau_p \rho \mu \sqrt{2gh} \right)^{\frac{1}{2}}, \text{ м}, \quad (5)$$

где m – масса металла, кг; τ_p - время растворения зерна лигатуры, с; ρ - плотность жидкого металла, кг/м³; $\mu = 0,85 \div 0,95$ - коэффициент расхода; h – высота столба металла в чаше, м.

Далее приводится пример расчета диаметра выпускного отверстия в чаше:

- масса металла $m = 1000$ кг;
- время выпуска металла из печи $\tau = 20$ с;
- время реагирования лигатуры $\tau_p = 70$ с;
- плотность жидкого чугуна $\rho = 7000$ кг/м³;
- коэффициент расхода $\mu = 0,9$;
- высота столба металла в заливочном ковше $h = 0,15$ м.

$$d = \left(\frac{4 \cdot 1000}{70 \cdot 3,14 \cdot 7000 \cdot 0,9 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,15}} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,041 \text{ м} = 4,1 \text{ см}.$$

С целью повышения энергии и мощности модифицирования был изготовлен специальный ковш с увеличенным отношением высоты к диаметру (2:1) (рис. 1). Лигатура ФСМг5 закладывалась в углубление на дне ковша и накрывалась стальной высечкой, как это делается в обычном сэндвич-процессе. Крышка на ковше ориентировалась так, чтобы струя не попадала на лигатуру. Незначительные пироэффект и дымовыделение наблюдались лишь в начале заливки. Усвоение магния превысило 50%, стабилизировались структура и свойства чугуна.

Количество вводимого модификатора и замедлителя определялось в зависимости от содержания магния в лигатуре, содержания серы в исходном расплаве и доли преобладающей фракции лигатуры.

Описываемый способ получения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом обеспечивает требуемую структуру при использовании модификатора фракцией 0 – 30,0 мм лигатуры ФСМг, при этом снижается расход модификатора, уменьшается пироэффект и дымовыделение, стабилизируется процесс модифицирования.

Таким образом, анализ процессов плавки и внепечной обработки жидкого чугуна с энергетической и технологической позиций позволяет объяснить и обеспечить достижение заметного повышения практического результата при реализации в производстве.

Библиографический список

1. Григорян, В.А. Теоретические основы электросталеплавильных процессов / В.А. Григорян, Л.Н. Белянчиков, А.Я. Стомахин. – М: Металлургия, 1979. – 256 с.

2. **Явайский, В.И.** Теория процессов производства стали / В.И. Явайский. – М.: Metallurgy, 1967. – 792 с.
3. **Попель, С.И.** Теория металлургических процессов: учебное пособие для вузов / С.И. Попель, А.И. Сотников, В.Н. Бороненков. – М.: Metallurgy, 1986. – 463 с.
4. **Высокопрочные чугуны для отливок.** – М.: Машиностроение, 1982. – 222 с.

*Дата поступления
в редакцию 07.06.2010*

V.A. Korovin, I.O. Leushin, V.A. Gerotsky

**INTERRELATION OF SMELTING PROCESSES
AND MODIFYINGS OF HIGH-TENSILE PIG-IRON**

Analytical and numerical methods investigate modifying of liquid melt at reception of high-tensile pig-iron. Smelting processes and treatments (modifying) of liquid pig-iron are considered from power and technological positions that provides appreciable improvement in quality.

Key words: fusion, modifying, weight carrying over, high-tensile pig-iron, liquid metal, slag, gas, plugging, a ladle pot with a cover, a rich alloy.

ХИМИЯ, ХИМИЧЕСКИЕ И БИОТЕХНОЛОГИИ

УДК 541.13

С.С. Суворов, И.В. Козырев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ ТЕТРАХЛОРИДА КРЕМНИЯ

ООО "Фирма "ХОРСТ", г. Москва

Проведено математическое моделирование процесса ректификации тетрахлорида кремния. Разработана блок-схема расчета кинетики глубокой очистки тетрахлорида кремния в колонне с верхним кубом.

Ключевые слова: тетрахлорид кремния, глубокая очистка, ректификация, моделирование.

Тетрахлорид кремния (ТХК) получают путем каталитического диспропорционирования трихлорсилана в реакционно-ректификационном аппарате [1].

Тетрахлорид кремния используют для получения эпитаксиальных пленок. Для этого ТХК подвергают глубокой очистке от примесей методом ректификации на колонне со средним питающим резервуаром, работающей в режиме дискретного отбора [2]. Для изучения и оптимизации процесса глубокой очистки ТХК, а также для автоматизированного управления процессом необходима разработка компьютерной модели процесса ректификации ТХК на колонне со средним питающим резервуаром.

Схема колонны представлена на рис. 1.

Поскольку средний питающий резервуар является испарителем для верхней секции разделения и питателем для нижней, работа секций влияет друг на друга, однако для случая глубокой очистки веществ влияние одной секции на другую в процессе работы, связанное с перераспределением концентраций по высоте колонны, незначительно, и им можно пренебречь [1].

В связи с этим разработку модели глубокой очистки проводили для колонны с нижним питающим резервуаром. Расчет проводили для системы SiCl_4 с примесью трихлорсилана. Для анализа процесса задавали необходимую кратность очистки, которая определяется следующим образом:

$$f = \frac{x_{\text{нач}}}{x_{\text{кон}}}, \quad (1)$$

где $X_{\text{нач}}$ – содержание примеси в концентрате тетрахлорида кремния по данным газохроматографического анализа; $X_{\text{кон}}$ – содержание примеси в высокочистом продукте.

Математическая модель глубокой очистки тетрахлорида кремния построена на базе уравнений материального баланса процесса ректификации по примесному компоненту и основному веществу для односекционной колонны:

$$\begin{aligned} X_0 V_0 &= X_{\text{куб}} V_{\text{куб}} + X_3 H + X_{\text{ом}} V_{\text{ом}}, \\ V_{\text{куб}} &= V_0 - H - V_{\text{ом}} n, \end{aligned} \quad (2)$$

где X_0 – исходная концентрация примеси; V_0 – начальное количество вещества; $X_{куб}$ – концентрация примеси в кубе; $V_{куб}$ – количество жидкости в кубе; X_3 и H – концентрация примеси в захвате и его количество; X_{om} и V_{om} – концентрация примеси в верхней отборной точке и количество вещества в ней; n – количество отборов верхнего динамического захвата.

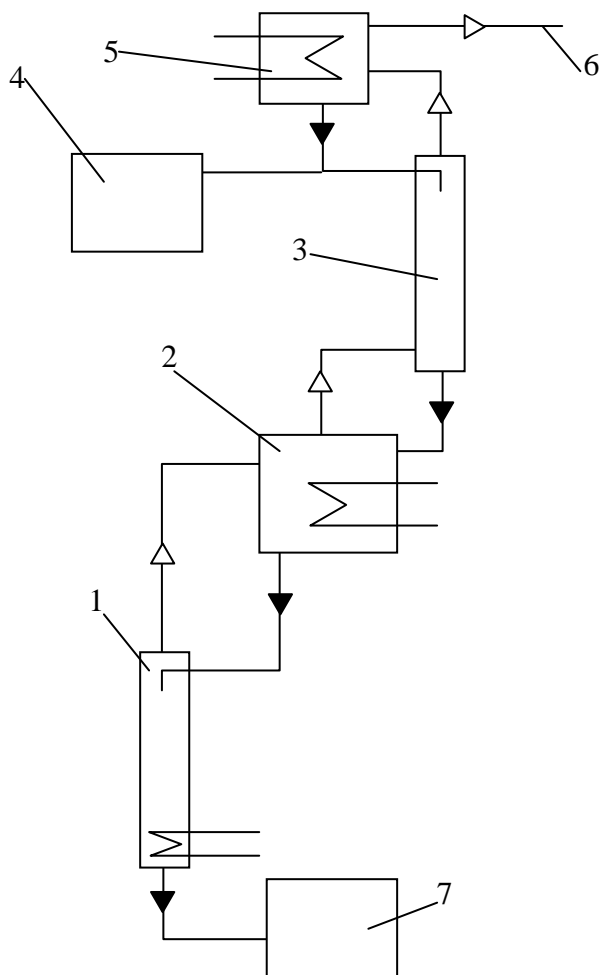


Рис. 1. Принципиальная схема ректификационной колонны со средним питающим резервуаром:

1 – нижняя разделительная секция; 2 – средний питающий резервуар;
3 – верхняя разделительная секция; 4, 7 – сборник; 5 – дефлегматор; 6 – абгаз

Фактор разделения в безотборном режиме для случая предельно разбавленных растворов [1] имеет вид

$$F = \frac{x_{om}}{x_{куб}}. \quad (3)$$

Время накопления примесной фракции заданного состава определяется по уравнению Бабкова-Жаворонкова [3]:

$$t = \frac{\alpha}{L(\alpha - 1)} \left[H \left(\frac{S - 1}{\ln S} \right) + V_{куб} (S - 1) \right] \ln \frac{S - \frac{x_{om1}}{x_{cp}}}{S - \frac{x_{om2}}{x_{cp}}}, \quad (4)$$

где L – орошение колонны; $X_{от1}$ – концентрация примеси в верхнем динамическом захвате после отбора; $X_{от2}$ – текущая концентрация примеси в верхнем динамическом захвате;

$S = \frac{F_V(V_{куб} + H + V_{ом})}{V_{ом}F_V + V_{куб} + H \frac{F_V - 1}{\ln F_V}}$ – степень концентрирования; $X_{ср}$ – средняя концентрация примеси

в колонне на момент отбора. Значение возмущенного фактора разделения F_V вычисляли по уравнению [4]:

$$F_V = \frac{\left(\ln(F_b X_{куб} + 1 - X_{куб}) - \ln\left(F_b^{\frac{H-V_{ом}}{H}} X_{куб} + 1 - X_{куб}\right) \right) (1 - X_{куб})}{\left(\ln F_b - \ln F_b^{\frac{H-V_{ом}}{H}} - \ln(F_b X_{куб} + 1 - X_{куб}) + \ln\left(F_b^{\frac{H-V_{ом}}{H}} X_{куб} + 1 - X_{куб}\right) \right) X_{куб}}, \quad (5)$$

где F_b – фактор, рассчитанный по уравнению

$$F_b = \frac{F_0 \left(\exp \frac{t}{K} - 1 \right) + 1}{\exp \frac{t}{K}}.$$

В последнем уравнении константу K рассчитывали по уравнению

$$K = \frac{\alpha \left(V_{ом} (F_0 - 1) + H \left(\frac{F_0 - 1}{\ln F_0} - 1 \right) \right)}{L(\alpha - 1)},$$

а фактор в стационарном безотборном режиме F_0 :

$$F_0 = \alpha^N,$$

где N – число теоретических тарелок.

Среднюю концентрацию $X_{ср}$ рассчитывали по уравнению

$$X_{ср} = \frac{1}{V_{куб} + V_{ом} + H} \left((V_{куб} + H) X_{куб} + V_{ом} X_{от} + H (X_{от} - V_{куб}) \left(\frac{1}{\ln S} - \frac{1}{S - 1} \right) \right).$$

Уравнение (5) позволяет рассчитать возмущенный фактор разделения, возникающий в колонне сразу после отбора динамического захвата дефлегматора. Из уравнения (5) видно, что после отбора фактор в колонне уменьшается, а далее в процессе работы колонны вновь увеличивается. Для расчета времени, которое требуется для возврата фактора разделения к заданному значению, использовали уравнение Бабкова-Жаворонкова.

Для определения характера изменения распределения концентрации SiHCl_3 по колонне от отбора к отбору в случае работы в режиме дискретного отбора концентрата SiHCl_3 из верхней отборной точки при достижении в ней заданных концентраций представленные уравнения необходимо использовать совместно с уравнением материального баланса.

Тогда система уравнений для расчета кинетики глубокой очистки будет иметь вид

$$\begin{aligned}
X_3 &= \frac{\ln(1 + X_{\text{куб}}(F-1))}{\ln F}, \\
X_0 V_0 &= X_{\text{куб}} V_{\text{куб}} + X_3 H + X_{\text{ом}} V_{\text{ом}}, \\
V_{\text{куб}} &= V_0 - H - V_0 n, \\
t &= \frac{\alpha}{L(\alpha-1)} \left[H \left(\frac{S-1}{\ln S} \right) + V_{\text{куб}} (S-1) \right] \ln \frac{S - \frac{X_{\text{ом}1}}{x_{\text{cp}}}}{S - \frac{X_{\text{ом}2}}{x_{\text{cp}}}}, \\
S &= \frac{F_V (V_{\text{куб}} + H + V_{\text{ом}})}{V_{\text{ом}} F_V + V_{\text{куб}} + H \frac{F_V - 1}{\ln F_V}}, \\
F_V &= \frac{\left(\ln(F_b X_{\text{куб}} + 1 - X_{\text{куб}}) - \ln \left(F_b^{\frac{H-V_{\text{ом}}}{H}} X_{\text{куб}} + 1 - X_{\text{куб}} \right) \right) (X_{\text{куб}} - 1)}{\left(\ln F_b - \ln F_b^{\frac{H-V_{\text{ом}}}{H}} - \ln(F_b X_{\text{куб}} + 1 - X_{\text{куб}}) + \ln \left(F_b^{\frac{H-V_{\text{ом}}}{H}} X_{\text{куб}} + 1 - X_{\text{куб}} \right) \right) X_{\text{куб}}}, \\
F_b &= \frac{F_0 \left(\exp \frac{t}{K} - 1 \right) + 1}{\exp \frac{t}{K}}, \\
K &= \frac{\alpha \left(V_{\text{ом}} (F_0 - 1) + H \left(\frac{F_0 - 1}{\ln F_0} - 1 \right) \right)}{L(\alpha-1)}, \\
X_{\text{cp}} &= \frac{1}{V_{\text{куб}} + V_{\text{ом}} + H} \left((V_{\text{куб}} + H) X_{\text{куб}} + V_{\text{ом}} X_{\text{ом}} + H (X_{\text{ом}} - X_{\text{куб}}) \left(\frac{1}{\ln S} - \frac{1}{S-1} \right) \right).
\end{aligned} \tag{6}$$

Параметрами системы уравнений (6) являются конструкционные особенности ректификационной колонны, характеристики насадки, объем исходной загрузки и время работы колонны до первого отбора и между отборами, а также фиксированный выход целевого продукта, задаваемый количеством отборов n или достижением определенной концентрации примеси в среднем питающем резервуаре, концентрации и объемом отборов примесных фракций $V_{\text{от}}$. Искомыми величинами являются концентрации SiHCl_3 в среднем питающем резервуаре $x_{\text{куб}}$ и в отборной точке $x_{\text{д}}$.

Решение системы (6) проводили численным методом [5]. Блок-схема программы приведена на рис. 2.

При выборе рациональных параметров глубокой очистки четыреххлористого кремния методом ректификации руководствовались принципом максимальной глубины очистки при минимальных потерях целевого продукта, изменяя время проведения процесса за счет времени до первого отбора примесной фракции и количество отборов n .

Алгоритм работы программы состоит в нахождении концентрации примесного компонента в среднем питающем резервуаре колонны и верхней отборной точке после каждого отбора обогащенных примесями фракций через равные интервалы времени t_2 , зависящие от

времени работы колонны до первого отбора t_1 и соотношения объемов динамической задержки дефлегматора V_d , отобранного объема $V_{от}$ и захвата разделительной секции H .

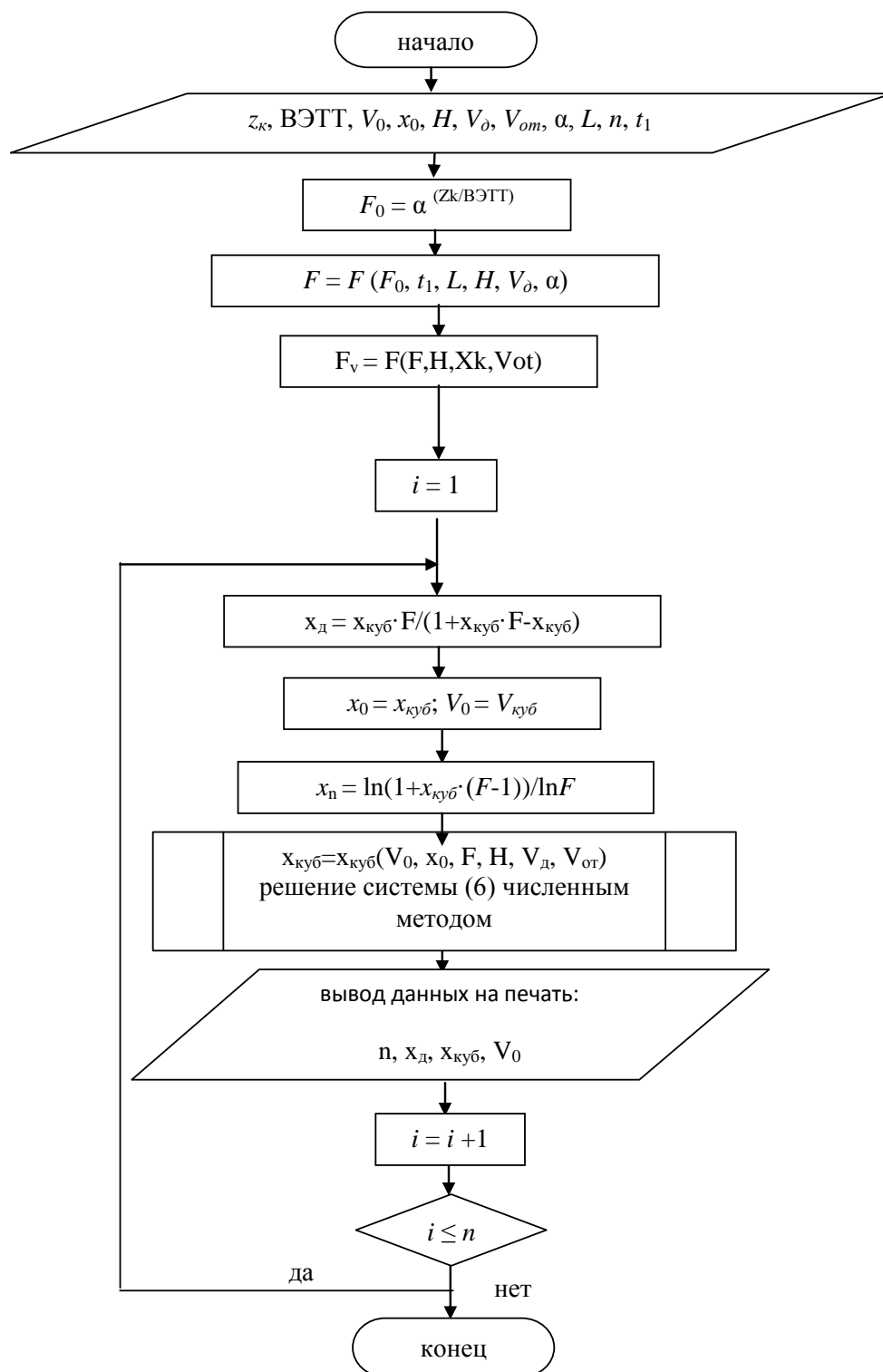


Рис. 2. Блок-схема расчета кинетики глубокой очистки тетрахлорида кремния в колонне с верхним кубом

Для проверки модели результаты расчетов сравнивали с экспериментально полученными данными на модельной установке очистки тетрахлорида кремния. Для этого провели разделение системы тетрахлорид кремния – трихлорсилан ($\alpha=2,6$). Начальное содержание

примеси трихлорсилана было 10%. Начальный объем смеси – 300 л. Количество жидкости в захвате от 1,5 до 3,5 л. Время между отборами – 3 часа. Расчет проводили до достижения концентрации примеси в среднем питающем резервуаре менее 1 ppm. Продолжительность работы колонны совпала с расчетной с точностью до 10%.

На рис. 3 и рис. 4 представлены расчетные и экспериментальные зависимости фактора разделения и концентрации примеси в кубе от времени при различных динамических объемах задержки в верхней части колонны.

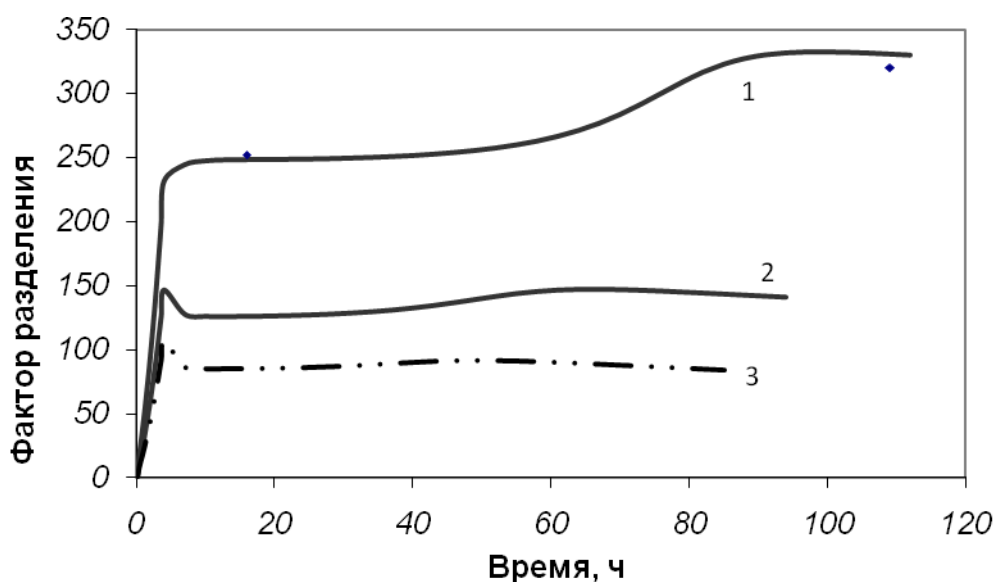


Рис. 3. Зависимость фактора разделения ректификационной колонны от времени работы колонны: линия – расчетные данные для верхнего динамического захвата 1,5 л (1), 2,5 л (2) и 3,5 л (3); точки – экспериментальные данные

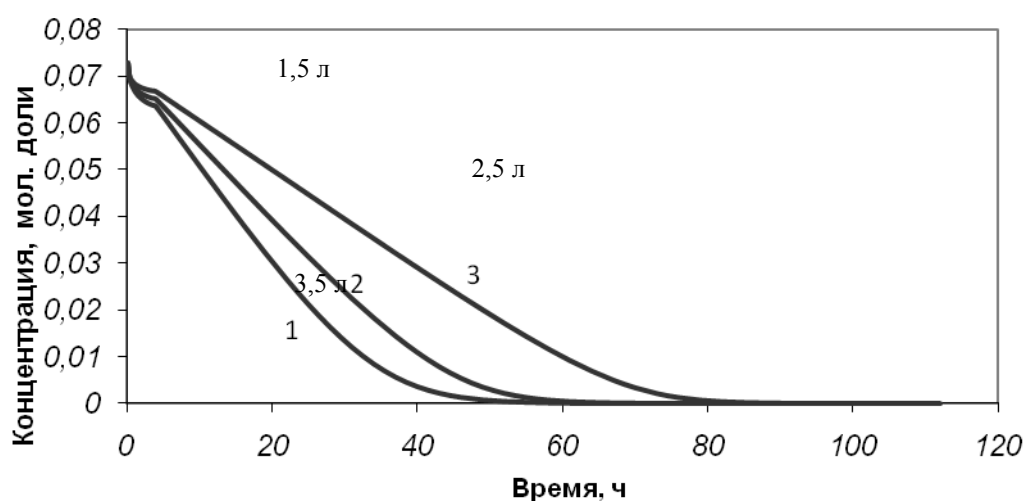


Рис. 4. Зависимость концентрации примеси в среднем питающем резервуаре от времени работы колонны: расчетные данные для верхнего динамического захвата 1,5 л (1), 2,5 л (2) и 3,5 л (3)

Из рис. 3 и рис. 4 в видно, что с увеличением количества отбора из верхнего резервуара значение фактора разделения уменьшается, а время достижения нужной концентрации примеси увеличивается.

На рис. 5 представлены результаты расчета производительности процесса ректификации при различных объемах динамической задержки дефлегматора при фиксированном суммарном объеме отобранных фракций.

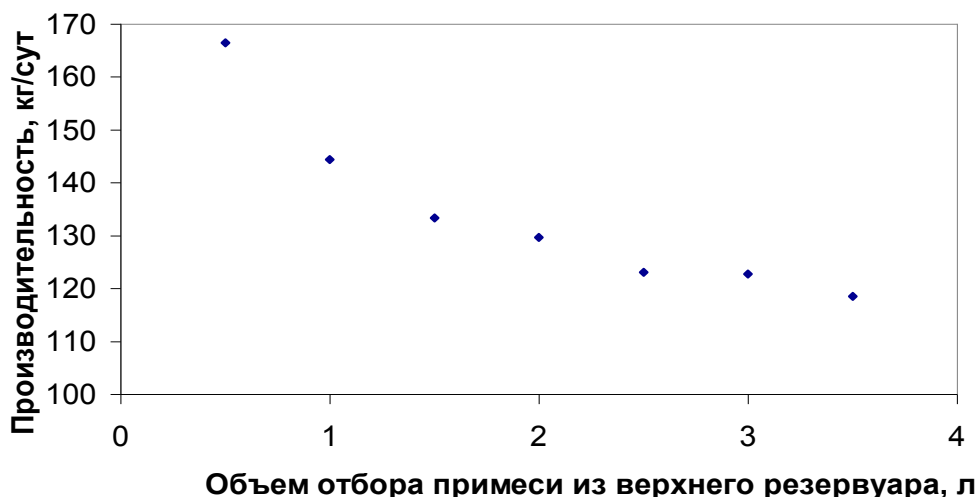


Рис. 5. Зависимость производительности ректификационной колонны от объема отбора примесной фракции из верхнего резервуара

В табл. 1 представлены результаты анализа исходного и очищенного тетрагидрида кремния.

Таблица 1

Примесный состав тетрагидрида кремния, полученного путем диспропорционирования трихлорсилана (сырец) и дополнительно очищенного на ректификационной колонне (ОСЧ), мол. %

Продукт	SiCl ₄	SiH ₂ Cl ₂	SiHCl ₃	УВ C ₁ -C ₆	Дихлорметан	Бензол
Сырец	84,9753	0,02	15	0,0004	0,0024	0,0019
ОСЧ	99,9985	<0,0005	<0,0005	<0,0001	<0,0001	0,0003

Библиографический список

1. **Воротынцев, В.М.** Базовые процессы микро- и нанoeлектроники / В.М. Воротынцев, В.А. Перевощиков, В.Д. Скупов; НГТУ. – Н. Новгород. 2006. – 358 с.
2. Кинетика глубокой очистки тетрагидрида кремния методом ректификации на колонне со средним питающим резервуаром / Г. М. Мочалов [и др.] // Высококачественные вещества и материалы. Получение, анализ, применение: тез. докладов XIII Всероссийской конференции. – Н.Новгород. – 28-31 мая 2007 г. С. 86.
3. **Стрельцов, Л. В.** Уравнение нестационарного процесса ректификации с полным возвратом флегмы и периодическим отбором куба / Л. В. Стрельцов, Я. Д. Зельвенский, Н. М. Жаворонков // Теоретические основы химической технологии. 1968. Т. 2. № 6. С. 863–868.
4. Кинетика процесса концентрирования и глубокой очистки дихлорсилана методом периодической ректификации в режиме дискретного отбора / В.М. Воротынцев [и др.] // Теоретические основы химической технологии. 2008. Т. 42. № 2. С. 208–213.

5. Кинетика выделения дихлорсилана из смеси хлорсиланов методом ректификации с использованием регулярной насадки / В.М. Воротынцев [и др.] // Теоретические основы химической технологии. 2004. Т. 38. № 4. С. 355–360.

*Дата поступления
в редакцию 07.07.2010*

S.S. Suvorov, I.V. Kozyrev

THE PROCESS MODELING OF SILICON TETRACHLORIDE RECTIFICATION

The math modeling of silicon tetrachloride rectification was carried out. The block-scheme of calculation of kinetic of silicon tetrachloride by column with upper reservoir.

Key words: silicon tetrachloride, high purification, rectification, modeling.

УДК 621.357

С.В. Плохов¹, Ю.В. Велиева², Р.А. Корнев²**ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕДИ (II) ИЗ ОТРАБОТАННЫХ РАСТВОРОВ ХИМИЧЕСКОГО МЕДНЕНИЯ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
ФГУП «Нижегородский завод имени М.В. Фрунзе»²

Выявлено деполаризующее совместное действие ЭДТА, анионов тартрата и формальдегида на электроосаждение металла из растворов химического меднения. Показано, что электровосстановление ионов меди протекает с диффузионным контролем. Определены оптимальные режимы электроосаждения металла.

Ключевые слова: полилигандный комплекс, химическая металлизация, кинетические закономерности, электровосстановление, деполаризация.

Недостатком промышленного использования тартратно-трилонатных растворов химического меднения для металлизации отверстий печатных плат является большое количество отходов в виде отработанных электролитов и промывочных растворов.

Анализ различных методов очистки водных растворов от ионов осаждаемых металлов показал [1-4], что каждый из них, наряду с достоинствами, имеет недостатки, которые снижают эффективность извлечения и переработки ионов металлов. Поэтому целесообразно разрабатывать комплексные способы обработки растворов, содержащих медь (II), основанные на совместном использовании двух или нескольких методов очистки. Имеются работы [5,6], указывающие на перспективность совместного использования ионного обмена и электролиза для извлечения Cu(II) из промывных вод после гальванического меднения. Однако составы растворов и промывных вод химического и гальванического меднения принципиально различаются.

Кинетические закономерности электровосстановления ионов меди (II) из щелочных растворов в присутствии одновременно нескольких лигандов (гидроксида, трилона и тартрата), а также восстановителя (например, формальдегида) в научной литературе не освещены.

Целью данной работы являлось установление кинетических и технологических особенностей, а также определение оптимального режима электрохимического извлечения Cu(II) из отработанных растворов щелочного химического меднения.

Отработанные растворы щелочного меднения обычно содержат в г/л [7]: CuSO₄·5H₂O (в пересчёте на металл) – до 5,1; формальдегид – 15-20; K,Na-виннокислый – 120-125; трилон Б-20-25; муравьинокислый натрий – до 40; метиловый спирт – до 2,0.

Закономерности электровосстановления меди из растворов такого состава устанавливали с применением потенциодинамического, температурно-кинетического методов, методов вращающегося дискового электрода и парциальных потенциостатических кривых.

Ранее авторами [8] методами pH – метрического титрования, спектрофотометрии, ЯМР – спектроскопии и расчётами ионных равновесий через константы диссоциации было показано, что в щелочных гидрокси-тартратно-трилонатных растворах медь находится одновременно в виде двух полилигандных комплексов с мольными отношениями [Cu(II)]:[OH⁻]:[tart²⁻]:[Y⁴⁻] = 1:1:1:1 и [Cu(II)]:[OH⁻]:[Y⁴⁻] = 1:1:1. Для устранения влияния подложки потенциодинамические измерения проводили на медных образцах площадью 2 см², предварительно подготовленных по стандартной методике. Плотности тока рассчитывали на геометрическую поверхность рабочего электрода, поскольку существенного увеличения поверхности визуально не наблюдалось. Вид катодных потенциодинамических кривых, полученных в растворах различного состава, указывает на деполаризующее действие совместного присутствия в растворе тартрата и трилона Б в процессе электровосстановления анионов меди (рис.

1, кривые 1-3), по сравнению с процессом электровосстановления анионов меди из монолигандных электролитов. Деполяризация может быть вызвана ослаблением связей металл-лиганд в комплексных анионах более сложного состава. Различие в предельных плотностях тока между электровосстановлением меди из двух- и трёхлигандных комплексов вызвано различными коэффициентами диффузии разряжающихся анионов. Электроосаждение меди в трёхлигандном растворе (рис. 1, кривая 3), по-видимому, происходит из комплексного аниона $[\text{Cu}(\text{OH})\text{tartY}]^{5-}$, поскольку оно существенно отличается от электроосаждения из гидроксотрилонатного комплекса (рис. 1 кривая 1).

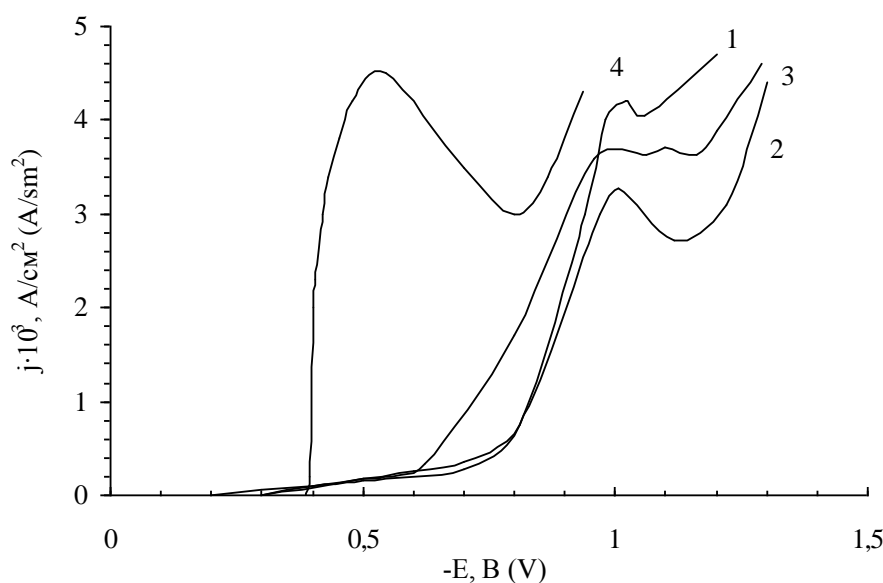


Рис. 1. Катодные потенциодинамические кривые:
 скорость развертки $2 \cdot 10^{-3}$ В/с. Составы растворов, г/л: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
 (в пересчете на Cu^{2+})-5,1 (1-4); трилон Б-25 (1,3,4) и 0 (2), К, Na – виннокислый – 125 (2-4)
 и 0 (1); формальдегид - 0 (1-3) и 20 (4)

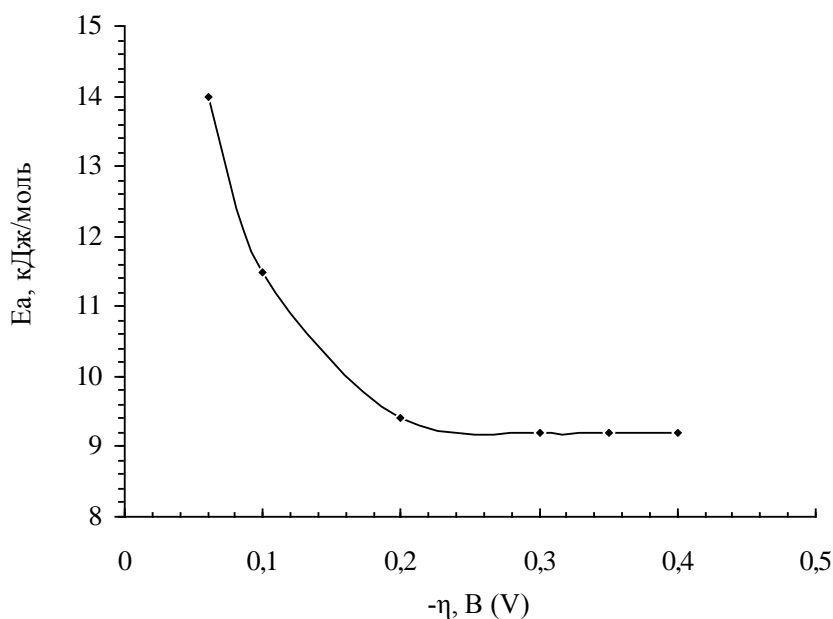
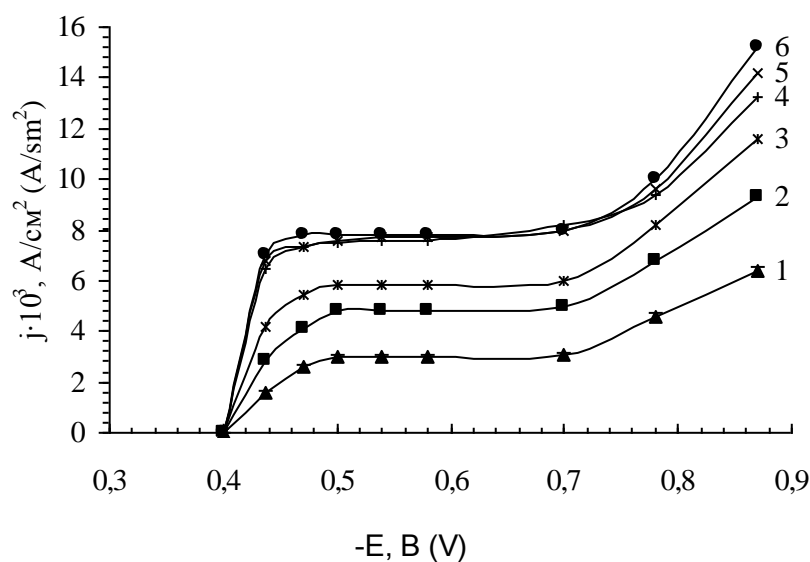
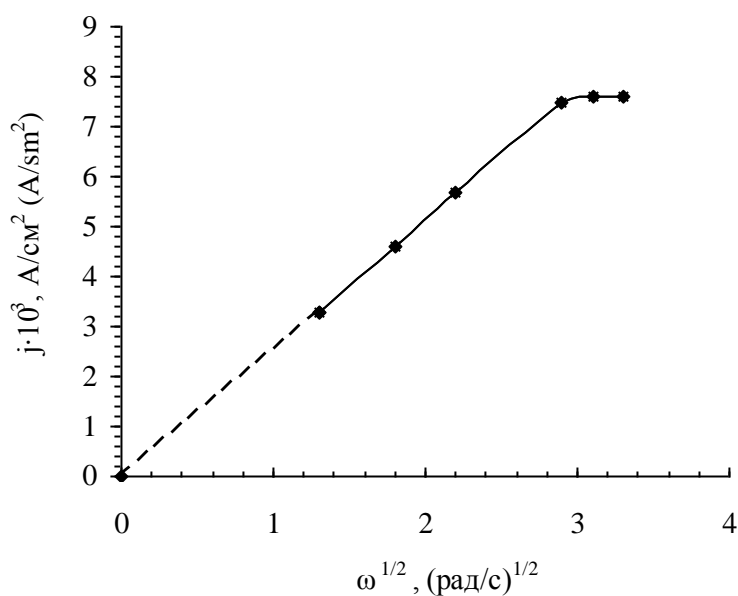


Рис. 2. Зависимость эффективной энергии активации от поляризации:
 температура раствора, $^{\circ}\text{C}$: 1-16; 2-30; 3-40; 4-50; 5-55. Состав электролита, г/л: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
 (в пересчете на Cu^{2+})-5,1; К, Na – виннокислый – 125;
 трилон Б-25; HCOONa -40; CH_3OH -2,0; формальдегид-20



а)



б)

Рис. 3. Зависимость катодной плотности тока от потенциала (а) и $j_{пр}$ от $\omega^{1/2}$ (б) в отработанном растворе химического меднения:

скорость вращения электрода, об/мин: 1-300; 2-600; 3-900; 4-1600; 5-1800; 6-2000. Состав раствора, г/л: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (в пересчете на Cu^{2+})-5,1; К, Na – виннокислый – 125; трилон Б-25; HCOONa -40; CH_3OH -2,0; формальдегид-20

Ещё более высокая деполяризация наблюдается при введении в трёхлигандный раствор меднения формальдегида (рис. 1, кривая 4). Одной из возможных причин этого эффекта может быть диссоциация восстановителя, приводящая к образованию анионов метиленгликоля и их специфической адсорбции на катодной поверхности с увеличением её отрицательного заряда, способствует более лёгкому вхождению ионов Cu^{2+} в плотную часть двойного электрического слоя и отщеплению лигандов. Известно [9], что электровосстановление сложных комплексов происходит с замедленной стадией разряда или химической реакции

частичной диссоциации комплексного иона. Однако дополнительное комплексообразование и специфическая адсорбция метиленгликоля могут существенно ускорять эти стадии, переводя реакцию в область диффузионной кинетики.

Природу лимитирующей стадии электроосаждения меди определяли температурно-кинетическим методом и с помощью вращающегося дискового электрода. Низкие значения эффективной энергии активации (меньше 14 кДж/моль) и её независимость от поляризации (9,0-9,5 кДж/моль) в области предельной плотности тока ($j_{пр}$), наблюдавшиеся при температурно-кинетических измерениях [10] в интервале температур от 15 до 60^oC, указывают на диффузионный контроль процесса электровосстановления ионов меди (II).

В качестве примера на рис. 2 представлена зависимость эффективной энергии активации от поляризации при электровосстановлении меди (II) в отработанном растворе следующего состава, в г/л: CuSO₄·5H₂O (в пересчёте на Cu²⁺) – 5,1; K,Na – виннокислый – 125; трилон Б- 25; HCOONa – 40; CH₃OH -2,0; формальдегид - 20.

Возрастание плотности тока при любых потенциалах электровосстановления Cu(II) с ростом скорости вращения дискового катода (ω) до 1600 об/мин (рис. 3, а) и прямолинейная зависимость $j_{пр}$ от $\omega^{1/2}$ с экстраполяцией в начало координат при различных значениях поляризации (рис. 3, б) подтверждают, что затруднения процесса электроосаждения металла вызваны подводом комплексных анионов Cu(II) из объёма раствора к поверхности электрода [11].

Установленные закономерности и электролиз, проведённый в различных условиях, позволили рекомендовать следующий режим извлечения металла: плотность тока 0,15±0,05 А/дм² (увеличивается при перемешивании); соотношение катодной (медь) и анодной (ОРГА) площадей 1:1; температура раствора 20±5^oC; межэлектродное расстояние –2,5 см и напряжение на электролизёре около – 0,9 В. Остаточная концентрация Cu (II) в растворе 0,65±0,05 г/л, достигается за 52 часа при выходе по току меди с учётом химической металлизации 45-150% и удельном расходе электроэнергии 2,5 кВт·ч/кг. Раствор после электролиза направляют на ионообменную доочистку, элюаты после которой вновь подвергают электролизу. Получаемая металлическая медь может быть использована в качестве анодного материала, в металлургическом производстве или для производства лакокрасочных пигментов.

Библиографический список

1. **Тураев, Д.Ю.** Регенерация раствора химического осаждения меди / Д.Ю. Тураев, С.С. Кругликов // Прикладная химия. 2005. Т. 78. Вып. 4. С. 586-590.
2. **Бойчинова, Е.С.** Исследование кинетики сорбции ионов меди (II), кобальта (II), никеля (II) на «алюмопирофосфате» циркония, на органических амфолитах и анионите АН – 31 / Е.С. Бойчинова, Р.Г. Сафина // Журнал прикладной химии. 1989. №8. С. 1747-1751.
3. **Плохов, С.В.** Рекуперация ионов металла промывных вод кислого меднения методами ионного обмена и электролиза / С.В. Плохов, М.Г. Михаленко // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2002. Т. 45. №4. С. 161-163.
4. **Виноградов С.С.** Экологически безопасное гальваническое производство / С.С. Виноградов; под ред. проф. В.Н. Кудрявцева. – М.: Глобус. 1998. – 302 с.
5. Извлечение ионов меди из промывных вод сернокислого меднения / В.И. Торунова [и др.] // Экология и промышленность России. 1999. № 5. С. 35-37
6. **Плохов, С.В.** Физико-химические закономерности редуцирования ионов тяжёлых металлов из низкоконцентрированных водных растворов электрохимических производств: дисс.... докт. техн. наук. – Н. Новгород, 2003. – 376 с.
7. Причины снижения работоспособности трилонатных растворов химического меднения / С.В. Пишин [и др.] // Защита металлов. 1983. Т. 19. Вып. 4. С. 636-639.
8. **Велиева, Ю.В.** Особенности комплексообразования ионов Cu(II) в щелочных тартратно-трилонатных растворах химической металлизации / Ю.В. Велиева, С.В. Плохов, Р.А. Корнев. – Н. Новгород, 2010. – Деп. в ВИНТИ 30.04.2010. №237-В2010.

9. **Галюс, З.** Теоретические основы электрохимического анализа / З.Галюс. – М.: Мир, 1974. – 552 с.
10. **Антропов, Л.И.** Теоретическая электрохимия / Л.И. Антропов. – М.: Высш. шк., 1965. – 509 с.
11. **Плесков, Ю.В.** Вращающийся дисковый электрод / Ю.В. Плесков, В.Ю. Филиновский. – М.: Наука, 1972. – 344 с.

*Дата поступления
в редакцию 07.07.2010*

S. V. Plohov, Yu. V. Velieva, R. A. Kornev

ELECTROCHEMICAL RECOVERY OF COPPER FROM THE SPENT ELECTROLESS COPPER PLATING SOLUTIONS

Depolarization joint action of EDTA, tartrate and formaldehyde anions on the metal electrodeposition from electroless copper plating solutions have been revealed. It has been shown that ions copper electroreduction proceeds with the diffusion control. Optimal parameters of metal electrodeposition have been developed

Key words: polyligand complex, electroless metallization, kinetic characteristic, electroreduction, depolarization.

УДК 621.315.592:546.286

Т.Н. Смыслова, С.В. Ивин, Л.К. Орлов

**АДСОРБЦИОННЫЕ И КИНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОЛЕКУЛ
МОНОСИЛАНА НА РОСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ Si(100) В УСЛОВИЯХ
ФОРМИРОВАНИЯ ДВОЙНЫХ СВЯЗЕЙ РАДИКАЛОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ**

Институт физики микроструктур РАН

Получены аналитические выражения, связывающие скорость встраивания атомов кремния в растущий кристалл с характерной частотой пиролиза молекул моносилана на поверхности кремния в диапазоне температур, соответствующих эпитаксиальному росту пленок Si(100).

Ключевые слова: моносилан, поверхность, скорость роста, пиролиз, частота диссоциации.

Решение проблемы получения высококачественных приборных кремниевых структур при гомо- и гетероэпитаксии в методе вакуумной химической эпитаксии требует осуществления в процессе роста прецизионного контроля процессов, протекающих на ростовой поверхности. Разработка соответствующих методов контроля, однако, невозможна без детального понимания физико-химических явлений, протекающих на эпитаксиальной поверхности роста. Необходимый минимум знаний предполагает наличие знания о конкретных путях распада молекул, т.е. типе, скоростях и энергиях активации реакций, протекающих на поверхности, значениях концентраций и временах жизни продуктов пиролиза на горячей поверхности.

Ясное понимание кинетики поверхностных реакций и знание соответствующих кинетических коэффициентов позволяет проводить расчет скоростей протекания физико-химических процессов и анализ концентраций продуктов пиролиза на ростовой поверхности. Данные, полученные в результате проведения кинетического анализа и расчета энергетического спектра радикалов молекул, адсорбируемых поверхностью, можно использовать как для прогнозирования толщины и состава получаемых в процессе эпитаксиального роста слоев, так и с целью повышения скорости протекания поверхностных физико-химических реакций, а соответственно и скорости роста пленок. Последнее является весьма актуальным при проведении низкотемпературного ростового процесса в методе вакуумной эпитаксии из газовой фазы.

Многочисленные исследования особенностей ростового гидридного процесса, проведенные разными методами, показали, что значительное уменьшение скорости роста пленок кремния при пониженной температуре эпитаксии связано исключительно с эффектом заполнения поверхностных связей продуктами распада гидридов, в частности, водородом. В конечном счете, падение скорости роста пленок связано с особенностями пиролиза молекул гидридов на ростовой поверхности. Разрабатываемые кинетические модели позволяют описывать физико-химические процессы на ростовой поверхности и определять области допустимых значений параметров, отвечающих за рост пленок. Развиваемые модели, основываясь на использовании конкретных данных технологических экспериментов, позволяют уточнять, а в ряде случаев, и определить значения кинетических коэффициентов, например, таких как скорость распада молекул, префакторы и энергии активации процессов десорбции и адсорбции, коэффициенты кристаллизации, имеющих фундаментальное значение.

Далее мы обсудим наиболее часто рассматриваемые схемы распада моносилана, базирующиеся, в общем случае, на решении системы уравнений баланса [1, 2], но, в отличие от ранее выполненных работ [2-6], рассмотрим ситуацию, когда адсорбируемые атомы и молекулы образуют не одиночные, как предполагалось ранее, а двойные связи с поверхностью.

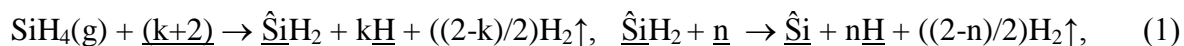
Основываясь на структуре поверхностных связей атомов в кристалле, можно предположить, что рассматриваемая в работе ситуация вполне реализуема на поверхности кремния, вырезанном в направлении (100), где каждый атом кремния на поверхности имеет две свободные болтающиеся связи [7].

Развиваемая кинетическая модель процессов роста базируется на общепринятых представлениях и включает в себя различные стадии ростового процесса в условиях молекулярного течения газов: адсорбцию молекул ростовой поверхностью, их пиролиз и процессы десорбции, процессы кристаллизации и сегрегации. Введение временных производных в исходную систему уравнений позволяет рассматривать нестационарную кинетику роста и исследовать динамику протекания физико-химических процессов на ростовой поверхности. Развиваемые модели позволяют активно использовать данные технологических экспериментов и реальные технологические зависимости для вычисления кинетических коэффициентов, таких как частоты распада радикалов молекул, адсорбируемых поверхностью, энергии активации процессов пиролиза и десорбции, коэффициенты кристаллизации.

Решение поставленной ранее задачи проводилось путем решения системы кинетических уравнений, связывающих безразмерные концентрации θ_i атомов и молекул, адсорбируемых ростовой поверхностью, с атомарными и молекулярными потоками веществ, поступающих к подложке, и с температурой последней. Для достижения поставленных целей наибольший интерес представляет определение поверхностных концентраций продуктов распада гидридов, а также определение либо уточнение констант, входящих в кинетические уравнения и ответственных за скорость протекания того или иного процесса на поверхности роста. Окончательный выбор рабочей системы уравнений, используемой для анализа процесса пиролиза и кристаллизации, в общем случае определяется составом либо видом используемых газов, а также выбором конкретной схемы их распада и способа десорбции водорода с поверхности. Общая система уравнений, описывающая кинетику распада гидридов на поверхности эпитаксиальной пленки, подчиняется общей схеме, по которой записываются кинетические уравнения в физической химии [8]. В самом общем случае система содержит большое число уравнений, задаваемых типом поверхностных реакций с чаще всего неизвестными кинетическими коэффициентами, в свою очередь, требующих доопределения методами квантовой химии либо непосредственно из эксперимента.

Возможные обсуждаемые в литературе схемы пиролиза молекул силана на ростовой поверхности рассматривались в работах [1, 3, 5]. Далее мы рассмотрим только простейшие модели распада моносилана. Наиболее часто при анализе ростовых процессов предполагается, что лимитирующим время распада молекулы процессом является пиролиз молекулы силана SiH_3 [2, 4, 6], вследствие чего всеми остальными процессами и взаимодействиями на поверхности роста пренебрегается.

Если основным радикалом силана, адсорбируемым поверхностью, выступает молекула SiH_2 с двумя свободными ковалентными связями, то она вполне может находиться на поверхности кристалла, занимая не одну, как рассматривалось ранее [1-6], а две позиции [7]. В настоящей работе это предположение выбрано в качестве рабочей гипотезы, на основе которой записана система кинетических уравнений. Последняя строится на базе следующих физико-химических реакций для $j = 2$:



где символ $\hat{\text{Si}}$ ($\hat{\text{SiH}}_2$) обозначает адатом кремния (радикал молекулы силана), связываемый с поверхностью двумя ковалентными связями, индексы $k, n = 0 \div 2$ – показывают, на какой ступени процесса пиролиза и с какой эффективностью происходит захват водорода поверхностью. Соответствующая система кинетических уравнений для безразмерных поверхностных концентраций продуктов в стационарном пределе в этом случае принимает вид

$$\begin{aligned}
 0 &= (k+2)!(S_{SiH_4}F_{SiH_4}/n_s)(\theta_{nbl})^{k+2} - (n+2)!v_{SiH_2}(\theta_{SiH_2})^2(\theta_{fr})^n, \quad \theta_{nbl} = \theta_{fr} - 2\theta_{SiH_2}, \\
 0 &= k \cdot (k+2)!(S_{SiH_4}F_{SiH_4}/n_s)(\theta_{nbl})^{k+2} + n \cdot (n+2)!v_{SiH_2}(\theta_{SiH_2})^2(\theta_{fr})^n - \gamma \cdot \theta_H, \\
 0 &= (n+2)!v_{SiH_2}(\theta_{SiH_2})^2(\theta_{fr})^n - 2r_{Si}(\theta_{Si})^2, \quad 2\theta_{SiH_2} + 2\theta_{Si} + \theta_H + \theta_{fr} = 1,
 \end{aligned} \tag{2}$$

где θ_{SiH_2} , θ_{Si} , θ_H – безразмерные (отнесенные к концентрации поверхностных связей $n_s = 6.78 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$) концентрации радикалов SiH_2 , атомов кремния и водорода на поверхности роста; v_{SiH_2} – скорости распада радикалов силана на поверхности, γ – коэффициент десорбции водорода; r_{Si} – коэффициент встраивания атомов кремния в решетку кристалла; θ_{bl} , θ_{nbl} – концентрация заблокированных и неблокированных свободных θ_{fr} связей. Факториальные множители соответствуют числу перестановок, то есть числу возможных конфигураций мест, на которые можно посадить адсорбируемые молекулы (атомы).

Исключая из системы уравнений (2) поверхностные концентрации, нетрудно найти соотношение, связывающее частоту распада радикала моносилана v_{SiH_2} со скоростью кристаллизации r_{Si} :

$$v_{SiH_2} = 2^{n+2} \alpha / \{(n+2)![\gamma - (\alpha/2r_{Si})^{1/2}]^2 [\gamma + 2\beta^{1/(k+2)} - 3(\alpha/2r_{Si})^{1/2}]^n\}. \tag{3}$$

Коэффициенты в (3) равны:

$$\alpha = V_{gr}/I_0; \quad \beta = \theta_{nbl}^{(k+2)} = \alpha / ((k+2)! S_{SiH_4} F_{SiH_4} / n_s); \quad \gamma = (1 - \beta^{1/(k+2)} - \theta_H), \tag{4}$$

где V_{gr} ($\text{\AA}/\text{с}$), $I_0 = 1.23 \text{\AA}$. Безразмерные значения концентрации продуктов распада и плотность свободных поверхностных связей соответственно равны

$$\theta_{Si} = (\alpha/2r_{Si})^{1/2}; \quad \theta_{SiH_2} = (\gamma - (\alpha/2r_{Si})^{0.5})/4; \quad \theta_{fr} = 1 - 2\theta_{SiH_2} - 2\theta_{Si} - \theta_H. \tag{5}$$

Из уравнения (3) нетрудно установить асимптотики поведения кривой $v_{SiH_2}(r_{Si})$. В реальной ситуации коэффициент кристаллизации r_{Si} велик. Если r_{Si} стремится к ∞ , то нетрудно найти минимальное значение частоты распада молекул:

$$\tilde{v}_{SiH_2} = 2^{n+2} \alpha / \{(n+2)! \gamma^2 [\gamma + 2\beta^{1/(k+2)}]^n\}. \tag{6}$$

Величина \tilde{v}_{SiH_2} является функцией всех параметров задачи, включая выбор модели распада и характер заполнения поверхности водородом. Формула (6) показывает зависимость скорости роста пленки от величины \tilde{v}_{SiH_2} и позволяет оценить значение скорости распада моносилана на поверхности роста в условиях высокой скорости встраивания в решетку кристалла диффундирующих по поверхности атомов кремния.

Чтобы понять, какие решения реально допустимы в эксперименте, рассмотрим характерный вид зависимостей коэффициента встраивания и безразмерных поверхностных концентраций атомов кремния и радикалов молекулы силана от скорости ее распада для ряда наиболее интересных моделей системы. Расчет проведем, используя формулы (3,5) при температуре роста пленки 450°C для различных значений параметров ($j=2, k, n$), соответствующих разным способам захвата поверхностью высвобождающегося из молекулы водорода. Ситуация с $(k, n) = (2, 0)$ описывает адсорбцию водорода на первой стадии процесса пиролиза, ситуация с $(k, n) = (0, 2)$ – адсорбцию водорода на второй стадии процесса. Ситуация с $(k, n) = (1, 1)$ соответствует тому, что атомы водорода в результате разрыва связей в молекуле не сразу переходят в свободное состояние, а сначала переходят в связанное состояние на поверхности, а затем в процессе диффузии они объединяются в молекулу водорода, десорбируя с поверхности.

Такая ситуация может оказаться более предпочтительной, так как энергия указанного перехода атома водорода существенно меньше энергии связи его в молекуле. Решение, соот-

ветствующее захвату поверхности всех атомов водорода $(k,n) = (2,2)$, отсутствует. Характерный вид зависимостей $r_{Si}(v_{SiH_2}^0)$ представлен на рис. 1, а. На рис. 1, б, в приведены соответствующие значения поверхностных концентраций θ_{Si} и θ_{SiH_2} . При высоких значениях коэффициента встраивания, соответствующего низкому уровню заполнения поверхностных связей адатомами кремния, а именно такая ситуация наиболее близко соответствует реальному эксперименту.

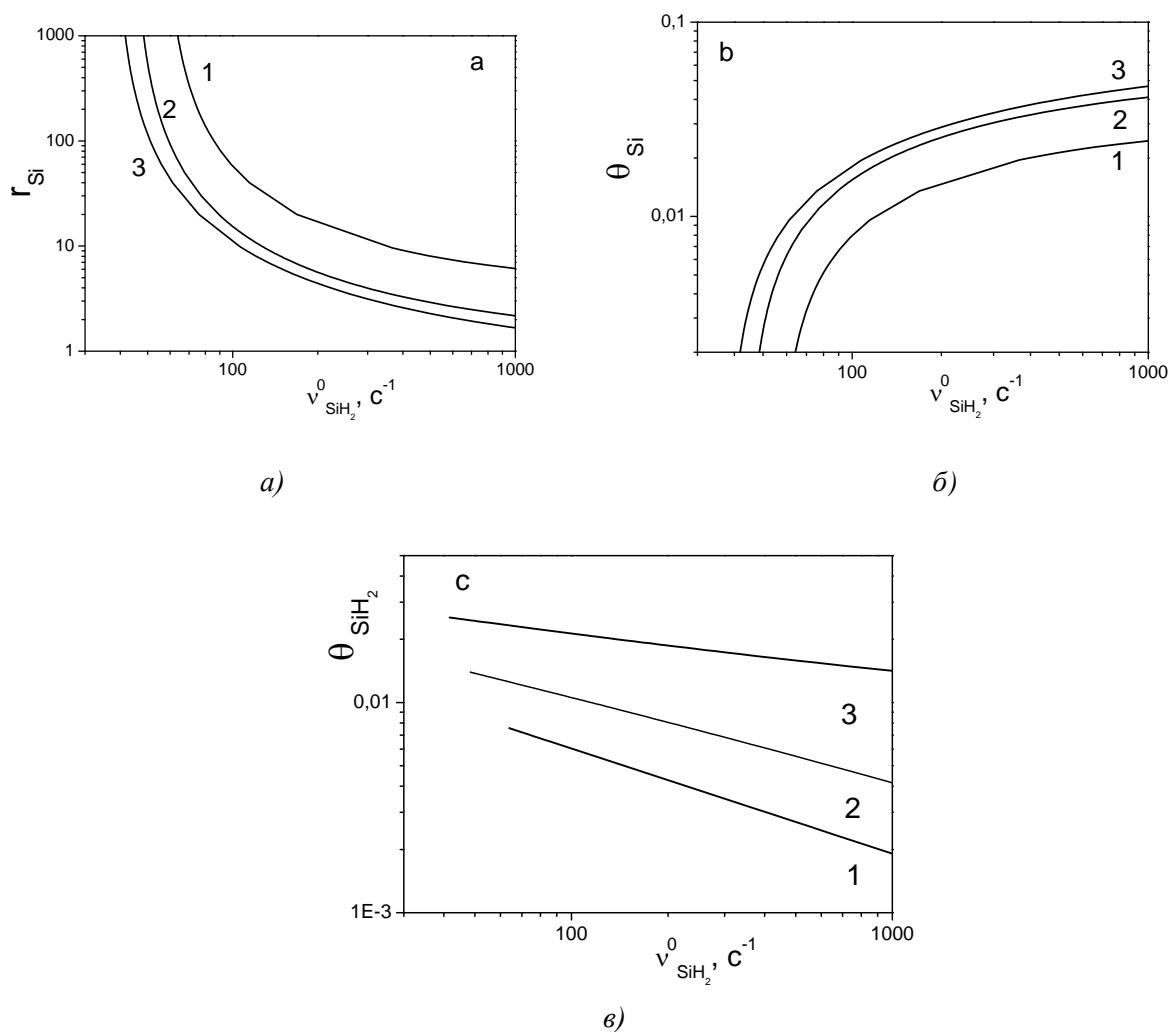


Рис. 1. Зависимость коэффициента встраивания r_{Si} (а), поверхностных концентраций θ_{Si} (б) и θ_{SiH_2} (в) от префактора частоты распада молекул моносилана $v_{SiH_2}^0$ для моделей 211, 220 и 202 при температуре роста $T_{gr} = 450^\circ\text{C}$, $S_{SiH_4} = 0.007$ и давлении газа в реакторе $P_{SiH_4} = 0.3$ мТор

Нетрудно оценить значение скорости распада молекул силана на поверхности роста слоя кремния $\tilde{v}_{SiH_2} = \tilde{v}_{SiH_2}^0 \exp(-E_a/kT_{gr})$ для $E_a = 0.08$ эВ [10].

Выражение (3) при заданной скорости роста пленки и степени ее покрытия водородом устанавливает однозначным образом взаимосвязь между коэффициентом кристаллизации и скоростью распада моногидрида на поверхности слоя. Знание значений параметров r_{Si} и v_{SiH_2} легко позволяет найти поверхностные концентрации атомов кремния θ_{Si} , радикалов молекулы силана θ_{SiH_2} и концентрацию свободных связей на поверхности θ_{fr} .

На рис. 2 на примере одной модели (2,0,2) показаны характерные зависимости скорости встраивания r_{Si} и поверхностных концентраций θ_{Si} , θ_{SiH_2} от скорости пиролиза молекул для более широкого диапазона температур. Области допустимых значений концентраций $0 < \theta_{Si}$, θ_{SiH_2} , $\theta_{fr} < 1$ определяют нижний предел значения частоты распада молекул силана. Это значение, как видно из рис. 1 и рис. 2, зависит как от температуры роста, так и от характера

протекания реакций на поверхности, описываемого той или иной кинетической моделью. Из приведенных рисунков можно оценить минимальное значение, которое принимает префактор скорости распада молекул на поверхности роста пленки при заданных значениях параметров задачи. Из рис. 1 следует, что при низкой (450°C) температуре пиролиза префактор скорости распада молекул лежит в диапазоне 40–60 с⁻¹. Скорость распада достаточно велика и по порядку величины близка к значению $\tilde{\nu}_{\text{SiH}_2} \sim 10\text{с}^{-1}$. С повышением температуры роста до 600–700°C значение префактора уменьшается до значений порядка 1, скорость распада падает до нескольких долей секунды.

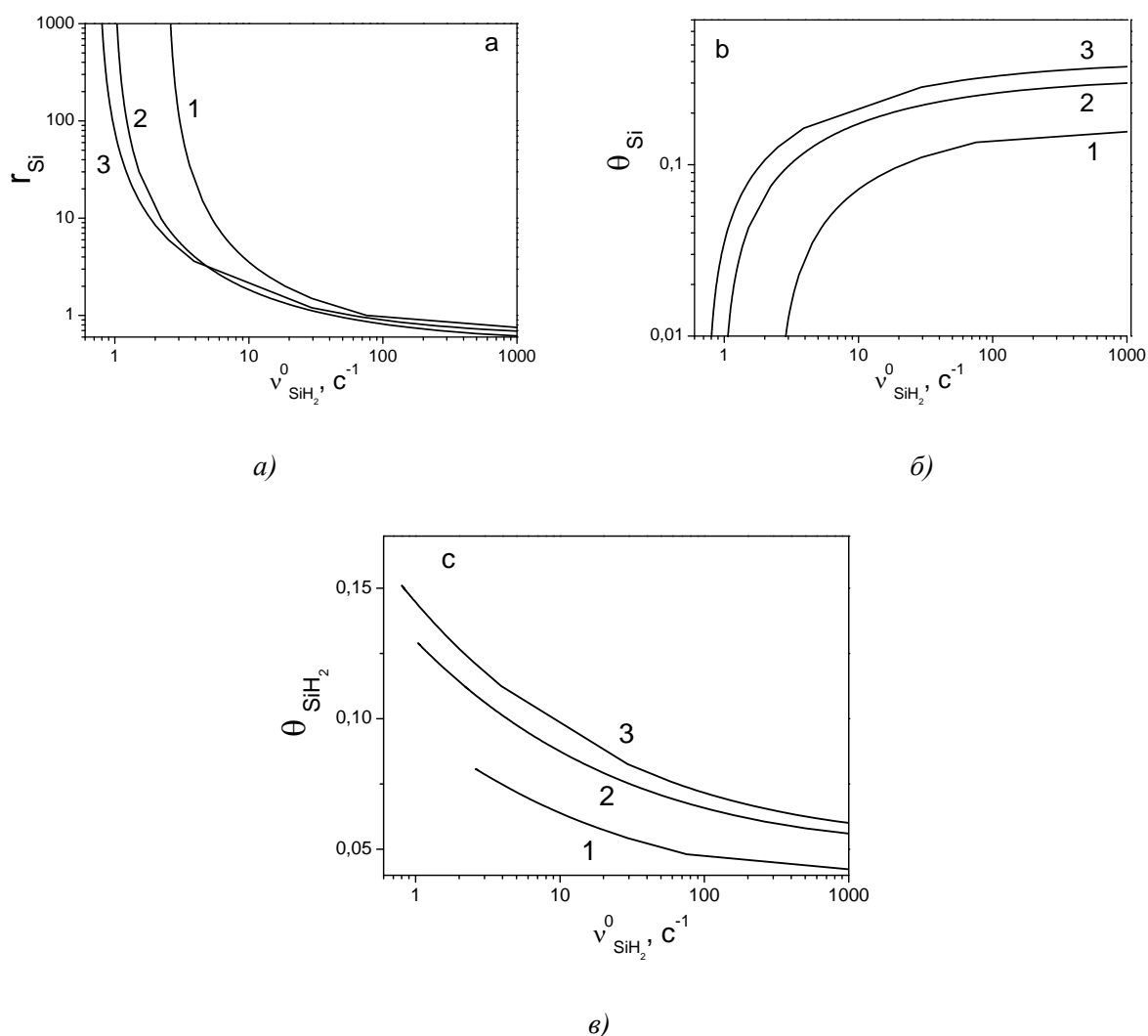


Рис. 2. Зависимость коэффициента встраивания r_{Si} (а), поверхностных концентраций θ_{Si} (б) и θ_{SiH_2} (в) от префактора частоты распада молекул моносила $\nu_{\text{SiH}_2}^0$ для модели 202 и значений температур роста $T_{\text{gr}}(\text{°C}) = 600$ (1), 550 (2), 500 (3) при $S_{\text{SiH}_4} = 0.007$ и давлении газа в реакторе $P_{\text{SiH}_4} = 0.3$ мТор

Таблица 1

Значения скорости роста пленок кремния из моносила от температуры роста при давлении в реакторе $P_{\text{SiH}_4} = 3$ мТор и соответствующая данным температурам степень покрытия поверхности Si адсорбируемым водородом

$T_{\text{gr}}, \text{°C}$	600	550	500	450
$V_{\text{gr}}, \text{Å/с}$	0.237	0.136	0.045	0.009
$\theta_{\text{H}} = n_{\text{sH}}/n_{\text{s}}$	0.091	0.253	0.544	0.839

Таким образом, расчеты показывают, что температурная зависимость скорости распада молекул моносилана определяется не активационным множителем, а температурной зависимостью префактора $\tilde{v}_{\text{SiH}_2}^0$. Необходимо также отметить (рис. 1) сильную зависимость частоты распада молекул от того, на какой ступени процесса распада происходит захват атомов водорода с молекулы поверхностью. Распад происходит с наибольшей скоростью, если молекулы водорода адсорбируются на первой ступени пиролиза (кривая 1 на рис. 1). Скорость пиролиза при данной температуре роста минимальна, если молекулы водорода адсорбируются только на второй ступени пиролиза (кривая 3 на рис. 1).

Из формулы (3) можно также оценить минимальное значение, которое может принимать коэффициент кристаллизации r_{Si} для подстилающей поверхности, характеризуемой низким коэффициентом растворения атомов кремния. Предполагая скорость распада силана v_{SiH_2} большой величиной, для коэффициента кристаллизации r_{Si} получаем значение $\tilde{r}_{\text{Si}} = \alpha/2\gamma^2$. Второе решение всегда является лишним, не соответствующим реальным значениям поверхностных концентраций. Минимально допустимые значения коэффициента встраивания атомов кремния, соответствующие предельно высокой скорости распада молекул силана на поверхности роста, зависят только от параметров (k , n), то есть от характера десорбции водорода с поверхности в диапазоне низких температур роста.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проектам № 08-02-00065 и № 08-02-97017р - "Поволжье".

Библиографический список

1. Greve, D.W. Materials Science & Engineering. В18, 22 (1993).
2. Potapov, A.V. Thin Solid Films / A.V. Potapov, L.K. Orlov, S.V. Ivin. – 1999. V. 336. – P. 191-196 (1999).
3. Орлов, Л.К. Поверхность, Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования / Л.К. Орлов, Т.Н. Смыслова. – 2005. №11. С. 99-105.
4. Орлов, Л.К. Физика и техника полупроводников / Л.К. Орлов, Т.Н. Смыслова. 2005. № 39. С. 1320-1324.
5. Орлов, Л.К. Физика и техника полупроводников / Л.К. Орлов, Т.Н. Смыслова. 2006. Т. 40. № 45. С. 1427-1432.
6. Орлов, Л.К. Физика и техника полупроводников / Л.К. Орлов, Т.Н. Смыслова. 2007. Т. 41. № 56. С. 1517-1522.
7. Зенгуил, Э. Физика поверхности / Э. Зенгуил. – М.: Мир. 1990. – 536 с.
8. Товбин, Ю.К. Теория физико-химических процессов на границе газ-твердое тело / Ю.К. Товбин. – М. Наука. 1990. – 287с.
9. Appl. Phys.Lett / K.J. Kim [at all.] 1993. V. 62. P. 3461. – 3465.
10. Vittadini, A. Phys. Rev. Lett. Ser. A / A. Vittadini // Selloni. 1995. V. 75. P. 4756–4759.

*Дата поступления
в редакцию 07.07.2010*

T.N. Smislova, S.V. Ivin, L.K. Orlov

ADSORPTION AND KINETIC CHARACTERISTICS OF MONOSILANE MOLECULES ON GROWING SURFACE SI (100) AT DOUBLE BOUNDING FORMATION BETWEEN RADICALS AND SERFACE

The analytic forms linking the silicon atom embedding rate with the typical frequency of silane molecular pyrolysis on the silicon surface were obtained. The temperature range corresponds to the Si(100) films epitaxial growth.

Keywords: monosilane, surface, growth rate, pyrolysis, dissociation frequency.

УДК 661.631

М.И. Никандров, И.С. Никандров, Ю.В. Краснов

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ОДНО-, ДВУХ –
И ТРЕХЗАМЕЩЕННЫХ ФОСФАТОВ НАТРИЯ

Определено влияние скорости охлаждения на величину пересыщений, размеры и фильтрующие свойства кристаллов безводного и одноводного мононатрий фосфата, семиводного динатрий фосфата и десятиводного тринатрий фосфата.

Ключевые слова: мононатрийфосфат, динатрийфосфат, тринатрийфосфат, кристаллизация, скорость, пересыщение, качество.

В России фосфаты натрия выпускаются в виде двенадцативодных кристаллогидратов. Низкая концентрация основного вещества в них делает рентабельным их производство только на малотоннажных установках мощностью 5 – 20 тыс./год с транспортированием продукта в радиусе до 400-500 км от места производства. При этом очевидна необходимость создания гибких ресурсосберегающих технологических систем, позволяющих в зависимости от конъюнктуры на рынке выпусков фосфаты натрия любого вида.

Практический интерес представляет переход на выпуск более концентрированных, менее обводненных фосфатов натрия, включая безводный малонатрий фосфат, семиводный динатрий фосфат и десятиводный тринатрийфосфат. С этой целью выполнено исследование кристаллизации данных фосфатов из растворов нейтрализации фосфорной кислоты.

С целью определения условий получения безводного мононатрий фосфата (МНФ) и его безводной соли изучена кристаллизация из растворов, содержащих 61% МНФ и 67% МНФ политермическим методом.

Как видно из табл. 1, кристаллы безводной соли даже при больших скоростях охлаждения (3 град/ч) обладают большими изометричными формами и, как следствие, лучшими фильтрующими свойствами, по сравнению с одноводной солью. Большой съём осадка безводной соли (550 кг/м²ч) объясняется меньшей вязкостью раствора при конечной температуре кристаллизации (57,4 °С), чем для осаждения одноводного МНФ (40,8°С).

Таблица 1

Кристаллизация мононатрий фосфата

Доля МНФ в исходном растворе, % масс	Скорость охлаждения, град/час	Время фильтрации, мин	Съём осадка на фильтре, кг/(м ² час)
61	2,4	2,1	206
	1,6	1,17	340
	1,3	0,8	496
	0,9	0,65	600
67	3,0	0,5	550

Исследование пересыщений в изученных растворах показало, что для раствора с долей 67% МНФ величина пересыщения равна 1,1% при скорости 2,2 град/ч. Для раствора концентрацией 61% МНФ величина пересыщения составляет 1,7% при скорости охлаждения 2,4 град/ч.

Величину пересыщения определяли по разности концентраций раствора в момент осаждения первых кристаллов соли (C_{Π}) и в насыщенном равновесном растворе ($C_{Н}$):

$$\Pi = C_{\Pi} - C_{Н}$$

Величину относительного пересыщения (Π') принимали из отношения

$$\Pi' = \Pi / C_{\Pi} = (C_{\Pi} - C_{Н}) / C_{\Pi} = 1 - C_{Н} / C_{\Pi}$$

Величина относительного пересыщения для безводной соли составляет 0,0108/ - 0,0164 тогда как для одноводного моонатрийфосфата она равна 0,0297, т.е. в два-три раза больше. Это и определяет образование большего числа зародышей, а следовательно, получение более мелких и хуже фильтрующих кристаллов одноводной соли.

В полученных кристаллах моонатрий фосфата находится аналитически менее 0,00024% мышьяка, что ниже допустимой (0,0005%) величины. Коэффициент распределения мышьяка между маточным раствором и кристаллами для безводного МНК равен 73, для одноводного МНК – 53.

Изучена кристаллизация семиводного динатрий фосфата (ДНФ) из раствора, содержащего 41,6% ДНФ полученного нейтрализацией термической фосфорной кислоты содовой суспензией с долей соды 460 г/л (ДНФ 7,2% в раствор и 9% твердой соды). Раствор охлаждали с температуры 80 °С до достижения перитектической температуры 35,4 °С. Полученные результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Кристаллизация динатрий фосфата

Доля ДНФ в исходном растворе % масс	Скорость охлаждения раствора град/час	Время фильтрации, мин	Доля кристаллов от масс исходного раствора, %	Средний диаметр кристаллов, мм
41,4	5,4	6,8	49,1	0,062
41,4	5,2	8	50,5	0,068
41,4	4,5	5,4	48,9	0,081
41,6	4,3	5,2	48,9	0,074
41,6	3,8	4,7	48,8	0,106
41,6	3,5	4,5	48,7	0,093
41,6	3,1	4,0	48,8	0,121
41,7	2,7	3,3	48,7	0,138
41,8	2,5	2,4	48,8	0,191
41,8	2,3	2,1	48,7	0,163
41,2	2,1	1,5	48,4	0,208
41,4	1,7	1,1	48,6	0,217
28,2 *	2,5	1,8	47,2	0,192
28,2 *	2,2	1,6	49,5	0,202

* осаждается двенадцативодный ДНФ.

С уменьшением скорости охлаждения раствора с 5,4 до 1,7 град/ч размеры выделяемых кристаллов возрастают и соответственно улучшаются их фильтрующие свойства.

Как видно из рис. 1, с уменьшением скорости охлаждения с 5,4 до 3 град/ч сьем кристаллов на фильтре линейно меняется со 150 до 600 кг/(м²ч). При скорости охлаждения менее 2,5 град/ч фильтрующие свойства кристаллов резко возрастают, достигая 1000 кг/(м²ч) при скорости охлаждения 1,8 град/ч. При кристаллизации двенадцативодной соли сьем кристаллов составляет при скорости охлаждения 2,2 – 2,5 град/ч 630 – 740 кг/(м²ч).

Судя по полученным данным (табл. 3) с ростом скорости охлаждения раствора величина пересыщения раствора увеличивается. Так, для раствора, содержащего 41,6% ДНФ, при скорости охлаждения 2,3 град/ч пересыщение равно 0,64%, а при скорости 4,6 град/ч 1,33%.

Повышение концентрации раствора способствует понижению пересыщения, хотя одновременный рост вязкости раствора должен был, наоборот, способствовать увеличению пересыщения. Поскольку одновременно растет температура насыщения, то это способствует понижению вязкости раствора. При этом, видимо, влияние роста температуры превышает влияние роста концентрации раствора на его вязкость. Поэтому при более низких концентрациях и температурах насыщенного раствора вероятность образования устойчивых центров кристаллизации при малых значениях пересыщений во много раз меньше из-за малой

вероятности значительных флуктуаций. В этих условиях образования пространственно ориентированных агрегатов молекул возможно лишь при больших пересыщениях.

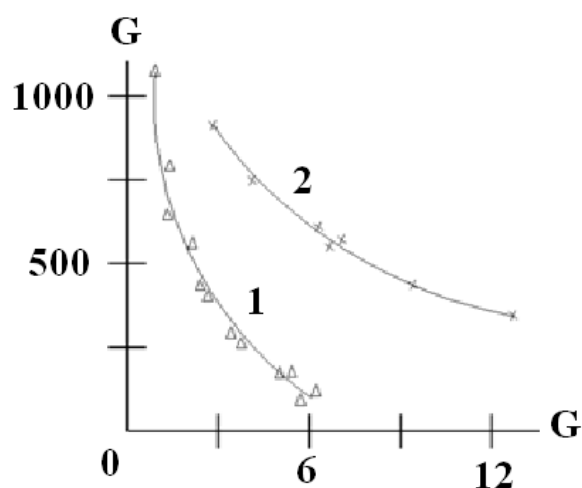


Рис. 1. Влияние скорости охлаждения (ΔT , град/час) на сьем кристаллов на фильтре (G , кг/(м²час)) динатрий фосфата (1) и тринатрий фосфата (2)

Таблица 3

Пересыщение в растворах динатрий фосфата

Доля ДНФ в исходном растворе, % (масс.)	Величина переохлаждения, °С	Скорость охлаждения, град/ч	Пересыщение, % (масс.)
33,1	0,40	2,1	0,83
35,7	0,40	2,2	0,80
38,0	0,38	2,0	0,72
41,6	0,36	2,3	0,64
41,6	0,72	3,6	0,92
41,6	1,02	4,6	1,33

Коэффициент распределения мышьяка между раствором и твердой фазой оценивается величинами $K_p=16\div 26$ при скоростях охлаждения 2,3–4,6 град/ч.

При многократном возврате маточного раствора на стадию нейтрализации кислоты доля мышьяка в кристаллах постепенно растет (рис. 2). После 5-кратного возврата маточника количество мышьяка в продукте приближается к допустимому уровню (0,0002% (масс.)).

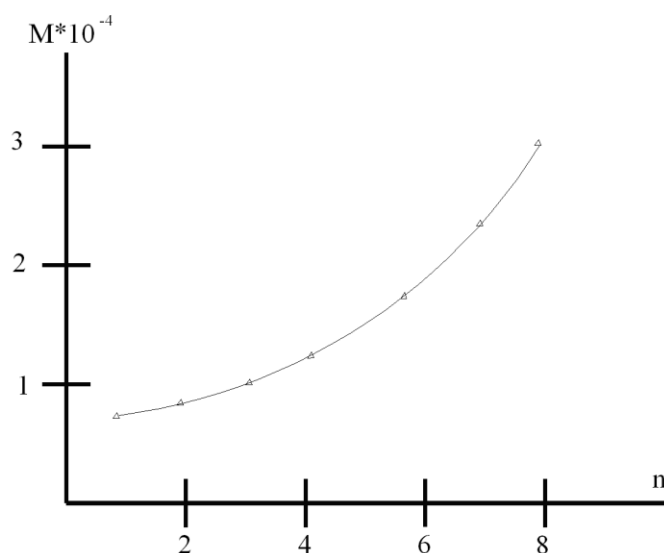


Рис. 2. Влияние числа возвратов маточника на нейтрализацию (n) на содержание мышьяка в выделяемых кристаллах (M , % масс.)

Изучена кристаллизация десятиводного тринатрий фосфата (ТНФ) из раствора, содержащего 36,6% ТНФ. Для его получения раствор динатрий фосфата, содержащий 52 % ДНФ, нейтрализовали твердым едким натром и разбавляли водой до достижения концентрации 36,6% ТНФ. Данный раствор с температурой 85 °С охлаждали с заданной скоростью до температуры (54 °С) перитектики. Результаты опытов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Кристаллизация тринатрий фосфата

Доля ТНФ в исходном растворе, % масс	Скорость охлаждения раствора, град/ч	Время фильтрации, мин	Доля кристаллов от масс исходного раствора, %	Средний диаметр кристаллов, мм
36,6	12	4,9	48,2	0,292
36,6	11	4,1	48,8	0,270
36,6	10,2	3,3	48,7	0,262
36,6	8,6	2,3	49,4	0,254
36,6	7,8	1,9	48,8	0,162
36,6	6,5	1,5	48,6	0,150
36,6	3,2	1,2	48,7	0,143
25,0 *	10	4,4	38,6	0,133
25,0 *	8	2,7	38,4	0,162
25,0 *	4	2,1	38,4	0,187

* в осадке двенадцативодный тринатрий фосфат.

Исследование показало, что с уменьшением скорости охлаждения происходит образование более крупных изометричных кристаллов с лучшими фильтрующими свойствами. Так, при скорости охлаждения 12 град/ч 60% кристаллов имеют размер менее 100 мкм, тогда как при скорости охлаждения 7,8 град/ч количество кристаллов такого размера уже составляет 17% от общей массы кристаллов. При скорости охлаждения раствора 3,2 град/ч доля кристаллов размером менее 100 мкм снижается до 10%, а основная часть кристаллов (73%) имеет размер 320 – 500 мкм.

С ростом доли крупных кристаллов в осадке растет и производительность фильтрации суспензии на фильтре (рис. 1). Съем осадка на фильтре меняется в пределах от 235-350 кг/(м²ч) при скорости охлаждения 10–12 град/ч до 780–870 кг/(м²ч) при скорости охлаждения 3,2–6,5 град/ч.

При равных скоростях охлаждения раствора, как видно из рис. 1, фильтрующие свойства кристаллов тринатрийфосфата существенно выше чем у динатрийфосфата. Это объясняется значительно меньшей вязкостью равновесных насыщенных растворов тринатрийфосфата, по сравнению с вязкостью растворов динатрийфосфата [2].

Таблица 5

Пересыщение в растворах тринатрийфосфата при температурах 55 – 78 °С

Температура, °С			Доля ТНФ в исходном растворе, %	Скорость охлаждения, град/ч	Пересыщение, %
начала кристаллизации	полного растворения кристаллов	переохлаждения			
77,86	78,10	0,24	36,66	7,2	0,22
77,77	78,10	0,33	36,66	8,5	0,33
77,73	78,18	0,45	36,66	10,7	0,41
67,91	68,26	0,35	32,4	8,1	0,36
60,07	60,39	0,32	30,7	7,8	0,38
55,40	55,78	0,38	26,2	8,1	0,46

Результаты определения пересыщений в растворах системы представлены в табл. 5.

При скорости охлаждения 8 град/час величина достигаемых пересыщений раствора в момент выпадения первых кристаллов тринатрийфосфата десятиводного относительно меньше, чем при кристаллизации динатрийфосфата семиводного.

С повышением концентрации раствора тринатрийфосфата с 26,2 до 36,66% величина пересыщения понижается с 0,46 до 0,33% (в 1,4 раза).

В полученных кристаллах доля общего P_2O_5 менялась в пределах 20,2-20,4%, доля нерастворимого в воде остатка равна 0,0025-0,0026 %, а рН 1%-ного водного раствора равна 12,0 – 12,5.

Сравнение результатов кристаллизации фосфатов натрия различной замещенности показывает, что с ростом числа замещающих ионов натрия одновременно с уменьшением растворимости фосфатов снижаются значения пересыщений в растворах с 1,1 – 1,7 % для моносоды до 0,6–1,4% для динатрийфосфата и до 0,2 – 0,4 % для тринатрий фосфата. Это сказывается как на размерах выпадающих кристаллов, так и на производительности их разделения на фильтре.

Разработанная технология реализуется по технологической схеме, представленной на рис. 3.

Приготовление содовой суспензии ведется периодически в содорастворителе Р-04. Для производства мощностью 6000 т/год тринатрийфосфата десятиводного в содорастворитель Р04 заливают воду в количестве 1,4-1,5 м³ с температурой ~ 20 °С и фосфорную кислоту в количестве 0,150 м³. Затем включают вентилятор В06 и мешалку содорастворителя и в течение 30 минут секторным питателем ПТ05 подают соду из бункера Е01. После завершения подачи соды в течение 5 минут добавляют еще 0,060 м³ фосфорной кислоты и суспензию выдерживают в течение 1 часа и подают с температурой 60-80 °С в нейтрализатор первой ступени Р09.

Газы дыхания из бункера соды Е01, реактора содорастворения Р04, реактора-нейтрализатора Р09 отсасываются вентилятором В06 и очищаются промывкой в скруббере С07, орошаемым водой. После заливки реактора Р09 содовой суспензией начинают подавать фосфорную кислоту со скоростью 1-1,5 м³/ч. После завершения слива кислоты раствор выдерживают 1,5-2 ч при температуре 80 °С. Раствор содержит 52-53% ДНФ.

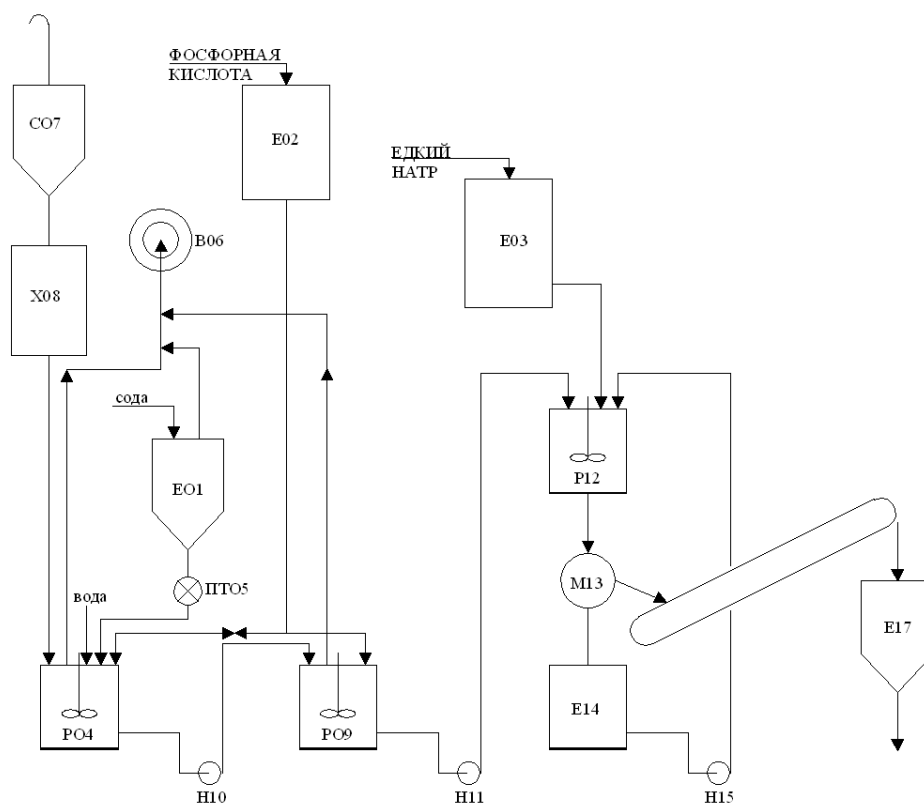


Рис. 3. Технологическая схема производства концентрированных динатрий и тринатрий фосфатов

1,7-1,8 м³/ч раствора из Р09 насосом Н11 подают в реактор-осадитель тринатрий фосфата Р12 и включают мешалку. Затем в реактор Р12 насосом Н15 заливают 2,2-2,5 м³/ч возвратного маточника из емкости Е14. После этого включают подачу охлаждающей воды в рубашку реактора Р12 и начинают подачу едкого натра из мерника Е03 в количестве 0,53-0,55 м³/ч в течение 30-40 мин. Нейтрализованный раствор содержит 41,5 % ТНФ. После охлаждения массы в реакторе Р12 до температуры 54°С в течение 3,5-4 ч процесс завершают и суспензию подают на центрифугу М13 типа ФГН-100. Отжатые кристаллы с влажностью 1-3 % масс срезаются на наклонный ленточный конвейер ПТ16, которым подаются в бункер Е17. Из бункера Е17 продукт поступает на фасовку.

Маточный фугат собирают в емкость Е14, подогреваемую водой до температуры не ниже 60°С.

При переходе на выпуск динатрий фосфата семиводного технологический процесс ведут следующим образом. Раствор динатрий фосфата из реактора Р-09 с содержанием 41,5% ДНФ подают в реактор-осадитель Р12 на кристаллизацию.

Раствор динатрий фосфата с температурой 65-70°С заливают в реактор Р12 в количестве 3,6-3,7 м³. Затем включают мешалку, подают охлаждение и из емкости Е14 2-2,2 м³ маточного фугата от предыдущей операции выделения кристаллов динатрий фосфата.

Кристаллизацию ведут в течение 5-8 часов до достижения температуры 35°С. После этого подачу охлаждения прекращают и суспензию разделяют на центрифуге М13.

*Дата поступления
в редакцию 07.07.2010*

M.I. Nikandrov, I.S. Nikandrov, J.V.Krasnov

STUDY OF CRYSTALLIZATION OF ONE-, TWO - AND TREHZAMESCHENNYH SODIUM PHOSPHATE

Crystallization monosodium – disodium and three sodium phosphate is studding. results for technological scheme of production phosphate is giving.

Key words: monosodium phosphate, disodium phosphate, trisodium phosphate, crystallisation, size of crystals.

ЭКОНОМИКА, ИННОВАЦИИ И МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 331.103.22

Ф.Е.Удалов, О.Ф. Алехина, О.Ф. Удалов, Н.А. Воронов

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ АСПЕКТ РЕШЕНИЯ ИННОВАЦИОННО-СТРАТЕГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

В статье на базе исследований, проведенных на ряде промышленных предприятий, рассматриваются процессы постановки и направления решения перспективных проблем развития предприятий. При этом акцент делается на роль управленческого фактора в решении данных проблем.

Ключевые слова: инновационно-стратегическая проблема, причины ошибок, оперативные и перспективные решения, непротиворечивость интересов.

Исследованиями установлено, что поскольку соотношение затрат времени и само желание руководителей заниматься перспективными проблемами складывается явно не в пользу перспективного и здесь играют роль и объективные, и субъективные факторы, то, видимо, руководителям нужны определённые рекомендации, как уменьшить влияние негативных факторов и таким образом стимулировать их желание уделять большее внимания стратегическим проблемам развития объектов управления. Проведенный анализ деятельности руководителей на промышленных предприятиях с использованием поведенческого метода, предполагающего непосредственную технологию использования функций управления, анкетные опросы на различных уровнях организационной иерархической структуры управления, личные беседы с руководителями линейных и функциональных звеньев позволили установить, что главными причинами приоритетности «оперативного» над «перспективным» являются:

- неясность того, что можно получить от решения перспективных проблем в количественном и временном аспектах;
- отсутствие «командной игры», т.е. взаимопонимания в звеньях иерархической управленческой цепи, направленного на решение стратегических задач;
- достаточно ясно выраженная узость кругозора (мышления) руководителей ограниченного, как правило, рамками решения проблем конкретного объекта управления вне его связи с внешней средой.

Как видно, эти причины имеют прежде всего организационно-психологический характер. Подчеркнём, что мы никоим образом не сбрасываем со счетов внешние негативные факторы, такие как информационный инновационный голод, инвестиционная напряженность, кадровая составляющая и др. Но даже если последние проблемы будут решены, то без должного внимания к организационно-психологическим задачам, стратегические проблемы не могут найти эффективного решения. С нашей точки зрения, для решения организационно-психологических проблем должен иметь место ряд направлений деятельности, являющихся прерогативой высших руководителей предприятий.

Во-первых, любую стратегическую проблему следует сделать доступной для её понимания на всех уровнях управления предприятием. Здесь однозначно и чётко должна быть обозначена главная приоритетная цель, которой предполагается достичь в процессе решения поставленной стратегической проблемы.

Во-вторых, необходимо чётко увязать интересы каждой организационной структуры в системе управления предприятием с общими интересами предприятия, никаким образом не допуская их противопоставления. Но здесь необходима максимально допустимая компенсация возможному ущербу интересам конкретной организационной структуры. Не следует в этом процессе игнорировать и интересы отдельных должностных лиц, особенно тех из них, противодействие которым решению стратегических проблем может быть существенным даже в виде занятия нейтральной позиции.

В-третьих, процесс решения стратегической проблемы должен быть обеспечен чётко проработанной информационной структурой управления с выделением в этой структуре главных точек контроля состояния текущего процесса. Важным элементом этой информационной структуры должна быть её открытость для доступа любого должностного лица, участвующего в решении стратегической проблемы. Следует подчеркнуть, что коммуникативная открытость весьма благотворно должна влиять на рост психологической удовлетворённости руководителей и специалистов, участвующих в стратегической программе.

В-четвёртых, у каждой стратегической программы должен быть свой лидер, который на основе достоверного знания действительности правомочен своевременно вносить соответствующие коррективы в текущий процесс. Иными словами, здесь должно наблюдаться постоянное обновление стратегического мышления.

Важным фактором успешного решения стратегических проблем должно быть предоставление права участником программы иметь свою точку зрения и вносить свои предложения. В свете последнего следует отметить, что стратегический лидер должен способствовать формированию у участников программы широты взглядов на проблему, поскольку это является, как правило, определяющим в их оценке происходящих событий. Исследования показали, что главной причиной узости мышления является концентрация внимания, или гипертрофирование проблем собственного объекта управления. Одним из главных путей преодоления этого негативного фактора является периодическая ротация руководителей и некоторых специалистов функциональных служб предприятия. Ротация как линейного, так и функционального персонала позволяет ему приобрести широкий взгляд на комплексные проблемы стратегии предприятия. В связи с этим подчеркнем, что процесс ротации уже сам по себе повышает уровень осознания необходимости решения стратегических задач и, как было установлено, повышает уровень разделения управленческого труда в первую очередь за счёт передачи максимально возможных прав оперативного управления в нижестоящие управленческие звенья.

Оценивая влияние ротации кадров на решение стратегических проблем, следует учитывать и зарубежный опыт. Известно, что в течение всей второй половины XX столетия наиболее восприимчивой к инновациям была экономика Японии. Также известно, что в Японии сформирована своя система профессиональной послевузовской подготовки руководителей и специалистов непосредственно на промышленных предприятиях. Сущность её состоит в том, что начинающего руководителя или специалиста кадровые службы в течение нередко даже ряда лет планомерно перемещают в различные функциональные службы в рамках предприятий. Причём перемещение на начальной стадии их деятельности может осуществляться вне зависимости от полученного работником базового образования, то есть специалиста технического профиля могут на определенный период перевести, например, в экономико-финансовую структуру. Главный смысл таких перемещений состоит в том, чтобы человек, во-первых, возможно больше узнал о взаимосвязях, возникающих между различными функциональными звеньями организационной структуры управления. Во-вторых, чтобы ознако-

мился с главными проблемами каждой организационной структуры и, в-третьих, что, пожалуй, самое важное, чтобы он, заняв впоследствии любую должность, в процессе решения производственных проблем не гипертрофировал бы свои собственные проблемы, а знал, что они существуют и у других служб, и, следовательно, искал бы пути к компромиссу. Последнее является одним из главных факторов интенсивной инновационной деятельности в промышленности Японии, поскольку любые инновации, всегда связанные с решением многопрофильных проблем, часто неявно выражены с малопредсказуемым результатом проблем.

В нашей стране процессу приведенной ротации кадров, как и ротации кадров в целом, не уделялось должного внимания, а это не могло способствовать широте мышления и приводило иногда к возникновению конфликтов между отдельными руководителями в пределах даже одной и той же технической службы. В процессе исследований мы столкнулись с ситуацией данного характера, происшедшей на одном из крупных промышленных предприятий. Служба главного конструктора разработала новое изделие, а служба главного технолога – соответствующий технологический процесс его изготовления, потребовавший использования нового оборудования, приобретение которого входило в функцию главного механика. Получив эту информацию, главный механик заявил, что у него этого оборудования нет и поэтому данный технологический процесс быть реализованным на предприятии не может. Диалог между двумя функциональными руководителями протекал примерно по следующей схеме. Один заявил, что его не волнует отсутствие оборудования, а второй, что его не волнует, будет ли изготовлено изделие. И никаких попыток компромисса до тех пор, пока проблема не дошла до их вышестоящего руководителя. В японской системе управления подобные явления исключены в принципе. Понятно, что и у главного механика, и у главного технолога свои проблемы, но непонятен их подход к решению проблемы предприятия. Что же касается стратегического аспекта, то он не просматривается в данном случае у главного механика.

В процессе поставки стратегических целей важнейшее значение имеет фактор реальности их реализации, т.е. возможность свести к минимуму принятие неправильных решений. Анализ литературных источников и наши собственные исследования показали, что главными причинами ошибок являются:

- нечёткость постановки проблемы;
- безальтернативность вариантов проектов решений на стадии оценки возможности реализации проблемы;
- отвлечение усилий на второстепенные вопросы;
- отсутствие объективных оценочных показателей;
- необоснованный акцент на интуитивные решения;
- игнорирование информации о возможном неблагоприятном исходе реализации стратегической цели;
- неучёт роли моральных факторов и др.

Таким образом, можно сделать вывод, что для успешного осуществления стратегических целей необходимо:

- объединённое желание всех руководителей предприятия следовать избранной стратегии;
- чёткость постановок и ясность понимания стратегических установок;
- простота и эффективность качественного и количественного контроля на всех этапах процесса реализации стратегии.

На процесс решения проблем большое внимание оказывает время их постановки или обнаружения. Это одинаково относится как к оперативным, так и к перспективным проблемам. Чем позднее обнаружена или поставлена проблема, тем большие ресурсные затраты требуется для её решения. Однако последствия при несвоевременном обнаружении этих проблем далеко неодинаковы. При позднем решении оперативной проблемы ущерб деятельности промышленного предприятия носит локальный характер и, как правило, не влияет на его

перспективу развития. При позднем же обнаружении или при задержке в решении перспективной проблемы последствия для предприятия могут носить драматический характер и в особо сложных условиях его функционирования привести предприятие к банкротству. Аналогичным образом может развиваться ситуация, когда проблема обнаружена своевременно, но направление её решения было выбрано неправильно.

Таким образом, в процессе анализа управленческих проблем можно выделить две фазы: фазу обнаружения (постановки) проблемы и фазу поиска, принятия и реализации решений. В фазе постановки проблемы важнейшее значение имеет качество получаемой информации, т.е. степень её своевременности, достоверности, полноты и уровня реферированности. Наличие больших объёмов информации может характеризовать не её качество, а высокий уровень «информационного шума», под которым понимается большой объём сведений второстепенного характера, затрудняющий выявление сущности возникшей проблемы.

Иными словами, главные сведения о проблеме как бы растворяются в больших объёмах слабо обработанной информации. При этом чем через большее число иерархических уровней управления проходит информация о проблеме, тем больше искажений и «информационного шума» в неё вносится и тем соответственно осложняется процесс её решения во временном и организационном аспектах. Установлено, что указанные негативные факторы существенно снижают своё влияние, если высшие руководители, во-первых, более внимательно относятся к сложным проблемам, выявленным на нижестоящих уровнях управления и, во-вторых, в максимально возможной степени передают право их решения на те нижестоящие иерархические уровни управления, квалификации и компетенции которых достаточно для правильной оценки существа выявленной проблемы и возможности принять правильное решение. Наилучший результат здесь получается в тех случаях, когда проблема решена на том же уровне, на котором она возникла. Однако это касается, как правило, только оперативных проблем.

Решение перспективных проблем является прерогативой высшего руководства, и сами они (проблемы) должны осознаваться в первую очередь на этих уровнях. Следует сосредоточить внимание на определении места и причины возникновения проблемы, а не на поиске должностных лиц, виновных в её возникновении (даже если они имеются), на этапе решения проблемы. Безусловно работники должны нести ответственность за свою деструктивную деятельность, но это никаким образом не должно оказывать влияния на скорость решения проблемы, особенно в тех случаях, когда она (проблема) имеет стратегическую направленность.

Эффективность реализации стратегических проблем в принципиальном аспекте зависят от того, насколько они правильно поставлены. Приведем примеры этого процесса. Так, например, на ОАО «ГАЗ» в начале 90-х годов XX века выбрали правильную стратегию производства легковых автомобилей, и предприятие нормально функционировало до прихода новых собственников.

Были исследованы и негативные примеры этого процесса. Так, на двух крупных предприятиях радиоэлектронной промышленности, одно из которых специализировалось на выпуске телевизоров и радиолокационной техники, а другое – на производстве приборов измерительной техники, после фактической ликвидации госзаказа возникла проблема загрузки производственных мощностей и соответственно – проблема занятости работающих. На первом из них приняли решение приступить к разработке и производству широкой номенклатуры товаров народного потребления без серьезного учёта фактической прежней специализации предприятия, на втором решили разработать и производить телевизоры определённых параметров. Оба направленные на перспективу решения оказались неверными.

Главная причина неудачи первого решения – в уходе от специализации, что не позволило конструкторско-технологическим специалистам разрабатывать изделия с высокими качественными параметрами. К тому же ориентация на их серийный, а не массовый выпуск са-

ма по себе не могла гарантировать даже ценовую конкуренцию. Причина неудачи второго решения заключалась в попытке наладить конвейерное производство в условиях, когда предприятие всегда специализировалось на единичном или мелкосерийном выпуске продукции. Сказалась в обоих случаях и слабая маркетинговая проработка рыночной ситуации, приведшая к неверной оценке рыночных потребностей в предполагаемой к выпуску продукции и оценке возможностей конкурентов.

*Дата поступления
в редакцию 02.07.2010*

F.E. Udalov, O.F. Alekhina, O.F. Udalov, N.A. Voronov

**ORGANIZATIONAL ASPECT OF THE DECISION OF IS INNOVATIVE-STRATEGIC
PROBLEMS AT THE INDUSTRIAL ENTERPRISES**

In article on the basis of the researches spent on a number of the industrial enterprises, it is considered processes of statement and a direction of the decision of perspective problems of development of the enterprises. Thus the accent becomes for a role of the administrative factor in the decision of the given problems.

Key words: an is innovative-strategic problem, the reasons of errors, operative and perspective decisions, consistency of interests.

УДК 658

Т.В. Калугина, И.Б. Гусева

ВЫРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ КОНЦЕПЦИЙ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Арзамасский политехнический институт (филиал) НГТУ им. Р.Е. Алексеева

Рассматриваются вопросы формирования совокупности показателей оценки эффективности промышленных предприятий. Проведен обзор основных подходов к оценке эффективности в рамках концепции управления стоимостью и концепции измерения достижений. Авторами сформулированы и обоснованы основные принципы построения системы оценочных показателей современного промышленного предприятия.

Ключевые слова: эффективность, концепция управления стоимостью, концепция измерения достижений, системный подход, система показателей, промышленное предприятие, ключевые стратегические показатели.

Проблема, связанная с формированием показателей оценки эффективности, и на сегодняшний день является предметом пристального изучения.

Изначально, когда экономическая наука начинала рассматривать проблему оценки деятельности хозяйствующих субъектов, понятие эффективности частично или полностью отождествлялось с категориями результативности, доходности (выгодности) и оценивалось исключительно как отношение результата к затратам.

Постепенно такой односторонний взгляд на эффективность перестал удовлетворять требованиям времени. Современные теории оценки эффективности далеко вышли за рамки показателей доходности. Прогрессивное развитие целевых принципов управления послужило основой для формирования нового подхода, в контексте которого понимание эффективности в большей степени тяготеет к категории оптимальности, нежели к категории результативности.

На сегодняшний день развитие науки в области оценки эффективности деятельности предприятий идет по двум основным направлениям (табл. 1):

1. Совершенствование оценочных показателей в рамках концепции ценностно-ориентированного управления (Value-Based Management).
2. Создание комплексных систем оценки в рамках концепции измерения достижений (Performance Measurement).

Таблица 1

Краткая характеристика современных концепций стратегического управления

Название	Краткое описание	Принципы
1	2	3
Концепция Value-Based Management (VBM) Возникла в начале 80-х годов XX века Наибольший вклад внесли Беннетт Стюарт (1991 г.) Альфред Раппапорт (1999 г.)	Смысл концепции ценностно-ориентированного управления заключается в построении целостной системы управления предприятием и учете результатов, обеспечивающих возможность постоянного контроля потери и прироста его стоимости Система показателей, применяемая для оценки эффективности предприятия в рамках VBM, продолжает обновляться и дополняться и на сегодняшний день насчитывает более десяти различных подходов и методик оценки. Наиболее известные из них – EVA, MVA, SVA, CF, ROE, ROA, FLM, и т.д.	1. Оценка эффективности производится на основе расчета ряда интегральных финансовых показателей, ориентированных на прогноз и называемых ключевыми факторами ценности. 2. Стоимость, в отличие от других финансовых критериев, является базовым элементом оценки.

Продолжение табл. 1

1	2	3
Модели, созданные в рамках концепции Performance Measurement		
<p>Модель Balanced Scorecard (BSC)</p> <p>Основатели: Роберт Каплан, Девид Нортон (1990 г.) Лоренц Майсел (1992 г.)</p>	<p>Описывает сбалансированность управления предприятием на основе четырех направлений оценки эффективности, формируемых на основе четырех ключевых проекций стратегии:</p> <ul style="list-style-type: none"> - финансы/экономика - клиенты/рынки - бизнес-процессы/оргструктура - сотрудники <p>Каждая из них формализуется в виде стратегической карты, содержащей информацию о целях предприятия, способах их достижения и оценочных индикаторах</p>	<p>1. Оценка эффективности должна включать помимо финансовых показателей, по крайней мере, еще три проекции стратегии предприятия</p> <p>2. Совокупность показателей, какой бы исчерпывающей она ни была, должна отражать достижение каждой цели и обеспечивать их сбалансированность</p>
<p>Модель Total Performance Scorecard (TPS)</p> <p>Разработана Хьюбертом Рамперсадом в начале XXI века</p>	<p>Совершенствует и корректирует традиционные методы Balanced Scorecard. Основное отличие TPS от BSC заключается в том, что кроме организационной системы сбалансированных показателей используется личная (авторская) система сбалансированных показателей (Personal Balanced Scorecard), которая включает в себя личное видение, миссию, ключевые роли, цели, ключевые факторы успеха, показатели результативности, и действия по самосовершенствованию</p> <p>В совокупности эти показатели отражают не только эффективность достижения целей, но и личную эффективность обучения и роста</p>	<p>Основной принцип - согласованность целей предприятия и личных устремлений работников за счет процессов совершенствования, развития и обучения</p> <p>В результате чего:</p> <ul style="list-style-type: none"> - обеспечивается процесс непрерывного обучения работников - повышается личная эффективность каждого из сотрудников - стимулируется групповая эффективность - преодолевается сопротивление переменам
<p>Система Tableau de bord</p> <p>Разработана французскими инженерами в 60-е годы XX века</p>	<p>Подобно моделям BSC и TPS, система Tableau de bord использует для оценки эффективности стратегического управления как финансовые, так и нефинансовые показатели. Согласно данной концепции, показатели эффективности делятся на две группы: целевые и функциональные</p> <p>Целевые показатели – это описание стратегического видения предприятия, формируемого его высшим руководством; поддержание целевых показателей обеспечивается низшими уровнями управления, эффективность которых оценивается функциональными показателями. Причем чем выше уровень управления, тем в большей степени используются финансовые показатели и тем более обобщенной становится используемая информация. По сравнению с BSC и TPS, Tableau de bord является менее структурированной системой оценки</p>	<p>1. Оценка эффективности производится на основе сравнения целевых показателей предприятия с функциональными показателями каждого подразделения и фактически достигнутыми результатами</p> <p>2. Показатели оценки структурируются в виде «дерева целей», и отражают степень достижения общего для всех уровней управления целевого ориентира</p>

Окончание табл. 1

1	2	3
<p>Performance Pyramid</p> <p>Разработана в 1990 г. К. МакНейром, Р. Ланч и К. Кроссом</p>	<p>Данная модель представляет собой пирамиду, состоящую из 4-х уровней:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Верхний уровень (руководство предприятия) - формирует корпоративное видение 2. Второй уровень (подразделения и дивизионы) - конкретизирует цели предприятия в виде финансовых показателей, применимых для оценки определенного целевого сегмента рынка 3. Третий уровень отражает деятельность производственных и сбытовых подразделений предприятия и включает индикаторы, применимые для оценки степени удовлетворенности клиентов и гибкости производства 4. Нижняя часть пирамиды включает оценку отдельных операций, выполняемых людьми и машинами (оборудованием, механизмами, компьютерными системами) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Совокупность показателей, наряду с финансовыми должна включать качественные критерии оценки деятельности предприятия 2. Основа построения системы - наличие двухсторонних коммуникаций (цели передаются сверху вниз по пирамиде, а показатели - снизу вверх) 3. Система показателей должна строиться таким образом, чтобы оценочные показатели, формируемые на нижних уровнях пирамиды, были интегрированы с финансовыми показателями, формируемыми на верхнем уровне
<p>Модель Effective Progress and Performance Measurement (EP2M)</p> <p>Предложена в 1993г. Кристофером Адамсом и Питером Робертсом</p>	<p>Согласно данной модели, оценка эффективности деятельности предприятия должна производиться в четырех направлениях:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка внешней бизнес-среды предприятия включает показатели, отражающие степень удовлетворения потребительского спроса 2. Оценку внутренней среды образуют показатели, отражающие финансовую и производственную эффективность 3. Адаптация и распространение общей стратегии предприятия сверху вниз по уровням организационной структуры 4. Степень влияния акционеров и собственников предприятия (уровень централизации управления), свобода действия работников (уровень децентрализации управления) 	<p>Основной принцип - показатели эффективности должны обеспечивать менеджеров предприятия, ответственных за реализацию стратегии и принятие решений, быстрой обратной связью и тем самым обеспечивать своевременное обнаружение и оперативное устранение отклонений и приведение процесса реализации стратегии к норме</p>

Из всех рассмотренных в рамках Performance Measurement подходов наибольшее применение в настоящее время получила система Balanced Scorecard как наиболее доработанная и отрегулированная модель оценки эффективности. Поэтому именно с ней целесообразно связывать перспективы развития концепции измерения достижений. Анализ показал, что современная доработка Balanced Scorecard ведется по двум направлениям:

1. Разработки в области интеграции стоимостных показателей, предложенных в рамках Value-Based Management, в систему сбалансированных показателей, предложенных в рамках Performance Measurement.

2. Развития традиционных методов Balanced Scorecard на основе личной системы показателей, предложенной Хьюбертом Рамперсадом.

Обе рассмотренные концепции стратегического управления исходят из того, что в виду сложности и многогранности деятельности сегодняшних экономических субъектов их эффективность не может быть измерена одним показателем, следовательно, в основу оценки должен быть положен системный подход [1, 2]. Системный характер построения совокупно-

сти оценочных критериев наиболее ярко проявляется через комплексность и взаимную увязку разнородных и разнокачественных показателей оценки эффективности.

В связи с этим, выработка и построение адекватных моделей оценки эффективности современных промышленных предприятий должны базироваться на следующих принципах:

1. *Принцип трендовой оценки* (прошлое ↔ настоящее ↔ будущее) заключается в том, что критерии оценки эффективности должны быть связаны с факторами долгосрочного развития и в своей совокупности переводить стратегию предприятия в действия посредством целевых установок и их оценки.

Таким образом, система показателей должна включать как исторические показатели, отражающие позиции предприятия в предшествующих периодах, так и предусматривать использование опережающих метрик, которые характеризуют состояние и результаты деятельности в будущем.

2. *Принцип учета финансовых и нефинансовых показателей* состоит в том, что оценка эффективности современного предприятия, с одной стороны, должна опираться на анализ и прогноз материальной составляющей его функционирования, основу которой составляют финансовые показатели, с другой стороны, дополняться нематериальными показателями, отражающими такие аспекты деятельности, как управление персоналом, отношения с клиентами и поставщиками, качество продукции, эффективность внутренних бизнес-процессов, внедрение и развитие информационных систем, которые необходимы предприятию для более глубокого понимания возможных перспектив развития, но достаточно сложно поддаются финансовой оценке.

3. *Принцип иерархии* (причинно-следственных связей). Система показателей должна строиться таким образом, чтобы каждая отдельная цель, каждый параметр оценки и фактор успеха через последовательность причинно-следственных связей, представляющих собой многоуровневую систему механизмов мониторинга, способствовали единому пониманию стратегии на всех уровнях управления. При оценке показателей целесообразно расположить их по степени значимости в виде некой иерархической структуры, в которой показатели более высокого уровня включают в интегрированном виде показатели более низкого уровня.

4. *Принцип процессно-функциональной ориентации* исходит из того, что для поддержания баланса в различных сферах деятельности, менеджмент предприятия должен управлять не только функциями, но и процессами. В связи с этим, построение системы показателей должно основываться на том, что деятельность промышленного предприятия представляет собой комплекс взаимосвязанных параллельно протекающих процессов и функций: маркетинга, инноваций, инвестирования, снабжения, производства, сбыта, учета и информационного обеспечения, управления и стратегического планирования. Эффективность данных процессов и функций характеризуется не только результативностью, но и показателями экономичности, ритмичности, своевременности, надежности, качества, гибкости, организованности и новизны.

5. *Принцип приоритетности стратегических показателей над оперативными*. Применение системного подхода к определению эффективности предполагает использование большого количества как финансовых, так и нефинансовых показателей оценки, что значительно затрудняет возможность контроля их взаимосвязи и взаимозависимости. В связи с этим возникает необходимость выделения из всей совокупности показателей обозримого набора ключевых стратегических индикаторов, имеющих приоритетное значение, охватывающих наиболее важные параметры деятельности предприятия, позволяющих на основе их постоянного мониторинга сделать процесс стратегического управления максимально прозрачным. В каждом конкретном случае набор таких показателей может различаться своим составом, однако существует ряд признаков, в соответствии с которыми показатели можно отнести к разряду ключевых. Данные показатели:

- оказывают решающее воздействие на достижение целей предприятия и итоговые результаты его функционирования;

- достаточно чувствительны к изменению состояния целей предприятия, процессов, действий и влияющих факторов;
- имеют четкую методику расчета и процедуру интерпретации;
- нацелены на измерение основных бизнес-процессов предприятия;
- требуют адекватных действий всех подразделений предприятия;
- требуют особого внимания и находятся на постоянном контроле руководства предприятия.

Примерный состав ключевых стратегических показателей в зависимости от ориентации целей предприятия представлен в табл. 2.

Таблица 2

Примерный состав ключевых стратегических показателей оценки эффективности в зависимости от ориентации целей предприятия

Ориентация целей предприятия	Возможный состав ключевых показателей
На результаты	Выручка, затраты, прибыль (операционная, чистая и нераспределенная), CF и т.д.
Рост	Рост объема производства, рост объема продаж, рост стоимости активов, коэффициенты сбалансированного и внутреннего роста, коэффициент реинвестирования прибыли и т.д.
Стоимость бизнеса	WACC – средняя стоимость совокупного капитала EVA – экономическая добавленная стоимость SVA – добавленная стоимость акционеров CVA – денежная добавленная стоимость MVA – рыночная добавленная стоимость и т.д.
Эффективность возврата	EFL – эффект финансового рычага ROE – рентабельность собственного капитала ROS – рентабельность продаж ROA – рентабельность активов ROI – рентабельность инвестиций и т.д.
Инновации	Показатели, применяемые при оценке эффективности инвестиций в инновационное развитие (чистый дисконтированный доход или интегральный эффект, индекс доходности, внутренняя норма доходности, срок окупаемости), коэффициент рентабельности инноваций, динамика инноваций по годам, доля инновационных продуктов в общем объеме выручки и т.д.

6. *Принцип функционального соответствия.* Диагностика системы ключевых результирующих показателей должна предусматривать формирование лаконичного набора индикаторов оценки деятельности каждого функционального подразделения предприятия. Промышленные предприятия, как правило, имеют в своем составе достаточно большое число производственных единиц, отличающихся друг от друга размерами, номенклатурой выпускаемой продукции, характером производства. Ключевые индикаторы системы должны обладать возможностью декомпозиции по отдельным сегментам производства, подразделениям, центрам ответственности, адекватно их производственной специфике.

7. *Принцип синтеза показателей внутренней и внешней среды* исходит из того, что предприятие не может существовать изолированно от внешней среды. Деятельность любого современного субъекта хозяйствования, в том числе и промышленного предприятия, строится на многочисленных связях и взаимозависимостях с вышестоящими предприятиями, потребителями и поставщиками, политическими и другими и институтами. Учет составляющих внешней среды позволяет обосновано выработать стратегии в отношении имеющихся конкурентов. В связи с этим, при построении систем оценки возникает необходимость совместного применения показателей внешней (макро- и микроэкономической) и внутренней среды бизнеса.

8. *Принцип информационной достаточности.* Реализация данного принципа направлена то, чтобы информация, формируемая в рамках системы показателей, была максимально достаточной для оценки реального состояния предприятия, поэтому построение системы показателей, с одной стороны, должно базироваться на информационных потребностях разных уровней управления, с другой стороны, не перегружать систему менеджмента излишними несущественными данными.

9. *Принцип однозначной интерпретации используемых показателей* достигается за счет следования установленным в научной практике методикам расчетов и применения научно аргументированных подходов обработки и анализа показателей эффективности. Соблюдение принципа однозначной интерпретации означает, что информация, которую обеспечивают показатели, не должна допускать возможности ее многозначного толкования, что, в свою очередь, является обязательным условием объективности оценки и доказательством адекватности полученных результатов.

10. *Принцип сопоставимости используемых показателей.* Соблюдение данного принципа обеспечивает менеджменту возможность сравнимости и соизмеримости показателей, входящих в систему, по различным признакам: единицам измерения, методам расчета, способам получения информации, временным параметрам.

Обобщая изложенное, следует отметить, что, критерии оценки стратегического управления нельзя устанавливать категорично для всех хозяйствующих субъектов, поскольку они характеризуют не только уровень развития, но и производственные особенности конкретного предприятия. Однако разработка перечня показателей эффективности может и должна основываться на принципах, лежащих в основе общепризнанных современных подходов оценки эффективности.

Библиографический список

1. Управление эффективностью бизнеса. Концепция Business Performance Management / Е.Ю. Духонин [и др.]. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. – 269 с.
2. **Зенкина, И.В.** Основы формирования системы показателей экономического субъекта в русле современных концепций стратегического управления // Экономический анализ: теория и практика. 2009. № 27. С. 34-39.
3. **Лукаевич, Л.Л.** Финансовый менеджмент / Л.Л. Лукаевич. – М.: ЭКСМО, 2008. – 768 с.
4. **Ольве, Н.-Г.** Сбалансированная система показателей. Практическое руководство к использованию / Н.-Г. Ольве, О. Ж. Рой, М. Ветер. – М.: ООО «И.Д.Вильямс», 2006. – 304 с.
5. <http://www.stroibk.ru/library/r/elevan.htm>

*Дата поступления
в редакцию 02.07.2010*

T.V. Kalugina, I.B. Guseva

THE DEVELOPMENT OF PRINCIPLES FOR CONSTRUCTING A SYSTEM OF EFFICIENCY PARAMETERS FOR INDUSTRIAL ENTERPRISES ON THE BASIS OF MODERN CONCEPTS OF STRATEGIC MANAGEMENT

The questions how to form a set of parameters for estimation of industrial enterprises efficiency are considered in the article. The review of basic approaches to efficiency estimation was made within the limits of the Value-Based Management and the Performance Measurement concepts. The authors formulated and proved the main principles for constructing a system of parameters for estimation of modern industrial enterprises.

Key words: efficiency, value-based management concept, performance measurement concept, system approach, system of parameters, industrial enterprise, key strategic indicators.

УДК 330.35

Д.А. Корнилов

ТЕНДЕНЦИИ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НАУЧНО-ИННОВАЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ В РФ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева

Проведен анализ стратегии развития науки и инноваций и стратегии развития Роспатента. Рассмотрены ключевые показатели инновационной активности, сделан прогноз.

Ключевые слова: стратегия, инновации, инновационная политика, инновационная активность, прогноз.

В соответствии со Стратегией развития науки и инноваций в Российской Федерации на период до 2015 года, утвержденной Межведомственной комиссией по научно-инновационной политике [1] разработана и принята Стратегия развития системы Роспатента до 2015 года. Одной из основных задач этой Стратегии является развитие институтов трансфера знаний и технологий и обеспечение эффективной правовой охраны результатов исследований и разработок, а также обеспечение учета и контроля научных и научно-технических результатов, полученных за счет бюджетных средств.

В области инноваций, несмотря на актуальность и популярность темы, остается масса недостаточно изученных вопросов, например:

- взаимосвязь между нововведениями и конкурентоспособностью экономической системы;
- оценка эффективности инновационного развития экономической системы;
- взаимосвязь инновационной активности субъектов экономики с экономическим ростом;
- инновационный потенциал и его оценка;
- прогнозирование инновационных показателей.

В теоретическом аспекте для развития инновационной системы в РФ было рассмотрено несколько возможных концептуальных подходов: рыночный эволюционный, рыночный радикальный, институциональная «достройка», инновационно-активный, «знание-активный».

В качестве выбора направлений решения проблем в сфере инновационной деятельности на период до 2015 года в соответствии со Стратегией развития науки и инноваций выбраны два основных сценария: инерционный и активный.

Инерционный сценарий предполагает реализацию двух основных независимых направлений: широкомасштабная модернизация отраслей РФ на основе собственных исследований и разработок и на базе импортных технологий.

Активный сценарий рассчитан на решение проблемы инноваций сразу в нескольких сферах: усиленное развитие приоритетных направлений, создание эффективной инновационной инфраструктуры, широкая модернизация отраслей РФ.

К реализации в рамках разработанной Стратегии принят активный сценарий. К основным рискам реализации активного сценария отнесены: неготовность или противодействие аппаратов федеральных органов; ухудшение макроэкономической ситуации, в том числе неблагоприятные изменения международной политической, экономической и технологической конъюнктуры; ошибки в прогнозе эффективности сектора исследований и разработок, а также в предпринимательском секторе к внедрению инноваций.

По оценкам Минобразования и науки, лимитирующим фактором реализации данного сценария может стать готовность российских компаний к квалифицированному вхождению в технологические инвестиционные проекты и способность ежегодного освоения инвестиций на указанные цели в пределах 10–15 млрд долл.

Перечислим основные задачи, на решение которых направлена Стратегия:

- создание конкурентоспособного сектора исследований и разработок и условий для его расширенного воспроизводства;
- создание эффективной национальной инновационной системы;
- развитие институтов использования и правовой охраны результатов исследований и разработок;
- модернизация экономики на основе технологических инноваций.

В качестве критериев решения поставленных задач определены целевые показатели и их значения. Список целевых показателей разделен на четыре группы в зависимости от решаемой задачи. Наиболее значимые показатели приведены в табл. 1.

Таблица 1

Целевые показатели и их значения

Целевые показатели	2004 г.	Целевое значение на 2015 г.
Внутренние затраты на исследования и разработки в % к ВВП	1,17	2,5
Удельный вес внебюджетных средств во внутренних затратах на исследования и разработки (%)	39,4	70,0
Удельный вес вузовского сектора науки во внутренних затратах на исследования и разработки (%)	5,5	20,0
Удельный вес научных организаций, имеющих доступ в Интернет по выделенным каналам связи (%)	33,9	100
Коэффициент изобретательской активности развития науки и инноваций (число патентных заявок на изобретения, поданных российскими заявителями в стране, в расчете на 10 тыс. населения)	1,60	5,5
Удельный вес инновационной продукции в общем объеме продаж промышленной продукции на внутреннем рынке (%)	5,6	18,0
Удельный вес организаций предприятий промышленности, осуществляющих технологические инновации, в общем их числе организаций (%)	10,5	20,0
Удельный вес предприятий, осуществлявших организационные инновации, в общем их числе (%)	28,5	60,0

Далее в работе будет проведен анализ динамики изменения одного из целевых показателей – коэффициента изобретательской активности (КИА).

По итогам сравнения выбранных показателей за 2002–2004 гг., Россия в среднем отстает от ЕС и таких зарубежных стран, как США, Япония, Германия, Республика Корея, на 50% и более. По итогам реализации Стратегии предполагается, что РФ к 2015 году достигнет среднего уровня рассматриваемых показателей по этим странам в 2002–2003 гг.

Перечислим Стратегические направления развития системы Роспатента [2]:

1. Обеспечение правовой охраны объектов интеллектуальной собственности и регистрации прав на них.
2. Формирование государственного патентного фонда и обеспечение его доступности.
3. Подготовка специалистов в области охраны и использования интеллектуальной собственности.
4. Осуществление контроля в сфере правовой охраны и использования результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения, выполняемых за счет средств федерального бюджета.
5. Осуществление международного сотрудничества.

По данным отчета Роспатента, за ряд лет сформировалась следующая динамика подачи заявок на объекты промышленной собственности (табл. 2) [3].

Таблица 2

Заявки в Роспатент на объекты промышленной собственности

Вид объекта	Подано в Роспатент заявок на объекты промышленной собственности									
	Годы									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Изобретение	28688	29989	29225	30651	30192	32254	37691	39439	41849	38564
Полезная модель	4631	6029	6696	7622	8948	9473	9699	10075	10995	11153
Промышленный образец	2290	2544	2344	3104	3453	3917	4385	4823	4711	3740
Регистрация товарных знаков и знаков обслуживания	42809	53124	43258	34954	40877	47087	52984	57262	57112	50107
Итого	78418	91686	81523	76331	83470	92731	104759	111599	114667	103564

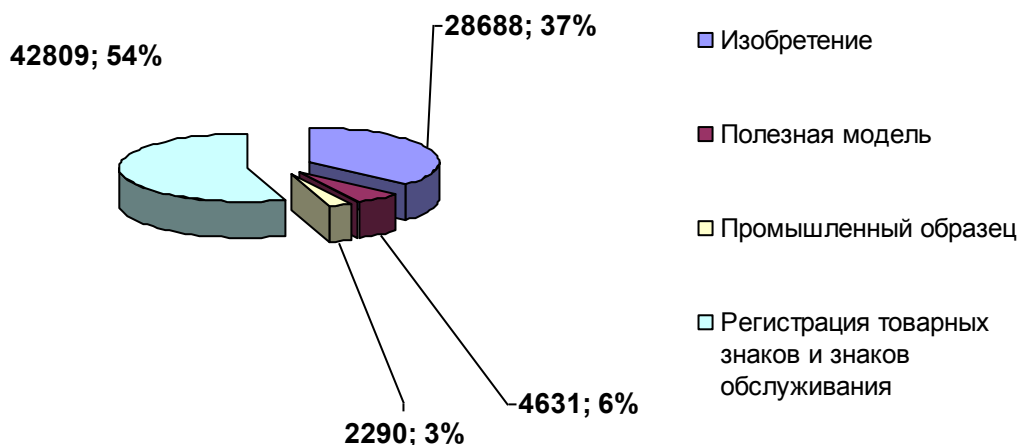


Рис. 1. Структура подачи заявок на ОПС в 2000 г.

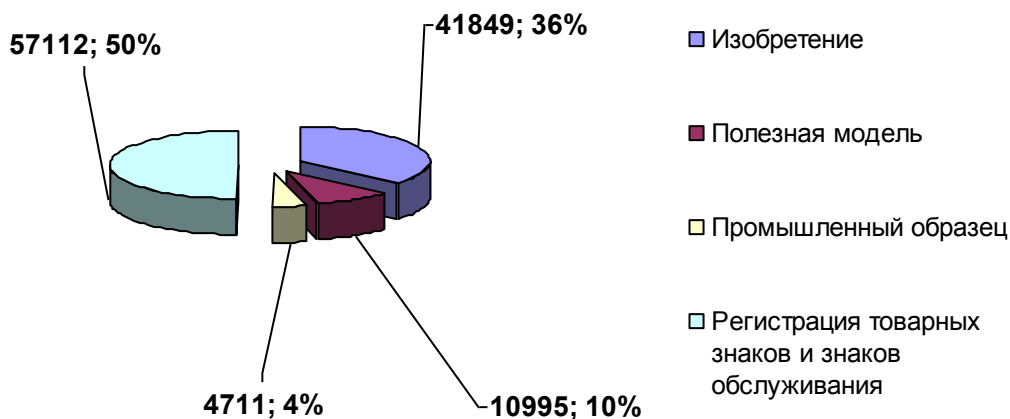


Рис. 2. Структура подачи заявок на ОПС в 2008 г.

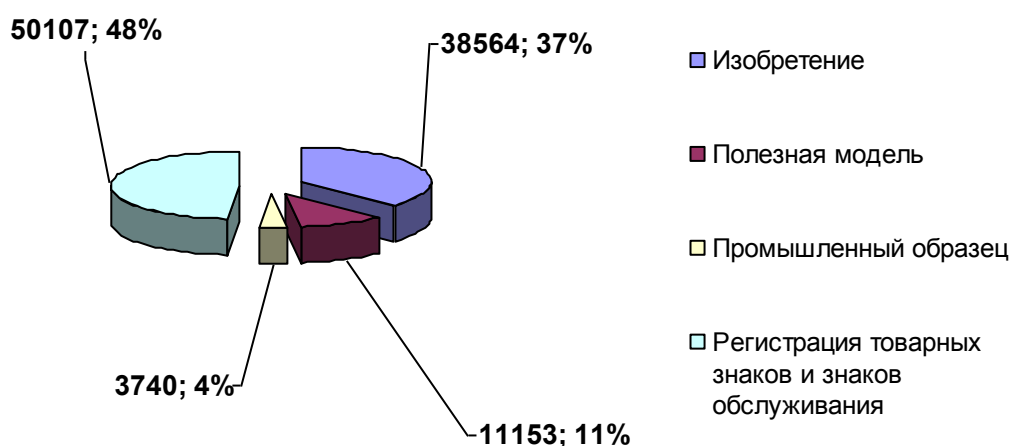


Рис. 3. Структура подачи заявок на ОПС в 2009 г.

Как видно из графиков рис. 1 – рис. 3, структура подачи заявок в 2008-2009 годах практически не изменилась, а по отношению к 2000 году незначительно снизилась доля заявок на товарные знаки. Отчасти это связано с достижением точки насыщения рынка по потребности в товарных знаках, а также с кризисом 2008 года

В целом в РФ, как и в остальных странах, можно назвать три основные причины изменения количества заявок на ОПС:

- увеличение доли инновационной продукции в ВВП;
- степень правовой защиты ОПС и повышение конкурентоспособности продукции;
- время и стоимость патентования ОПС.

Рассмотрим общую динамику изменения количества заявок по сравнению с 2000 годом (табл. 3).

Таблица 3

Динамика изменения количества заявок в 2009 г. по отношению к 2000 г.

Вид объекта	Индекс количества заявок в РФ 2009 г. по отношению к 2000 г.
Изобретение	1,34
Полезная модель	2,41
Промышленный образец	1,63
Регистрация товарных знаков и знаков обслуживания	1,17
Итого	1,32

Как следует из значения индекса количества заявок, темп роста инновационной активности в РФ за 10 лет по этому показателю увеличился на 17% по товарным знакам, на 141% – по полезным моделям и на 34% – по изобретениям.

Стоимость патентования на территории РФ низкая, отчасти это связано с низкой конкурентоспособностью многих отраслей и низкой дисциплиной соблюдения прав на ОПС. Большинство технологий финансируются бюджетом на стадии НИР, а не на стадии ОКР. Поэтому несмотря на общий рост количества заявок, патентов и свидетельств, наблюдается низкая инновационная активность в процессе трансфера технологий.

Например, договоров по исключительным лицензиям в 2009 году всего 228, а общее количество зарегистрированных лицензионных договоров – 2365 (табл. 4). Многие изобретения так и не доходят до промышленного применения [4].

Таблица 4

**Динамика регистрации договоров об отчуждении исключительного права на изобретения,
полезные модели, промышленные образцы и договоров
о предоставлении права их использования**

Показатели	2005	2006	2007	2008	2009
Договоры об отчуждении патента*	1281	1451	1674	1524	1054
Договоры исключительной лицензии	167	212	276	215	228
Договоры неисключительной лицензии	674	751	902	1005	1083
Всего зарегистрировано договоров	2122	2414	2852	2744	2365
Поступило заявлений о предоставлении открытой лицензии	101	63	66	92	88
Опубликовано заявлений о предоставлении открытой лицензии	65	82	68	72	79

Сравните общую базу действующих охранных документов на объекты промышленной собственности (ОПС) с количеством лицензий (табл. 4, 5). Естественно, что многие ОПС используются для собственных нужд и являются фактором конкурентоспособности предприятий, но еще большая доля просто не доходит до производства [5].

Таблица 5

Действующие охранные документы на объекты промышленной собственности на 01.06.2010

Изобретения	179627
Полезные модели	52049
Промышленные образцы	23149
Наименования места происхождения товаров	112
Товарные знаки, поданные по национальной процедуре	257171
Товарные знаки, поданные по международной процедуре	144498

По срокам рассмотрения заявок на ОПС, несмотря на их общий рост, имеет место сокращение длительности регистрации [6]:

- по изобретениям - 9,5 мес.;
- полезным моделям - 1,5 мес.;
- промышленным образцам - 6 мес.;
- товарным знакам - 13,5 мес.

Составим прогноз подачи заявок при оптимистическом варианте ситуации в области патентования ОПС с учетом разработанной государственной Стратегии. Ряд трендов по заявкам на основе табл. 2 представлен на рис. 5.

Количество запатентованных изобретений является своеобразным индикатором активности создания инноваций и характеризуется коэффициентом изобретательской активности (КИА) – количеством заявок на выдачу патентов Российской Федерации на изобретения, поданных российскими заявителями, в расчете на 10 тыс. населения. Рост этого показателя прогнозируется Роспатентом с 2,05 в 2010 году до 2,28 в 2015 году. Ориентируясь на этот индикатор активности, необходимо понимать, что в 2010 году ожидается рост заявок по всем объектам интеллектуальной собственности на уровне 130-140 тыс., а в 2015 году – на уровне 200 тыс. (табл. 6). В соответствии со Стратегией развития науки и инноваций рост значения этого целевого показателя запланирован к 2015 году до 5,5.

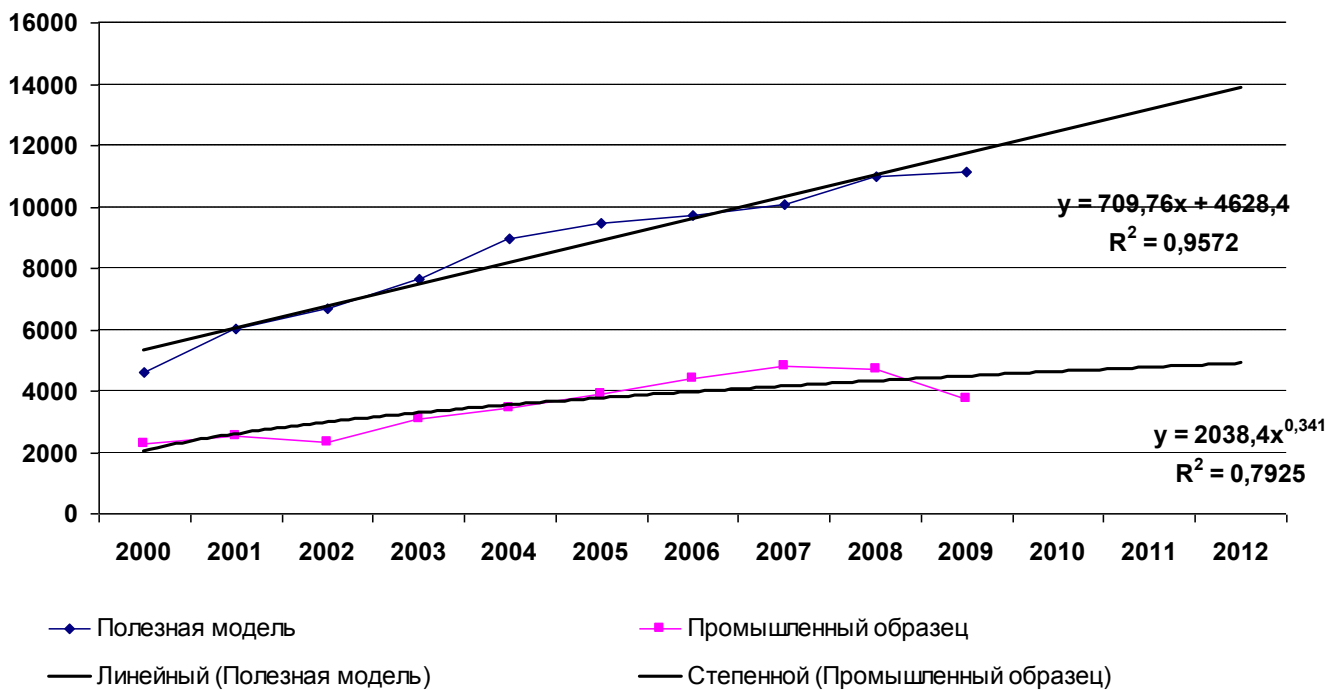
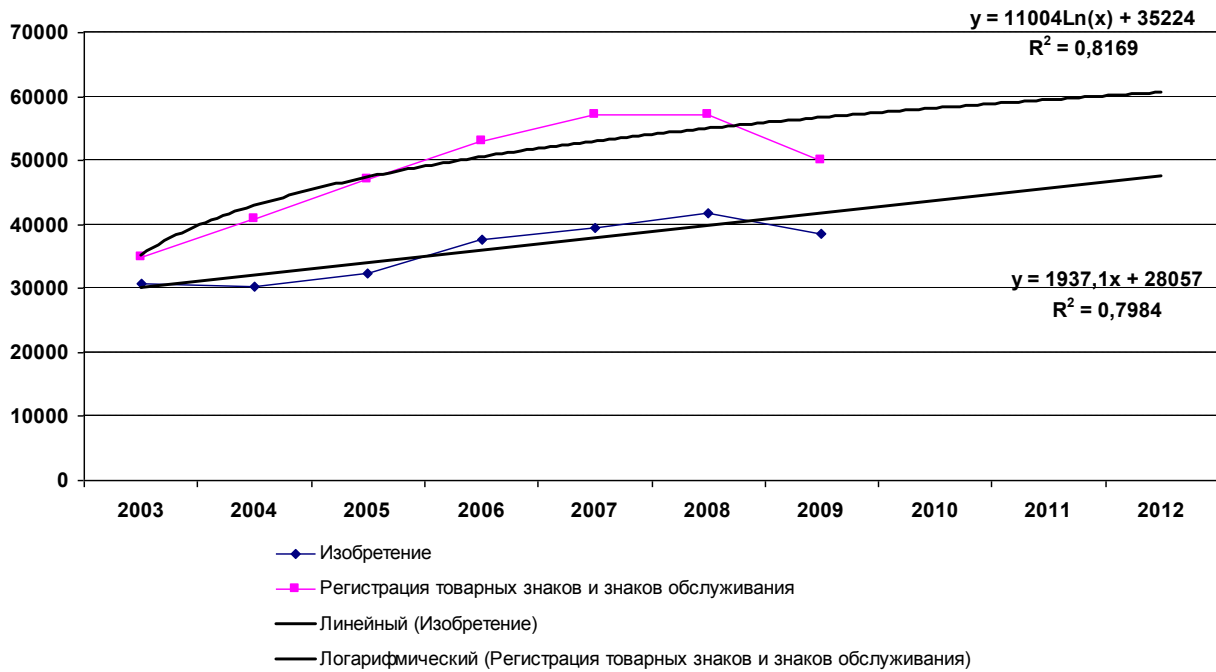


Рис. 5. Ряд трендов по заявкам

Таблица 6

Расчет и прогноз КИА по количеству заявок

Вид объекта	2009 г. факт	2012 г. прогноз	КИА 2009 г. (расчетное значение)	КИА 2012 г. (по данным прогноза)
Изобретение	38564	45044	2,71	3,17
Полезная модель	11153	13855	0,78	0,97
Промышленный образец	3740	4888	0,26	0,34
Регистрация товарных знаков и знаков обслуживания	50107	57522	3,52	4,05
Итого	103564	121309	7,28	8,53

Расчеты производились, исходя из данных о численности в 2007 году (142,2 млн чел.) и количества поданных заявок, а не выданных патентов по ним. Поэтому значение индекса по изобретениям несколько больше чем 2,28.

Рассмотрим изобретательскую активность в разрезе федеральных округов и ПФО с 2000 г. [7].

Таблица 7

Количество заявок, поданных российскими заявителями на изобретения по федеральным округам Российской Федерации с 2000 по 2009 гг.

Федеральные округа	Заявки на изобретения									
	2000г.	2001г.	2002г.	2003г.	2004г.	2005г.	2006г.	2007г.	2008г.	2009г.
Центральный	9954	9818	9875	11718	9885	10410	13983	13473	13377	12602
Приволжский	4351	4577	4244	4230	4140	4436	4403	4436	4279	3941
Северо-западный	2503	2620	2248	2157	2359	2250	2423	2442	2420	2095
Сибирский	2287	2520	2230	2399	2316	2367	2528	2591	2647	2418
Южный	2046	3135	3256	2592	2284	2227	2552	2555	2904	2899
Уральский	1544	1587	1390	1338	1400	1434	1425	1476	1537	1145
Дальневосточный	692	520	469	535	572	494	542	518	539	488
Округ не определен	-	-	-	2	29	26	28	14	9	10
Всего	23377	24777	23712	24969	22985	23644	27884	27505	27712	25598

Таблица 8

Динамика выдачи патентов Российской Федерации на изобретения за период с 2000 по 2009 гг.

Федеральные округа	Выдача патентов РФ на изобретения									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2007	2008	2009	
Центральный	6555	6315	6547	8505	7694	8935	8752	11276	13270	
Приволжский	2636	2610	2817	3712	3604	3389	3071	3435	3876	
Северо-западный	1566	1474	1690	1987	1823	1797	1702	1749	2215	
Сибирский	1373	1287	1570	1994	2044	1832	1783	2163	2446	
Южный	1020	955	1107	2682	2447	2031	1665	2015	2565	
Уральский	891	787	1030	1267	1055	1057	1100	1181	1460	
Дальневосточный	378	337	402	475	440	406	358	441	462	
Округ не определен	25	14	0	0	16	0	-	-	-	
Всего	14444	13779	15140	20621	19123	19447	18431	22260	26294	

Поскольку средний срок рассмотрения заявки на изобретение составляет 9-10 месяцев, то цифры в табл. 7 и табл. 8 следует скорректировать по времени.

Коэффициентный анализ изобретательской активности в регионах Российской Федерации в 2007–2009 гг. приведен в табл. 9 и табл. 10.

Таблица 9

Коэффициент изобретательской активности по федеральным округам Российской Федерации

Федеральные округа	Коэффициент изобретательской активности по федеральным округам Российской Федерации					
	количество поданных заявок на изобретения на 10000 человек			количество поданных заявок на полезные модели на 10000 человек		
	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.
Центральный	3.62	3.6	3.39	1.04	1.15	1.21
Приволжский	1.46	1.41	1.3	0.72	0.76	0.75
Северо-Западный	1.8	1.79	1.55	0.74	0.8	0.86
Сибирский	1.32	1.35	1.23	0.42	0.49	0.5
Южный	1.12	1.27	1.26	0.25	0.28	0.3
Уральский	1.2	1.25	0.93	0.74	0.83	0.76
Дальневосточный	0.79	0.83	0.75	0.22	0.21	0.21
Всего	1.93	1.95	1.80	0.67	0.73	0.75

Абсолютным лидером является Центральный федеральный округ. ПФО занимает третье место среди семи федеральных округов РФ по количеству поданных заявок на изобретения [7].

Таблица 10

Коэффициент изобретательской активности по регионам Приволжского федерального округа Российской Федерации

Наименование региона	Коэффициент изобретательской активности по регионам Приволжского федерального округа Российской Федерации					
	количество поданных заявок на изобретения на 10000 человек			количество поданных заявок на полезные модели на 10000 человек		
	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.
Республика Татарстан	2.02	1.75	1.75	1.24	1.04	0.98
Республика Башкортостан	1.76	1.52	1.46	0.43	0.47	0.4
Самарская область	1.98	2.01	1.58	1.44	1.42	1.22
Нижегородская область	1.19	1.24	1.15	0.69	0.85	0.85
Пермский край	1.84	1.88	1.62	0.63	0.73	0.68
Саратовская область	1.3	1.15	1.21	0.78	0.74	0.68
Удмуртская Республика	1.01	1.1	0.7	0.58	0.5	0.67
Ульяновская область	1.93	1.93	2	0.91	1.39	1.46
Кировская область	0.68	0.53	0.67	0.33	0.34	0.4
Пензенская область	1.05	1.19	1.18	0.53	0.51	0.69
Чувашская Республика	1.1	1.23	0.98	0.47	0.64	0.85
Оренбургская область	0.5	0.53	0.55	0.27	0.24	0.24
Республика Марий Эл	1.98	2.32	2.01	0.21	0.37	0.51
Республика Мордовия	0.53	0.46	0.5	0.38	0.64	0.77
Коми-Пермяцкий АО	0	0	0	0	0	0
Всего	1.46	1.41	1.3	0.72	0.76	0.75

В ПФО лидируют по заявкам на изобретения Республика Марий Эл и Татарстан. Нижегородская область находится на седьмом месте (совместно с Саратовской областью) среди 15 регионов ПФО.

В 2008–2009 гг. произошли значительные изменения в сфере гражданско-правовой кодификации законодательства в сфере интеллектуальной собственности. Это связано с вступлением в силу с 1 января 2008 г. четвертой части Гражданского кодекса Российской Федерации, а также изданием Роспатентом ряда административных регламентов в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 16 июня 2004 г. № 299:

- административный регламент по регистрации договоров о предоставлении права на изобретения, полезные модели, промышленные образцы, товарные знаки, знаки обслуживания, охраняемые программы для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных микросхем, а также договоров коммерческой концессии на использование объектов интеллектуальной собственности, охраняемых в соответствии с патентным законодательством Российской Федерации, утвержденный приказом Минобрнауки России от 29 октября 2008 г. № 321;
- административный регламент по осуществлению в установленном порядке продления срока действия патента на изобретение, промышленный образец, свидетельства (патента) на полезную модель, свидетельства о регистрации товарного знака, знака обслуживания, свидетельства на право пользования наименованием места происхождения товара, а также восстановления действия патента на изобретение, полезную модель, промышленный образец, пре-

кращенного в связи с неуплатой в установленный срок пошлины за поддержание его в силе, утвержденный приказом Минобрнауки России от 29 октября 2008 г. № 322;

- административный регламент по организации приема заявок на государственную регистрацию топологии интегральной микросхемы и их рассмотрения и выдачи в установленном порядке свидетельств о государственной регистрации топологии интегральной микросхемы, утвержденный приказом Минобрнауки России от 29 октября 2008 г. № 323;

- административный регламент по организации приема заявок на государственную регистрацию программы для электронных вычислительных машин и заявок на государственную регистрацию базы данных, утвержденный приказом Минобрнауки России от 29 октября 2008 г. № 324;

- административный регламент исполнения Федеральной службой по организации приема заявок на полезную модель, утвержденный приказом Минобрнауки России от 29 октября 2008 г. № 326;

- административный регламент по организации приема заявок на изобретение, утвержденный приказом Минобрнауки России от 29 октября 2008 г. № 327;

- административный регламент по организации приема заявок на регистрацию, утвержденный приказом Минобрнауки России от 29 октября 2008 г. № 328.

Подготовка разработанных регламентов направлена на развитие инновационной активности, большей открытости результатов НИОКР и правовой защищенности объектов промышленной собственности в РФ, а следовательно, и на развитие трансфера технологий.

По мнению авторов книги «Россия 2050 Стратегия инновационного прорыва» [8], изобретения являются важнейшей составной частью интеллектуального богатства страны, поэтому для улучшения их использования необходимо:

- провести инвентаризацию фонда отечественных изобретений;
- предусмотреть меры по использованию и внедрению крупнейших изобретений;
- содействовать повышению изобретательской активности;
- оказывать государственную поддержку при патентовании значимых изобретений в России и за рубежом;
- обеспечить эффективную защиту российской интеллектуальной собственности.

Выводы

Очевидна актуальность рассматриваемой проблематики. Вопросы стратегического выбора направления развития России на мировой арене осознаются как на федеральном уровне, так и на уровне субъектов федерации. В областях и регионах составляются стратегии развития на средне- и долгосрочную перспективы. Особенно большое внимание в разрабатываемых стратегиях уделяется инновационным аспектам. Составляются инновационные стратегии развития на уровне РФ и отдельных хозяйствующих субъектов. Отдельно формируются законы, постановления и программы в области поддержки и реализации инновационных стратегий.

Одна из ярко выраженных и устойчивых негативных тенденций инновационной деятельности в России – низкая отдача от инноваций.

Библиографический список

1. Стратегия развития науки и инноваций в Российской Федерации на период до 2015 года.
2. Стратегия развития системы Роспатента до 2015 года.
3. <http://www1.fips.ru> – Роспатент.
4. <http://www1.fips.ru> – Отчет Роспатента за 2009 гг.
5. <http://www1.fips.ru> – Отчет Роспатента за 2009 гг.

-
6. <http://www1.fips.ru> –Отчет Роспатента за 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 гг.
 7. Кузык, Б.Н. Россия 2050 Стратегия инновационного прорыва / Б.Н. Кузык, Ю.В. Яковец. – М.: Экономика, 2005. – 621 с.

*Дата поступления
в редакцию 13.7.2010*

D.A. Kornilov

**TENDENCIES AND DIRECTIONS OF DEVELOPMENT
OF THE SCIENTIFICALLY-INNOVATIVE POLICY IN THE RUSSIAN FEDERATION**

In article the analysis of strategy of development of a science and innovations and strategy of development of Rospatent have been carried out. Key indicators of innovative activity were considered. The forecast were made.

Key words: strategy, innovations, the innovative policy, innovative activity, the forecast.

СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ, ИННОВАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ, PR-ТЕХНОЛОГИИ

УДК 316.42

Н.В. Смирнова

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНТЕРНЕТ-КОММУНИКАЦИЙ: ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Целью статьи является систематизация возможностей и ограничений человеческой жизнедеятельности, обусловленных пятой информационной революцией – в сфере сетевых коммуникаций. Киберпространство Интернета как нечетко структурированный гипертекст и новая форма социальных взаимодействий существенно расширяет границы человеческой свободы. Но одновременно создает сложную систему рисков, порождающих барьеры в реализации этой свободы. Необходимость минимизации таких рисков выдвигает новые требования к организации всей жизнедеятельности индивида и общества.

Ключевые слова: виртуальная реальность, виртуальный социум, гипертекст, киберпространство, сетевые коммуникации, возможность, ограничение.

Интернет-коммуникации, о возможностях и ограничениях которых пойдет речь в данной статье, стали проявлением пятой информационной революции, которая, по мнению исследователей, интегрирует результаты всех предшествующих. Печатный станок Гутенберга обеспечил массовое распространение и сохранение общедоступной информации, телефон стал первым средством личной коммуникации, радио привело к появлению понятий «информационное пространство» и «коммуникационная сеть», а персональный компьютер позволил высвободить творческие силы человека, передав техническому устройству рутинные интеллектуальные действия.

Пятую информационную революцию, разворачивающуюся на наших глазах с конца 80-х гг. XX века, в отличие от предыдущих, характеризует мультипликативный эффект: она привела к появлению сетевых коммуникационных технологий, уничтожила пространственные и временные ограничения и, тем самым, изменила всю общественную жизнь человека. Если прежде речь шла о новых способах передачи информации, с появлением компьютера – о новом способе организации и оперирования знанием, то революция в сфере телекоммуникаций обусловила становление виртуальных социальных структур и фактически «удвоила» социальную реальность.

Реальные и виртуальные взаимодействия индивидов и их групп дополняют и заменяют друг друга, создают принципиально отличные друг от друга системы ролей, статусов и сообществ. Фактически на наших глазах происходит становление второго, виртуального общества. Оно столь же реально, как то, в котором изначально разворачивается жизнедеятельность человечества. Оно создает принципиально новые возможности, изменяет традиционные и порождает новые проблемы человечества, кардинально расширяет рамки человеческой свободы и вводит ее новые, существенные ограничения.

Исследования виртуальной реальности в широком смысле – мира ментальных дейст-

вий человека, существующего помимо мира предметно-практических действий, насчитывают не одну тысячу лет. Психическая жизнь человека и интеллектуальная деятельность как ее важнейший компонент разворачиваются в интеллигентных формах: как мысленное моделирование и преобразование реальности. Если спросить «человека с улицы», чем отличается человек от животного, то стандартным ответом будет: сознанием, мышлением. Верующий в Бога, скорее всего, даст канонический вариант ответа: образом Божиим, воплощенным в человеке. Философ добавит: способностью выходить за рамки естественного бытия, творить вторую природу – мир культурных вещей и смыслов. И, по сути, правы все: человек способностью к творчеству уподобляется Демиургу (Создателю), силой сознания и интеллекта изменяет мир природы, творит мир культуры и самого себя. Но творчество человека и есть виртуальный процесс: мысленно мы оперируем с образами материального мира и лишь впоследствии – с ним самим. Если понимать под виртуализацией любое замещение реальности ее образом, то творчество или восприятие его результатов (например, чтение книги) есть виртуальный процесс. А человек и отличается от животных способностью реализовывать свои силы в двух реальностях: предметно-практической и виртуальной.

С появлением компьютера возникает принципиально новая форма виртуальной реальности – киберпространство как среда, генерируемая или опосредованная компьютерными технологиями. Исследователи более четверти века изучают киберпространство. Но если до 90-х годов прошлого столетия информационные процессы исследовались преимущественно в технико-технологических проявлениях, то впоследствии резко возрастает интерес к социокультурным аспектам киберпространства.

Научный анализ Интернет-коммуникаций осуществляется около пятнадцати лет. И за последние годы количество публикаций по проблемам сетевых коммуникационных технологий и за рубежом, и в России возрастает буквально по экспоненте. При этом интерес к генезису технических систем, обеспечивающих сетевые коммуникации, перестает быть доминирующим. В центре внимания оказываются проблемы социальных взаимодействий, прежде всего в сети Интернет, а также процессы изменения способов организации человеческой деятельности посредством компьютерных технологий. Уходит в прошлое и гедонистическое восприятие возможностей, предоставляемых человеку Интернет-коммуникациями. Очевидные с самого начала становления сети Интернет проблемы эскапизма – ухода от реальности в виртуальное пространство – дополняются все новыми проблемами и рисками массового сетевого взаимодействия. Большая часть из них имеет социальный характер, а проявления их многообразны: правовые, политические, культурные, межэтнические, семиотические и т.д.

В данной статье не ставится задача выявления принципиально новых аспектов многообразных коммуникаций в сети Интернет. Ее цель – систематизировать качественно новые возможности и ограничения человеческой жизнедеятельности, порожденные сетевыми коммуникационными технологиями.

Интернет может быть рассмотрен и как нечетко структурированный глобальный гипертекст, и как специфические социальные отношения, складывающиеся между людьми и их группами в процессе виртуальной коммуникации [1]. Интернет как гипертекст имеет вид семиотического пространства, принимающего форму ризомы. В этом пространстве люди оперируют со знаками при помощи современных компьютерных технологий. Смыслы обозначаемого, с одной стороны, обуславливаются социальными формами и структурами взаимодействий, с другой, – сама форма сетевых коммуникаций, задаваемая технологическими основами взаимодействия, способна породить как новые смыслы, так и новые социальные структуры.

Такое взаимовлияние и взаимопорождение социального и технического задает новый ракурс анализа проблем Интернет-коммуникаций. Мы бы назвали его не традиционным термином «междисциплинарный», а обозначили как полидисциплинарный, т.е. требующий привлечения знаний и исследовательских методов очень широкого круга научных дисциплин и направлений. Даже само использование биологического термина «ризома» применительно к

Интернету как к нечеткому семантическому множеству и социальной структуре, воспроизводящейся по принципу пульсара, свидетельствует о полидисциплинарности его проблем. Технический, естественнонаучный, логико-математический, социологический и лингвистический дискурсы не просто дополняют, но взаимно увеличивают аналитико-описательные возможности друг друга.

Выдвинем предположение, что такое сложное взаимодействие системно-специфических научных языков и исследовательских инструментов центрировано семантическими (или семиологическими, по терминологии Ф. де Сосюра) аспектами. Семиотика исследует свойства знаков и знаковых систем как естественных, так и искусственных, семантика как ее раздел – отношение знаков к обозначаемому. Если виртуальная реальность в широком смысле есть пространство существования любых символических конструкторов, то коммуникации в сети Интернет разворачиваются в пространстве социокультурных символов и систем.

Таким образом, тот глобальный объем информации, который и образует Интернет-пространство, формируется электронными системами, и в этом смысле Интернет есть технология, но сущность его не технологична, а социальна. Она задается человеческими смысловыми конструктами, которые порождаются и трансформируются в процессе социального взаимодействия.

Итак, перечислим основные возможности и ограничения человеческой жизнедеятельности, создаваемые Интернет-коммуникациями. Под возможностью в данном случае будем понимать ту логическую интерпретацию движения, которую предложил еще Аристотель, используя принцип удвоения бытия: «... Возникновение может совершаться не только – привходящим образом – из несуществующего, но также можно сказать, что всё возникает из существующего, именно из того, что существует в возможности, но не существует в действительности» [2]. Это означает, что возможности Интернет-коммуникаций не есть нечто, возникшее из несуществующего, из «ничего», они фиксируют объективные тенденции изменения человеческой жизнедеятельности, порожденные технико-семиотическими особенностями киберпространства Всемирной паутины. В то же время, существуя на основе технологической действительности, они выступают именно как возможности в философском смысле:

- часть их существует лишь как потенции либо для всего человечества, либо для отдельных стран, регионов, социальных групп и индивидов;
- потенциальные возможности при определенных условиях (социальных, технологических, психологических и др.) способны становиться реальными;
- сам Интернет как гипертекст, виртуальный социум и технология является возможностью конструирования n -мерного семантического, социального и технологического пространства.

Под ограничениями будем понимать те требования к человеку и его деятельности, которые создаются новыми рисками, порожденными Интернет-коммуникациями в их технологическом и социокультурном проявлениях.

К возможностям и ограничениям, создаваемым Интернет-коммуникациями, относятся следующие:

1. Практически безграничным становится доступный массив информации, что существенно расширяет границы самореализации человека. Безграничность характеризует не только объем, но и структуру информации: от научного знания до информации рекреационного характера самого различного содержания и форм. Особое значение приобретает доступность профессиональной информации: к профессиональному знанию, ранее являвшемуся преимущественно достоянием специалистов, приобщаются самые широкие слои населения. Научная информация для большинства жителей экономически развитых стран становится лично-значимым знанием. Это приводит, с одной стороны, к качественно новым возможностям использования профессиональной информации, с другой, – к практически неограниченным возможностям дистанционного и самообразования. В сфере институционализиро-

ванного образования меняются не только содержание и формы, но сам смысл и цели образовательного процесса. Вместо специализированной подготовки к узкой сфере деятельности через традиционную трансляцию знания высшая школа начинает решать задачи по формированию универсальной профессиональной способности работника быть востребованным на рынке труда, независимо от его структурных изменений.

Ограничения:

- необходимость специальной подготовки по поиску, обработке и рациональному хранению информации;
- технологическая способность и социокультурная готовность к ценностно-смысловому ранжированию информации, в том числе к различению информации-цели и информации-средства. Гуманитарное знание в связи с этим приобретает новый статус, начинает органически включаться в технологический поиск и техническое проектирование;
- готовность не только к рациональному поиску и хранению информации, но к ее эффективному использованию, что предполагает новые требования к аналитическим и творческим способностям человека;
- психологическая готовность адаптироваться к нарастающим информационным потокам;
- необходимость общественного и государственного контроля над использованием отдельных видов профессиональной информации (например, сегодня практически любой человек может получить информацию о способах изготовления взрывных устройств из подручных средств или о технологических эффективных способах взлома замков любой сложности).

В целом перечисленные ограничения порождают необходимость формирования информационной компетентности. А это означает способность и готовность индивида, организации, отрасли, национальной экономики к рациональному поиску, обработке, хранению, анализу и эффективному использованию информации для гуманитарно ориентированного решения проблем человека и общества.

2. Технологические возможности Интернет-коммуникаций существенно меняют хозяйственный базис общества: традиционное трехсекторное хозяйство (добывающий и обрабатывающий секторы, а также сектор услуг), во-первых, сменяется четырехсекторным. Во-вторых, добавившийся сектор производства, обмена, распределения и потребления информации становится ведущим: он определяет темпы и направления развития трех остальных секторов. Быстрота и относительно низкая стоимость получения информации значительно повышают экономическую эффективность человеческой деятельности на индивидуальном и корпоративном уровнях. Растущая производительность труда приводит к перераспределению труда: из добывающего и обрабатывающего секторов наемный труд интенсивно перемещается в сектор информации и сферу услуг. Информация «отрывается» от материальных носителей и становится самостоятельным товаром на информационном рынке. Технологическая информация значительно увеличивает темпы экономической и социальной динамики.

Ограничения:

- даже незначительные информационные изменения начинают определять состояние остальных рынков, в том числе и финансовых. Структурные кризисы экономики дополняются и усиливаются организованными и спонтанными информационными воздействиями;
- быстрота технологических изменений приводит к лавинообразному выбросу на рынки все новых и новых товаров, что резко повышает уровень рыночной конкуренции и постоянно меняет требования к конкурентоспособности наемного работника, предприятия, отрасли, национальной системы хозяйства;
- снижение издержек на сам процесс производства сопровождается существенным ростом инвестиций в информацию, обеспечивающую как производство, так и реализацию товара. Это, в первую очередь, относится к инвестициям в инновации и транзакционным издержкам;

- новые формы виртуальной хозяйственной деятельности создают не только новые возможности обмена, производства, распределения и потребления всех видов товаров, но и порождают новые формы экономических преступлений, соответственно возрастают издержки на обеспечение информационной безопасности хозяйственной деятельности;
- научно-технологические лидеры-страны и лидеры-корпорации стремятся монополизировать мировые и региональные рынки, создавая тем самым неблагоприятные условия для значительной части продавцов.

В целом растущая производительность труда и снижение стоимости производства как для наемных работников, так и для предпринимателей сопровождается растущими рисками и связанными с ними инвестициями, а следовательно, воспроизводит также и растущую нестабильность рынка и общества.

3. Интернет-коммуникации порождают особые сетевые формы социального взаимодействия, по сути, новые формы общественной жизни. К ним относятся разнообразные Интернет-сообщества (e-community): веб-сайты, веб-форумы, чат-каналы, существующая примерно с 1998 г. блогосфера (веб-журналы или индивидуальные блоги, блог-сообщества), IM-программы или службы мгновенных сообщений, а также службы рассылки [3]. Интернет-сообщества не просто расширяют социальные возможности человека, они ликвидируют географические, государственные и временные барьеры социальной жизни, создают новый по структуре и возможностям социум. Виртуальные взаимодействия также способны выполнять компенсаторную роль, восполнять ограниченные в силу различных причин потребности человека в общении. Но компенсаторные и «расширительные» возможности виртуальных коммуникаций сопровождаются существенными ограничениями.

Ограничения:

- компенсаторная функция социального сетевого взаимодействия нередко оборачивается «эффектом Пигмалиона» - зависимостью творца от своего творения. Этот эффект заменяет возможности расширения социальной свободы на ее прямую противоположность – несвободу;
- бесконтрольность многих виртуальных действий значительно снижает уровень социальной безопасности личности. Персональные данные могут несанкционированно использоваться как отдельными людьми, так и корпорациями, спецслужбами и другими организациями;
- индивид, включенный в Интернет-коммуникации, рискует оказаться объектом целенаправленного манипулятивного воздействия, в том числе и в форме высокоэффективных социальных технологий. Такие воздействия могут носить негативный и даже личностно-разрушающий характер, что требует специального обучения технике социальной Интернет-безопасности;
- выявить, ограничить или пресечь девиантное поведение, в том числе и в формах прямого нарушения закона, в сетевых взаимодействиях намного сложнее, чем в предметно-практическом мире. В то же время его масштабы, обусловленные технологическими возможностями, постоянно растут, а формы становятся все многообразнее. Они варьируются от незаконного тиражирования интеллектуальной собственности до хулиганских и откровенно террористических действий.

Наконец, сами возможности Интернет-коммуникаций, точнее отсутствие доступа к ним, порождают новые формы неравенства между индивидами, регионами, странами. Владение современными технологиями открывает не только доступ к возможностям киберпространства, но становится основным условием успешности в мире реального, предметно-опосредованного взаимодействия.

Следует учесть и то, что за последние годы существенно изменилась специфика технологий: от синтеза операций, позволяющих за счет соблюдения параметров процесса получить заданные параметры результата, они превратились в сложные системы, комбинирую-

щие исследовательскую, инженерную и проектную деятельность. Разработка новых технологий давно перестала быть делом гениальных изобретателей и ученых-одиночек. Она стала коллективным, капиталоемким, производственным по своей сущности процессом. Поэтому страны и корпорации, обладающие значительными финансовыми и интеллектуальными ресурсами, способны монополизировать производство новых технологий, превращая остальных в вечных сателлитов, аутсайдеров. А это не только порождает новые формы неравенства, но делает разрыв между бедными и богатыми все более трудно преодолеваемым. Проблема бедности внутри страны уступает место проблеме неравенства между странами и регионами.

Перечисленные возможности и ограничения не являются исчерпывающими. Рамки данной статьи позволяют выделить лишь основные социокультурные параметры Интернет-коммуникаций, обусловленные электронными технологиями. Но и они дают возможность видеть, что мы живем в эпоху становления новых подходов к образованию, охране здоровья и безопасности человека, организации всей его жизнедеятельности. Без учета рисков и ограничений, создаваемых Интернет-коммуникациями, невозможно эффективно использовать порождаемые ими возможности личностного и социального развития.

Библиографический список

1. **Смирнова, Н.В.** Интернет как ризома: онтологические характеристики киберпространства // Актуальные проблемы социальной коммуникации: материалы 1-й международной научно-практической конференции / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2010.
2. **Аристотель.** Метафизика / Аристотель: [пер. А.В. Кубицкого]. – М.-Л.: Соцэкгиз, 1934. – 348 с.
3. **Смирнова, Н.В.** Веб-форум как разновидность сетевого сообщества // Актуальные проблемы социальной коммуникации: материалы 1-й международной научно-практической конференции / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2010.

*Дата поступления
в редакцию 07.06.2010*

N.V. Smirnova

ACTUAL PROBLEMS OF INTERNET COMMUNICATIONS: OPPORTUNITIES AND LIMITATIONS

Article purpose is ordering of possibilities and the restrictions of human ability to live caused by the fifth information revolution – in sphere of network communications. The Internet cyberspace as indistinctly structured hypertext and the new form of social interactions essentially expands borders of human freedom. But simultaneously creates difficult system of the risks generating barriers in realisation of this freedom. Necessity of minimisation of such risks makes new demands to the organisation of all ability to live of the individual and a society

Key words: virtual reality, virtual society, the hypertext, cyberspace, network communications, possibility, restriction.

УДК 316.774:654.1

А.В. Куликова

**ТЕЛЕВИДЕНИЕ КАК ТЕХНИКА КОНСТРУИРОВАНИЯ
ПОВСЕДНЕВНОСТИ: ГЕНДЕРНЫЙ АСПЕКТ**

Нижегородский институт менеджмента и бизнеса

В статье предпринята попытка, рассмотреть телевидение как технику конструирования повседневных гендерных отношений. Автор описывает особенности социологического и психологического подходов к изучению телевидения, социальные и психологические последствия массовой коммуникации на примере телевидения. На примере анализа гендерных стереотипов в рекламе телевидение рассматривается как фактор формирования системы традиционных гендерных отношений.

Ключевые слова: средства массовой коммуникации, телевидение как вид коммуникации, социологический и психологический подходы к изучению телевидения, проявление гендерных стереотипов в рекламе.

Особенность современного общества - стремительно возрастающий объем массовой информации. Телевидение, пресса, радио, компьютерные системы обеспечивают глобализацию повседневного общения. И сегодня можно уже говорить о появлении нового жизненного мира, в котором формируется иной социокультурный тип человека.

Средства массовой информации расширили возможность культурного обмена, распределения культурных ценностей и вызвали к жизни феномен массовой культуры, характеризующейся массовым потреблением, некоторой примитивизацией человеческих отношений, культом внешнего успеха, обесцениванием высоких культурных ценностей. Система коммуникаций современного общества ориентирована на абстрактные личности, на человека массы, ее цель - распространение информации при помощи технических средств для больших и рассредоточенных аудиторий, удовлетворение массовых потребностей.

При помощи средств массовых коммуникаций формируется идеология общества, отношение социальных слоев к общественно значимым явлениям. СМИ являются регулятором массовых форм поведения, так как создают совокупность идей и представлений, чувств и настроений, отражающих различные стороны жизни социума. Коммуникация определяет формирование культуры, поскольку «мы видим... реальность не такой, как она есть, но такой, как наши языки позволяют нам ее видеть. А наши языки – это наши средства массовой информации. Наши СМИ – наши метафоры. Наши метафоры создают содержание нашей культуры» [7, с. 315].

Таким образом, средства массовой коммуникации являются не только привычным, повседневным элементом нашей жизни, но и формируют мир вокруг нас.

В данной работе предпринята попытка рассмотреть телевидение как технику конструирования повседневных гендерных отношений.

Телевидение и мир вокруг нас: социологический взгляд

Общеизвестно, что телевидение - составная часть средств массовой коммуникации. В результате поисков закономерностей в их развитии и функционировании возникли различные концепции и модели, большинство из которых связаны с представлением о коммуникации как о массовой передаче информации посредством использования технических средств и различного рода профессиональных приемов для воздействия на аудиторию.

На состояние науки о СМИ большое влияние оказала линейная модель коммуника-

ции, сформулированная в 1948 году американским социологом Г.Д. Лассуэллом: “КТО – общается ЧТО – по какому КАНАЛУ – КОМУ – с каким ЭФФЕКТОМ?” Основное внимание исследователя было обращено к процессу движения идей внутри общественного сознания. Эффектом, которого желательно достигнуть, является донесение информации без искажений [1, 11]. Существуют и другие модели коммуникации, которые скорее дополняют Лассуэла. Например, харизматическая модель коммуникатора, предложенная Дж. Голдхабером, М. Маклюэном (80-е годы XX века). Ее авторы считают, что успех телевизионной передачи новостей зависит меньше от информационного содержания, больше – от той харизмы личности, которая передает информацию.

Телевидение стало не только атрибутом домашней обстановки (телевизор сегодня есть почти в каждом доме), но и символом культуры второй половины XX века. Свое символическое содержание телевидение приобретает тем, что может представлять и заменять собой для телезрителей весь мир культуры. Этот факт наилучшим образом объясняет М. Маклюэн и его последователи [7, 9, 12]. Распространение телевидения создало новую «галактику коммуникаций», если воспользоваться маклюэновской терминологией. Хотя другие средства массовой информации не исчезли, но они были реорганизованы в систему, в центре которой находился именно телевизионный экран. Радио потеряло свою центральную роль, но выиграло в повсеместном распространении и гибкости, приспособив темы передач и методы к повседневной жизни людей. Фильмы транслировались таким образом, чтобы подходить телевизионной аудитории. Газеты и журналы стали специализироваться на целевой аудитории, но в то же время, заботясь о поставке информации доминирующему средству коммуникации – телевидению. Книги остались книгами, но списки бестселлеров пополнились названиями, относящимися к телевизионным персонажам, причем у авторов чувствуется желание, бессознательное или целенаправленное, превратить свои произведения в сценарии. Таким образом, жизнь людей, процесс коммуникаций стали строиться вокруг телевидения.

Причину, по которой телевидение стало основным видом коммуникации, М.Кастельс, вслед за У. Расселом Нейманом видит в следующем: «успех телевидения есть следствие базового инстинкта ленивой аудитории». [7, с. 317] Корни такого поведения в притягательности домашнего уюта после долгих дней напряженного повседневного труда и в недостатке альтернатив личностного и культурного включения в общество. При данных социальных условиях жизни в нашем обществе синдром минимальных усилий, который связывают с телевизионной коммуникацией, наверное, действительно мог бы объяснить быстроту и широту распространения ТВ. Стоит вспомнить хотя бы, как мы в своей повседневной жизни выбираем ТВ-канал. Редко кто заранее выбирает программу, которую хотел бы посмотреть. Как правило, первое решение – посмотреть телевизор, а затем переключать до тех пор, пока не найдется наиболее привлекательная или, что гораздо чаще, наименее скучная.

Телевидение выступает постоянным фоном нашей повседневной жизни. Повидимому, просмотр телевизионных программ представляет собой вторую крупнейшую категорию деятельности после работы и основное занятие, когда человек находится дома. Однако для правильного понимания роли СМИ в нашей культуре следует уточнить, что просмотр телевизионных передач, прослушивание радио ни в коей мере не исключает других занятий. Обычно это сочетается с выполнением домашних работ, с ужином, обедом, другими социальными взаимодействиями. Это составляет ткань нашей повседневной жизни.

М. Маклюэн рассматривал технологии массовой информации наподобие сырья и природных ресурсов, точнее, СМИ, особенно телевидение и радио, стали своеобразной окружающей средой, с которой мы непрестанно и автоматически взаимодействуем. Телевидение прежде всего означает «присутствие» других людей в доме, а это в свою очередь, важное свойство в обществе, где все больше людей живет в одиночестве.

Телевидение стало еще более «домашним», привычным с появлением сериалов и, тем более, реалити-шоу. Телевизионный сериал, как и, впрочем, реалити-шоу, воспроизводит повседневную жизнь в формах самой повседневной жизни, т.е. имитирует или конструирует

новую повседневность. Именно данной способностью они совершили «революцию в воспроизведении повседневной жизни» [8, с. 46]. Появилась возможность более пристально рассматривать те вещи, на которые в своей реальной повседневной жизни мы не обращаем внимания, поскольку нам их никто специально не показывает. Мы внимательно следим за жизнью героев на экране, переживаем за них. Они становятся для нас уже почти членами семьи, так как изо дня в день мы «встречаемся» с ними у себя на кухне за ужином или в гостиной на диване, обсуждаем их поступки со знакомыми и даже подражаем некоторым из них. И в итоге, каждый день, в определенное время спешим к экранам телевизоров, чтобы заглянуть в ту, другую реальность, другую повседневность.

Все большее количество людей предпочитают оставаться дома и смотреть телевизор, нежели ходить в церковь. Именно в этом Маклюэн видит один из признаков культурного сдвига в истории; сдвига, который произошел незаметно для большинства людей, но который обернулся невероятными последствиями для всех: «Мы становимся тем, что мы созерцаем вокруг себя...» [9].

Телевидение как фактор формирования системы гендерных отношений с точки зрения психологии

Телевидение как общественный институт в силу своих особенностей: каждодневность, доступность, существование в зоне психологической близости зрителя, полимодальности информационного языка, – является одним из самых значительных видов опосредованного общения и становится фактором, влияющим на развитие личности с самого раннего детства. Телевидение участвует в формировании коллективного массового сознания через расширение содержания индивидуального сознания. Это проявляется на уровне приобщения к новым видам и формам знания и на уровне углубления индивидуального опыта переживания и демонстрации определенных форм поведения в различных ситуациях. Но нередко эти новые формы знания, поведения стереотипизированы и искажают реальную действительность. Это, в частности, прослеживается при рассмотрении проблемы влияния телевидения на формирование системы традиционных, повседневных гендерных отношений. Ярким пример здесь может служить телевизионная реклама.

С одной стороны, реклама черпает свои образы из уже существующих стереотипов, с другой, – последние подкрепляются, создаются и распространяются СМИ. Здесь уместно вспомнить «теорему У. Томаса»: название, определение ситуации реально по своим последствиям. Таким образом, те гендерные образы, которые передаются нам средствами массовых коммуникаций, не только отражают реальную картину взаимоотношений полов, но и конструируют эту систему отношений.

При дальнейшем анализе полоролевых стереотипов рекламы будет использована концепция Лауры Малви – представительницы психоаналитической феминистической кинотеории [10]. Ее исходный тезис состоял в том, что форма фильма структурирована бессознательным патриархального общества и что женщине навязываются правила “чужой игры” – получение мужского типа удовольствия, например, от рассматривания женского тела. И действительно, если обратиться к результатам исследований образов рекламы [2, 3, 4, 5], например, то можно сделать вывод, что именно женщина, женское тело является самым главным символом. Женское тело знает множество применений, которые эксплуатируются рекламой. Его используют как “дверную ручку”, как “штопор”, как “стойку для торшера”, как “щипцы для орехов”... Женское тело продает автомобили, пиво, лосьон для бритья, средства для похудения, бриллианты... при этом женское тело не только продает, но и продается. Для многих мужчин обнаженная женщина являет собой самое прекрасное зрелище. Однако речь здесь должна идти не столько об удовольствии от рассматривания, сколько о том, каким об-

разом это “видение” оказывается источником формирования идентичности субъекта посредством зрительных практик.

Французский психоаналитик Жак Лакан, развивая свою концепцию “стадии зеркала”, показал, что определяющим моментом в формировании «Я» ребенка является ситуация узнавания себя в зеркале на основе идентификации себя с изображением. На этом основании формируется способность ко всем последующим вторичным идентификациям, которые в дальнейшем формируют, структурируют, дифференцируют личность субъекта. Жан Луи Бодри углубил представления о двойной идентификации, имеющей место в кино: идентификация с персонажем, с репрезентируемым - это вторичная идентификация, ее условием является первичная идентификация, т.е. отождествление себя с субъектом видения. В кино таким субъектом оказывается тот, чью точку зрения репрезентирует камера.

Идентификация, таким образом, является результатом структурной диспозиции взглядов, а не сознательным желанием зрителя отождествить себя с тем или иным персонажем на экране. Идентифицируя себя с объектом камеры (а зрителю ничего другого и не остается), зритель «одалживает» и ту идеологическую позицию, которую камера как субъект видения олицетворяет. Например, в хорошо поставленной сцене насилия он/она будет идентифицировать себя с насильником или жертвой, испытывая при этом садистские чувства или боль.

Таким образом, идеология участвует в формировании субъективной индивидуальности на уровне бессознательного: и именно так женщина-зритель посредством заимствования «мужского взгляда» принимает идеологию патриархального социума, которая ей навязывается. Л. Малви: «Скопофилический инстинкт (удовольствие от рассматривания другого человека в качестве эротического объекта) и, в противопоставлении, либидальное его (формирующие Я-процессы идентификации) выступают в виде моделей, механизмов, на действии которых умело играет кинематограф. Анализ образа женщины – (пассивного) строительного материала для (активного) взгляда мужчины – подводит далее к проблеме структуры такой кинореферентации... Идя значительно дальше простого подчеркивания женского бытия-под-взглядом (to-be-looked-at-ness), кино конструирует сам способ, каким женщина должна пребывать под взглядом в рамках зрелища как такового» [10, с. 293-294].

Итак, несмотря на радикальные изменения социальной жизни общества в последние десятилетия, женщина по-прежнему смотрит на себя глазами мужчины, представляя себя объектом его желаний. Огромная доля рекламируемой продукции демонстрируется на фоне красивых женщин, частей женского тела или в целом женских тел. Женское тело, в отличие от мужского, становится тем объектом, где соединены в целое общественная идеология и личная идентичность. Отношениям полов придается доиндустриальный, патриархальный, биологический смысл, а рекламная социализация закрепляет это положение вещей. Психологическая интериоризация и дальнейшее закрепление рекламно-поведенческих образцов совершенствуют этот процесс господства-подчинения между полами.

Таким образом, СМИ выступают основным транслятором гендерных стереотипов. Это проявляется различными способами: в навязывании устаревших представлений о женском и мужском предназначении; в трансляции искаженного образа современных женщин и мужчин; в замалчивании проблемы гендерной дискриминации, даже в прямых сексистских оценках типа «политика – не женское дело».

Проявление гендерных стереотипов в рекламе

Для рекламы характерно стереотипное изображение женщины и гендерных ролей. Хотя при использовании современной бытовой техники вовсе не требуется каких-либо специальных «женских» качеств. В связи со спецификой рынка, предлагающего в основном еду, одежду, средства гигиены или лекарства, реклама обращается именно к женщине как человеку, организующему семейное потребление в хозяйстве. Из общего объема телерекламы,

адресованной женщинам, 39% приходится на объявления, предлагающие ей средства ухода за собой (косметика, парфюмерия, лекарства), а остальные 61% рекламы предлагают женщинам средства ухода за домом, детьми, мужем. Среди рекламы, предлагающей женщине товары ухода за домом и семьей, 23% товаров ориентированы на женщину-мату и 38% - на женщину-прачку и уборщицу. Как отмечает Испанский женский институт, именно в рекламе стиральных порошков и чистящих средств женщину изображают как очень ограниченную [2]. Сегодня образ женщины меняется: все чаще на экранах можно встретить деловую современную женщину, однако она в основном озабочена своим внешним видом, здоровьем и гигиеническими проблемами.

В рекламе следует выделить ряд моментов, которые можно рассматривать как техники конструирования гендерных отношений. Распространенным приемом воспроизведения подчиненного, зависимого положения служит расположение фигур в пространстве, в интерьере. Женщины и дети в 68,8% рекламной продукции изображаются в положении лежа, на полу или в постелях/ на диванах, что является классическим примером отображения устоявшихся в реальном обществе взаимоотношений мужчин и женщин - превосходства одного пола над другим [5, с.125]. Мужчины изображены сидящими практически в два раза реже, а стоят почти в два раза чаще, чем женщины. Мужское изображение более динамично, тогда же как женские портреты отличает статичность. Женщины чаще изображаются стоящими, застенчиво согнув одну ногу в колене и склонив голову, что служит своеобразным способом проявления зависимости, так как наклон головы зрительно уменьшает человеческий рост и является символом покорности.

Следует отметить, что в некоторых рекламах женщина представляется явно глупее и недалевовиднее мужчины. Реклама по телевидению "Телемаркет": молодой мужчина терпеливо объясняет молодой девушке, сидящей возле компьютера, что такое "телемаркет". Выслушав, она виновато качает головой: "Не поняла". Ведущий устало говорит с экрана: "Для тех, кто понял - вот телефоны". Или же пример всем известного старого рекламного ролика жевательной резинки "Дирол", где компетентный мужчина объясняет женщине потребительские качества рекламируемого товара.

В маркетинге и рекламном бизнесе особенно популярны сюжеты, где по замыслу режиссера мужчина занимается явно немужским делом в местах, традиционно считающихся женскими - на кухне, в детской или в гостиной. Во время уборки он представляется нелепым, как будто в нереальной для него ситуации. Это образ никак не соответствует (согласно полоролевым стереотипам) настоящему роду занятий. Вспомним рекламу пылесоса LG: мужчина никак не может справиться с пылью на ковре и на диване, но тут приходит женщина с новым пылесосом и делает это легким движением руки.

В рекламе используется эффект скрытого убеждения. Например, в рекламном ролике не используются реальные мужские образы, но завуалированность такого типа рекламы отсутствующим мужчиной обнаруживает ее явную маскулинизированность. Весь образительный ряд, вся система знаковых сообщений рекламы направлено на то, чтобы отыскать мужчину: дымящаяся тарелка супа, рубашки и постельное белье, сияющие белизной.

Традиционная полоролевая дифференциации сфер деятельности мужчин и женщин характерна не только для России. Анализ рекламных текстов в ФРГ позволил исследователям сделать вывод: в некоторых из них гендерный фактор выдвинут на первое место. Данные рекламных текстов отсылают к стереотипным представлениям о социальной роли женщин и мужчин [6].

Как уже отмечалось, рекламой широко эксплуатируется женское тело, таким образом, женщины в большей степени, чем мужчины, выражают принадлежность к полу, их поведение в меньшей степени указывает на их социальный статус, в первую очередь интерпретируется с учетом сексуального восприятия. При всех колебаниях во взглядах на идеальное жен-

ское тело всегда остается образ нежной, стройной, миниатюрной, лишенной волос на теле, со слабыми мускулами женской фигуры. Это тело не должно свидетельствовать ни о силе, ни о самостоятельности, т.е. ни о каких бы то ни было властных полномочиях. Подобное положение вещей может иметь последствия в том, что мужчина будет воспринимать женщину прежде всего как сексуальный объект.

Итак, мир женского представлен с позиций патернализма и репрезентируется в рамках традиционно женского. И основная причина этого кроется в том, что мир женского симметрично повторяет биологическую, патриархальную интерпретацию истории, которая производится мужчинами. Клише, используемые в рекламе и рожденные маскулинно ориентированным типом сознания, призваны подчеркнуть естественность существующих в обществе гендерных отношений.

Подобное влияние средств массовой информации на индивида связано, с одной стороны, с феноменом массового сознания, являющегося следствием производства и распространения массовой культуры. Косность, неконцептуализированность массового сознания определяют его стереотипность. СМИ предлагают людям готовые шаблоны поведения, способов мышления, которые легко приживаются в массовом сознании. Но это заведомо упрощает и искажает реальность. Так происходит в сфере гендерных отношений. Телевидение и реклама, в частности, предлагают общепризнанную версию социального мира и взаимоотношений в нем, обращаясь прежде всего к устоявшимся традиционным гендерным стереотипам, не осознаваемым на рациональном уровне шаблонам мужчин и женщин.

Данное влияние усиливается еще больше в связи с тем, что телевидение стало непременным атрибутом повседневной жизни сегодня. Средства массовой информации в целом, особенно аудиовизуальные, действительно представляют в нашей культуре основу коммуникаций. Мы живем в среде СМИ, из них приходит большинство символических стимулов. СМИ – это культура, в которой предметы и символы соотносятся с телевидением: от домашнего интерьера до повседневного общения. Реальная власть телевидения в том, что оно выступает своеобразным фундаментом для построения других социальных процессов, структурирует язык социетальных коммуникаций.

Библиографический список

1. **Адамьянц, Т.З.** К диалогической коммуникации: от воздействия к взаимодействию / Т.З. Адамьянц. - М., 1999. – 124 с.
2. Воронина, О. Свобода слова и стереотипный образ женщины в СМИ/ О.Воронина // Знамя – 1999. №2. [Электронный ресурс]// Режим доступа: <http://magazines.russ.ru/znamia/1999/2/voronina.html>, свободный.
3. **Грошев, И.В.** Гендерная невербальная коммуникация в рекламе / И.В. Грошев // Социс. 1999. № 4.
4. **Грошев, И.В.** Гендерные образы рекламы // Вопросы психологии. 2000. № 6.
5. **Грошев, И.В.** Полоролевые стереотипы в рекламе // Психологический журнал. 1998. Т. 19. №3.
6. **Гусейнова, И.А.** Гендерный аспект в текстах современной рекламы / И.А. Гусейнова, М.В. Томская // Филологические науки. 2000. № 3. С. 32-48.
7. **Кастельс, М.** Информационная эпоха: экономика, общество и культура / М. Кастельс. – М: ГУ ВШЭ, 2000. – 608 с.
8. **Козырьков, В.П.** «Телевизионный» человек // Вестник ННГУ им. Н.И.Лобачевского. Серия Социальные науки. Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2001. Вып. 1. С. 43-49.
9. **Маклюэн, М.** Телевидение. Робкий гигант // Современные проблемы личности. 2001. № 1. С. 138–148. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://rl-online.ru/articles/1-01/20.html>, свободный.
10. **Малви, Л.** Визуальное удовольствие и нарративный кинематограф / Л. Малви // Антология гендерных теорий. – Минск: Пропилеи, 2000. – 384 с.

11. **Терин, В. П.** Основные направления исследований теории массовой коммуникации // Социологические исследования. 1997. №11.
12. **Эндрюс, Дж.** Новый взгляд на творческое наследие Маклюэна / Дж. Эндрюс [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.institute.org.ru/library/articles/1005579689.html>, свободный.

*Дата поступления
в редакцию 07.06.2010*

A.V. Kulikova

TV AS DESIGNING DAILY OCCURRENCE TECHNIQUES: GENDER ASPECT

In the article the attempt is undertaken, to consider TV as a technology of designing of daily gender relations. The author describes features of sociological and psychological approaches to TV studying, social and psychological consequences of a mass communication on an example of TV. On an example of analysis of gender stereotypes in advertising, the TV is considered as the factor of formation of system of gender relations.

Key words: Mass media, TV as a type of communications, sociological and psychological approaches to TV studying, display of gender stereotypes in advertising.

УДК 1/14

В.И. Казакова

МАРГИНАЛЬНОСТЬ: ОПЫТ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Темой настоящей статьи является феномен маргинальности, находящийся в настоящее время в центре рассмотрения многих философских и социологических дискурсов. В обществе знания, в пересечении трансгрессии и нормы маргинальное становится повседневным, подчас утрачивая свой первоначальный смысл. В наши дни оно может рассматриваться как экзистенциальное воплощение свободы в социальном пространстве, утратившем центр, принципиально важным здесь становится не столько собственно социальный, сколько экзистенциально-онтологический и гносеологический контексты. Уточняется понятие маргинальности в его соотношении с девиацией и аномией, анализируются её различные формы и основные моменты эволюции в рамках цивилизационного развития. Впервые феномен маргинального соотносён с процессами десакрализации пространства и времени; он рассматривается как топологическая характеристика социальной реальности, дающая ключ к раскрытию современного многообразия её смыслов.

Ключевые слова: маргинальность, эксклюзия, стратификация, социальный портрет, элита, интеллеktуал, феноменология, системный подход, граница.

Когда мы исключаем из общества людей в качестве живых и сознательных систем, они не утрачиваются для теории. Они лишь оказываются там, где их предполагали с фатальными следствиями для теории. Они находятся не в обществе, а в его окружающей среде.

Н. Луман

На «край бытия» в наши дни уже не смотрят украдкой. Сегодняшний мир проникнут ощущением, переживанием *границы*, становящейся более значимой, нежели само разграничиваемое. Наши пределы, каноны, рубежи выступают подчас единственными маркерами идентичности на фоне напрогноченной К. Марксом бесклассовости. Общество стремительно и непоправимо упрощается, при этом удивительным является то, что при этом оно отнюдь не утрачивает своей поляризованности и антагонизма. Непостижимым образом мы ещё способны чему-то противостоять, остатки прежней мегалотимии становятся подчас предметом культа. В некотором отношении вся современная социальная рефлексия подчинена логике поиска фундаментальной бинарной оппозиции общества, которую либерально ориентированное мышление по инерции пытается расположить в горизонтальном измерении. Человек, сам по себе становясь всё более искусственным, утрачивает подлинно самобытные черты; личность стремится отгородиться от общества непреодолимой дистанцией, воспринимаемой как защитный барьер: «как только мы добираемся до истинного, ...начинает казаться, что, скорее, каждый из нас живёт на своём собственном островке и нет никакого перехода от одного островка к другому» [1, с. 24]. Склонность к социальной эксклюзии растёт, «разделительные линии неравенства» становятся всё более причудливыми и многообразными [2]. В обществе невероятных коммуникаций люди чувствуют себя «пойманными» социальной и речевой деятельностью в глубине своих укрытий [1, 3]. И это сегментированное общество, тем не менее, по-прежнему наделено способностью к маргинализации – не менее сильной, чем в архаичные времена.

Маргинальность и на феноменальном, и на ноуменальном уровнях переживает сейчас радикальную трансформацию, являющуюся одним из наиболее показательных симптомов современного кризиса. Тысячелетиями человеческой истории маргинализация как процесс

могла иметь простейшую количественную интерпретацию, будучи действием большинства по отношению к меньшинству, в настоящее же время социальная «обочина» всё чаще становится уделом преобладающей части населения.

Таким образом, сам механизм эксклюзии становится принципиально иным, он в полной мере отражает современную *борьбу за выживание*, интенсивность которой всё возрастает на любых жизненных уровнях. Природа социального неравенства в этих условиях радикально преобразуется: мир предстаёт как всё более стеснённый и всё менее единый, образ «лоскутного одеяла» становится единственной адекватной моделью его описания. Маргинальность в многоуровневом социальном пространстве раскрывает многообразные смыслы, мигрирующие от «между» к «вне» и «по ту сторону». Само большинство и меньшинство становятся иными, соотносясь не с представлением о норме, а с моделью. Быть маргиналом становится всё легче – и в плане перехода определённой социокультурной дистанции, и с точки зрения так называемого «социального самочувствия». Можно сказать, что в настоящее время происходит чрезвычайно интересный процесс «депроблематизации» маргинальности: в условиях «пересечения трансгрессии и нормы» исключённое становится повседневным [4]. Этой «депроблематизации» в социально-практическом аспекте закономерно сопутствует рост интереса к маргинальности как объекту исследования [5-13]. Как и почему проходит сейчас процесс «исключения», что значит быть «вне» общества и «над» социальной реальностью – один из наиболее актуальных вопросов современного человеческого бытия-в-обществе. Рубеж, переход которого для личности означает утрату социального статуса, становится точкой отсчёта в дискурсе «пограничья». Последнее может раскрываться как тип и способ организации единства, как место и его отсутствие, как механизм смыслопорождения и пустота неопределённости [14-17]. Стремление избежать последнего – один из главных ценностных ориентиров дискурса маргинальности, где предметом осмысления становится то, что в силу определённых причин остаётся «по ту сторону» значимого.

В современных философских и социологических исследованиях не выработано единого мнения относительно определения маргинальности. Апеллируя к этимологии понятия, под ним понимают довольно широкий спектр состояний социального «пограничья», включая аномию, девиацию – всё то, что не согласуется с нормой. Подобное положение дел вполне объяснимо для отечественных исследований, где мысль всё ещё не может свыкнуться с тем, что «мы не знаем общества, в котором живём» [18]. Прояснение сути маргинальности представляется довольно привлекательным путешествием по лабиринту бесконечных имен «инакового». Мы говорим о «люмпенизации», «дискриминации», «девиантности», «аномии», «отлучении от сети». Нестройность подобных рассуждений связана не только с отсутствием адекватной модели социального пространства, она свидетельствует о глубоко укоренённой «нежеланности для мысли» иного, несмотря на множество разговоров о нём. Этот диссонанс, для России отягчённый опытом тоталитарных идеологических запретов, инициирует феноменологическое «перемещение взора» [19]. Данный подход представляется актуальным в силу многих причин.

Прежде всего анализ феномена маргинальности в любой перспективе имеет точкой отсчёта картезианские размышления, поскольку механизм эксклюзии на каждом из онтологических уровней исходит в своём последнем основании из разграничения *cogito ergo sum*. Сознание, разделённое между восприятием и реакцией на восприятие, включает в себе предпосылку обезличения воспринимающего, которая делает возможной маргинализацию как процесс. Переход от очевидности мышления к метафизическому субъекту, от высшего принципа сознания к «Я» как основе переживания формирует тот механизм мышления как бесцветного потока психического бытия, в рамках которого осуществляется эксклюзия. *Cogito* делает шаг назад, забывая, что каждый из нас в непосредственности жизни никак не одинок в этом мире, тем самым допускается, что любой из нас в определённых условиях может предстать как вещь, безуспешно пытающаяся втиснуться в чужеродное сознание. Открытие иного как чисто экзистенциальное переживание задаёт здесь тот изначально негативный

смысл, который порождает социальную потребность дистанцирования, вырождающуюся затем в механизм подавления. Становление «общества знания» предельно обострило этот диссонанс, возможно, доведя его до абсолютизированной формы, когда маргинальность становится повсеместной. В то самое время, когда информация становится новой стихией, подлежащей преодолению, человек в социальном измерении своего бытия-в-мире замыкается в выборе между маргинальным – отвергаемым и усреднённым – обезличенным. Это совпадение не может быть случайным, поскольку маргинализация как процесс изначально происходит в пространстве мысли. Cogito – самая действенная эксклюзивная практика, разум – наиболее мощный исключаящий механизм. Он проявляет себя идентичным образом и в аристотелевской практике ниспровержения софистики, и в репрессивном опыте тоталитаризма прошлого столетия. Переход от механизма исключения, осуществляемого в сфере мысли, к реальной социальной эксклюзии, на наш взгляд, наиболее соответствует рассмотрению в рамках феноменологического анализа, отправным пунктом которого являются конкретные переживания человека в его жизненном мире. Акцент на допредикативный опыт повседневной жизни чрезвычайно важен, поскольку феномен маргинальности имеет непосредственное отношение к разрушению естественной установки, когда мир переживается как общий для себя и для других. Помимо прочего, феноменологический взгляд дарит ту открытость по отношению к явлениям самим по себе, в которой сейчас так нуждается мысль, совсем недавно освободившаяся от догматических иллюзий и несвобод.

Постановка в центр рассмотрения маргинальности открывает новые возможности применения методов социальной феноменологии. В анализе социальной эксклюзии важна, на наш взгляд, феноменологическая установка скорее видеть, чем предполагать, поскольку сама проблематизация социальной реальности, делающая возможной маргинализацию субъекта, укоренена в наличии априорных предпосылок, отягчающих путь к смыслу. Момент возникновения негативного alter ego, ставящего под сомнение основания системы, путь от артефакта к продуктивной силе и обратно, замыкается на тот процесс демаркации подлинного и неподлинного, потребность в котором инициировала возникновение самой феноменологии [20, 21]. С другой стороны, в отношении маргинальности мы наблюдаем как раз тот случай практической проблемы, когда она не может быть осознана через отнесение к уже зарекомендовавшим себя схемам опыта. Мысль о маргинальном, или нежелание прояснить эту мысль, способно в постиндустриальную эпоху более сказать об обществе и более приблизить нас к решению социальных проблем, нежели эмпирическое исследование в его строгом классическом понимании.

Маргинализация на любом её уровне может вообще быть рассмотрена через состояние «выпадения» из времени, которое в феноменологии определяется как горизонт, исходя из которого становится понятной сущность бытия. В наши дни, когда ход времени от прошлого к настоящему перестаёт быть естественным и однонаправленным, унылый образ «социальной обочины» становится уделом слишком многих. В пространственной терминологии можно говорить об определённом нарушении меры удалённости от центра, приводящем в действие механизм социальной эксклюзии. Данный процесс в подавляющем большинстве своих аспектов *необратим*, именно это, на наш взгляд, характеризует маргинальность как специфический феномен в отличие от широкого диапазона различных отклонений от нормы. Механизм эксклюзии не является чем-то постоянным, он есть топологическая функция социального пространства, в различное время по ту сторону черты оказывались прокажённые, умалишённые, нищие, полукровки. При определённых условиях любой социологический образ, любая страта или социальная группа могут быть соотносены с маргинальным статусом, в информационном обществе к нему особенно чувствительны интеллектуалы, «свободное парение» которых в социальном пространстве является одной из возможных форм «удалённости» от центра. Маргиналом можно назвать того, чьё «наличное бытие» ставит под вопрос «наличное бытие» самого общества в целом, делая своё присутствие нестерпимым, поскольку затрагивает проблему *смысла*. Ни аномия, ни девиация не сопряжены с подобными

характеристиками, в их случае речь идёт о простой преграде, враждебности вещей, в то время как маргинальность – некое подобие «расселины в непрерывной ткани актов мышления, которая необъяснима, но о которой и нечего сказать потому, что она буквально является ничем» [1, с. 68].

Эта «расселина», строго говоря, возможна только для стратифицированного общества, и в этом плане маргинализация может быть рассмотрена как закономерное следствие расставания с «естественной установкой», в рамках которой интерес к самому себе не может быть культивирован и возведён до уровня самосознания. Способность жить в атмосфере веры, не ощущая потребности присмотреться к самому себе, не испытывая желания узнать, каковы условия и цели его жизни, исключает постановку вопроса об эксклюзии. Отречение от этой веры связано с обращением к разуму как её антиподу, что ведёт к многократной детерминации духовных горизонтов в социальном пространстве. Античная софистика классического периода была, на наш взгляд, первым социальным опытом подобного рода, обозначившим различные пути позиционирования носителей интеллекта в рамках общества. Софисты первыми позволили себе «свободное парение» в социальном пространстве Афин – и первыми же пережили опыт социальной эксклюзии, проект которой, разработанный Аристотелем, может быть сочтён одним из наиболее удачных. Силой его авторитета само понятие софистики до сих пор ассоциируется с демагогией, прагматическим примитивизмом, неоправданным усложнением когнитивных практик. Любое исследование данного феномена имеет исходной точкой отсчёта оправдание, поскольку само явление изначально рассматривается как «иное», чуждое норме.

Рассматриваемая как «эффект структуры» маргинальность сопряжена с обозначением иного, дерзающего на несерьёзность по отношению к некоему «нормативному кодексу», правилам поведения [21]. Понятия «соблазнение», «смущение» оказываются наиболее уместными для описания подобной ситуации; так, например, артефакт софистики в системе античного мышления ставил вопрос коренной переоценки представлений о социальной судьбе знания. Избрание «удела профессиональных воспитателей, странствующих чужаков, торгующих своей мудростью, культурой, умениями, как гетеры торгуют своими чарами», есть практика «иного», показывающего ограниченность возможностей системы и ставящего вопрос о реальности и фикции. Их антитеза в конечном счёте и определяет ход их дальнейшего взаимодействия. В данных условиях возвыситься до самоиронии – путь, доступный немногим, именно он был избран Сократом, игравшим двусмысленностями и противоречиями, прежде чем прийти к окончательным решениям. Будучи изначально софистом, античный мудрец предпочёл исключение из сферы социального исключению из сферы мысли; таким образом, он оказался вне аристотелевской критики. Функция «оператора границ» взаимобратима, маргинализировать – очертить пределы возможностей и, вместе с тем, вывести их за рамки смысла. Последнее возможно путём апелляции к онтологическому уровню более высокого порядка, что и было предпринято Сократом, очертившим контуры возможностей судебной системы более удачно, не предоставив аналогичной возможности в отношении себя самого. Это может служить, возможно, единственным в истории примером маргинализации общества личностью, экзистенциальное возобладало здесь над социальным, выявив его незначительность и ограниченность.

В рамках традиционного общества маргинализация вообще может быть представлена как оппозиция этического и эстетического, что и проявляется наглядно в аристотелевской критике софистов. Эксклюзия, первоначально осуществляемая в сфере мысли, в доиндустриальном обществе этой же сферой, в сущности, и ограничивается. Интеллектуал – единственный, кто был неспособен однозначно идентифицировать себя с какой-либо общественной системой. Знание (образование) было первым, что перешагнуло через сословные барьеры и поставило под сомнение социальность как таковую. Античный софист, средневековый схоласт, советский интеллигент существуют в «невозможной позиции, смещённой по отношению ко всякой общинной идентичности..., в расщелинах между сообществами, в

хрупком пространстве обмена, обращения между ними» [22]. Не обладая в каждом конкретном случае прочной связью с какой-либо социальной общностью или классом, интеллигент есть нечто вне-, над-, а иногда и антиобщественное; чрезмерное число степеней свободы, получаемых благодаря образованию, имеет следствием многократную детерминацию духовного горизонта [23]. Это, в свою очередь, порождает широкий спектр противоречий, показательных с точки зрения анализа социальных структур той или иной исторической эпохи. Интеллектуальный образ знаменитого Бенедикта Спинозы даёт пример «субъективной позиции двойного изгоя (отлучённого от главного сообщества изгоев западной цивилизации)» [22] и в этом плане представляет собой, возможно, образец наиболее радикального варианта противостояния обществу. Здесь можно говорить в первую очередь о случае, когда те же выдающиеся интеллектуальные способности, которые делают невозможной фиксацию в социальном пространстве, одновременно делают индивида более соответствующим этому месту, нежели те, которые его занимают. Отречение от места есть отречение от привилегий, которое запечатлевается в душе современников как нечто прекрасное – произведение искусства, которое, тем не менее, имеет мало отношения к социальной жизни. Ответная реакция общества сводится к тому, чтобы, несмотря ни на что, даже на уровне симулякра, отвести интеллигенту определённую позицию в социальном пространстве, преодолев его «бездомность», это принимает порой характер своеобразной игры. Интеллектуальная деятельность принадлежит не только общественной жизни, но и миру духовному, не детерминированному социальной средой, что заставляет умников всех времён как-то преодолевать разрыв между темпоральностью общества и темпоральностью знания; именно им определяется конечный счет в данной игре и подведение итогов: «мир ловил меня, но не поймал» [24].

Противопоставлению интеллигентизма обществу способствовала идея человека-микрокосма, который есть сам по себе природа, способен постичь её разумом и преобразовать своей деятельностью. Интеллигентизм в этом отношении предполагает относительную независимость от мировоззренческого влияния общественной среды, он есть перманентно возникающая оппозиция между социальностью и разумностью. Выбор в пользу последней открывает бесчисленные возможности в сфере духовных исканий, между тем механистическая зримость всего трёх пространственных измерений не выдерживает конкуренции с социальной многомерностью. Неизбежная редукция ведёт к оттеснению интеллигентов на «обочину» общества, маргинальному сужению горизонтов. Отвергая поддержку общности, интеллигент не получает взамен подлинной свободы, он лишён «укоренённости в бытии». Исходу Средневековья свойственна социальная и экономическая эволюция интеллигентизма, ведущая к его псевдоаристократизации. Отказ от контактов с народной массой, разрыв связей между наукой и образованием есть следствие социальной «бездомности» адептов умственной деятельности. Итогом является волна антиинтеллигентизма, противопоставление патриота и гуманиста безродному космополиту.

В традиционном обществе, в противовес техногенному, оператор границ самой своей маргинальностью способствует этическому становлению нормативного [21]. Индустриальный переворот радикальным образом меняет топологию смысла, порождая новые формы экспатриации и экстерриториальности. В предложенной Б. Кассен терминологии можно говорить о присущем аграрному укладу образе маргинальности как денотата без значения. В современном информационном обществе предметом эксклюзии становится значение без денотата, «местом ссылки становится безграничность, абсолютное извне, знаменующее на сей раз невозможную позицию» [21, с. 139]. Это связано с инициированными социально-техническими процессами десакрализациями пространства и времени, происходящими неравномерно [25]. «По ту сторону» обретает демаркацию на вне- и между-, обладающую целым рядом диаметрально противоположных ценностно-смысловых наполнений. Специфика стратифицированного общества такова, что любая из страт в какой-то мере отождествляет себя с обществом в целом – и противопоставляет себя ему. В наши дни мы все страдаем «непричастностью»: ощущением того, что нечто главное проходит мимо; «конец истории» со-

пряжён со «смертью человека» – не физической и даже не духовной, напротив, именно в сфере духа наблюдается даже некоторое перепроизводство идей. В то же время проблема маргинала может быть рассмотрена как своего рода абсолютизация толерантности – современного стремления заставить себя слышать иное. В наши дни никто не может позволить себе находиться на одном-единственном уровне реальности, жить в мире, где каждая вещь имеет только одно значение. В известной степени и сидеть на обочине жизни также становится непозволительной роскошью. Маргинальное состояние становится в настоящее время временным и обратимым, оно всё менее склонно рассматриваться как аномальное, следовательно, возможен поиск как деструктивных, так и конструктивных моментов данного явления. Само по себе отсутствие места – всегда есть большая свобода, подвижность и пластичность, столь востребованная в информационном обществе. С другой стороны, в обыденном сознании маргинал продолжает ассоциироваться с отверженным, поэтому представляется перспективным его сопоставительный анализ с нигитологическими тенденциями современности. В определённой мере весь современный мир переживает состояние «ухода из центра». Хайдеггеровский «закат» – утрата прежней исключительности, потеря определяющего статуса становится сейчас повсеместным явлением. Маргинальность – удел не только и не столько личности, сколько этноса, народа, цивилизации.

Осмысленный социальный мир всегда включает в себе рефлексию «инакового»; «анонимный или персонифицированный другой всегда «имеется в виду», присутствует в горизонте сознания даже в случае беспросветного одиночества или затерянности в толпе» [20].

Таким образом, само раскрытие феномена маргинальности возможно только в опыте «поверх» субъекта и объекта, поскольку оператор определения границ не может быть адекватным образом раскрыт в одностороннем порядке. Это является, на наш взгляд, самым важным акцентом в контексте современной социальной жизни, где маргинальность становится повсеместной. Граница стала для нас более реальной и зримой, чем само разграничиваемое, и неисключено, что предоставляемая феноменологией свобода мысли – единственная возможность обрести обратный путь к смыслу.

Библиографический список

1. Мерло-Понти, М. Видимое и невидимое / М. Мерло-Понти. – Минск: Логвинов, 2006. – 400 с.
2. Анурин, В.Ф. От Москвы до самых до окраин (социальное неравенство: региональный разрез) // Социология. 2005. № 3-4. С. 232-252.
3. Луман, Н. Невероятность коммуникации [Электронный ресурс] // Режим доступа: www.soc.pu.ru/publications/pts/luman_c.html.
4. Жижек, С. Когда простота означает странность, а психоз становится нормой [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.lacan.com/repley.html>.
5. Аверина, М.В. Маргинальность в социокультурных исследованиях // Личность. Культура. Общество. 2008. Т. X. Вып. 2 (41). С. 389-396.
6. Галсанамжилова, О.Н. Структура маргинальности в российском обществе: социологический анализ / О.Н. Галсанамжилова. – дисс. ... канд.соц. наук. – СПб., 2007. – 148 с.
7. Гурин, С.П. Проблема маргинальности в антропологии / С.П. Гурин. – Саратов: СарГЭСУ, 2002. – 132 с.
8. Ефремова, Е.И. Маргинальность как фактор социокультурной динамики / Е.И. Ефремова – дисс. ... канд. филос. Наук. – Иркутск, 2006. – 141 с.
9. Иванова, Н.В. Маргинальность в политическом пространстве / Н.В. Иванова – дисс. ... канд. полит. наук – Саратов, 2005. – 150 с.
10. Кирилюк, С.С. Феномен маргинальности: проблема устойчивости бытия личности / С.С. Кирилюк – дисс. ... канд. филос. наук. – Челябинск, 2006. – 162 с.
11. Маргинальность в современной России / Е.С. Балабанова [и др.]. – М.: МОНФ, 2000. – 208 с.
12. Мельникова, Н.Е. Феномен маргинальности в системе культуры: социально-философский анализ / Н.Е. Мельникова – дисс. ... канд. филос. наук. – М., 2007. – 213 с.

13. **Разинский, Г.В.** Маргинальные процессы как атрибут социальной мобильности // Социология. 2007. №1. С. 145-158.
14. **Бахтызин, А.М.** Граница: бытие, сущность, рефлексия / А.М. Бахтызин. – Дисс. ... канд. филос. наук. – Омск, 2004. – 177 с.
15. Граница как механизм смыслопорождения / под ред. Н.Т. Рымаря. – Самара: Сам. гум. акад., 2004. – 196 с.
16. **Ионов, И.Н.** Образы пространства и времени в имперском, колониальном и постколониальном дискурсах // Диалоги со временем. Память о прошлом в контексте истории. – М.: Кругъ, 2008. С. 337-370.
17. Кануны и рубежи. Типы пограничных эпох – типы пограничного сознания: материалы российской-французской конференции: в 2 ч. / М.: ИМЛИРАН, 2002. Ч. 1. – 304 с.
18. **Андропов, Ю.В.** Избранные речи и статьи / Ю.В. Андропов – М.: Изд-во полит. лит-ры, 1983. – 320 с.
19. **Гуссерль, Э.** Основные проблемы феноменологии. Материалы лекционного курса / Э. Гуссерль, Д.Н. Разеев. – СПб.: изд-во СПбГУ, 2004. С. 222-364.
20. **Смирнова, Н.М.** От социальной метафизики к феноменологии естественной установки (феноменологические мотивы в современном социальном познании) / Н.М. Смирнова. – М.: ИФ РАН, 1997. – 120 с.
21. **Кассен, Б.** Эффект софистики / Б. Кассен. – М.-СПб.: Московский философский фонд, Университетская книга, Культурная инициатива, 2000. – 240 с.
22. **Жижек, С.** Устройство разрыва: параллаксное видение / С. Жижек. – М.: Европа, 2008. – 516 с.
23. **Манхейм К.** Проблема интеллигенции. Исследование её роли в прошлом и настоящем [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.gumer.info/bibliotek_Buks/Socio-log/manh_prob1/01.php.
24. **Сковорода, Г.** Повне зібрання творів / Г. Сковорода. – Киев, 1973.
25. **Фуко, М.** Интеллектуалы и власть: избранные политические статьи, выступления и интервью / М. Фуко. – М.: Праксис, 2002. – 384 с.

*Дата поступления
в редакцию 07.06.2010*

V.I. Kazakova

MARGINALITY: PHENOMENOLOGICAL ANALYSIS ATTEMPT

The article is devoted to marginality phenomenological analysis. Marginality is one the most important elements of modern philosophical and sociological discourses. Knowledge society mixed transgression and norm, so marginal phenomena are losing origin sense. It can be described now as existential realization of centre-less social space freedom. Not social but existential-ontological and epistemological context are of great importance. The marginality determination is clarified. It's compared with anomy and deviation. Various forms of marginality are analyzed. Marginality phenomenon is described from the point of space and time de-consecration for the first time. Marginality is social reality topological characteristic, that's why we have the opportunity of contemporary sense variety research.

Key-words: marginality, exclusion, stratification, social portrait, elite, intellectual, phenomenology, system approach, boundary.

УДК 65.014.1

М.А. Шими́на

**ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАПОЛНЕНИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Нижегородский институт менеджмента и бизнеса

В статье рассматривается содержание управленческой деятельности через его функции. Функция как категория менеджмента характеризует существенный вид управленческой деятельности или объективно необходимый вид отношений между людьми, будучи проявлением сущности менеджмента. Содержание функций управления претерпело существенные изменения в связи с кардинальными изменениями экономических отношений. Усложнение взаимодействия с внешним окружением сегодня позволяет анализировать уже большее количество общих функций современной организации.

Статья адресована тем, кто интересуется проблемами управления в системе менеджмента, и специалистам в области менеджмента.

Ключевые слова: функции управления, процесс управления, планирование, организация, мотивация, контроль, принятие решений, коммуникации.

Содержание управления раскрывается в его функциях, которые возникли в результате разделения и специализации труда в сфере управления как особого вида деятельности, в котором выражаются направления целевого воздействия на отношения людей в процессе управления.

Впервые функции организации систематизированно были выделены и описаны французским практиком и ученым А. Файо́лем в работе «Общее и промышленное управление» (1916 г.) [1, 139].

В дальнейшем представители классической, административной школы управления раскрыли содержание управленческой деятельности. Процесс управления ими был представлен как процесс реализации пяти функций управления (планирование, организация, мотивация, контроль и руководство) и двух связующих процессов (принятие решений и коммуникации). Функции управления, представляющие обособленные виды управленческой деятельности, порождены разделением управленческого труда и объединяют однородные по характеру элементы управленческого воздействия.

Функция как категория менеджмента характеризует существенный вид управленческой деятельности или объективно необходимый вид отношений между людьми, будучи проявлением сущности менеджмента. Как возможная область формирования управляющего воздействия функция менеджмента предполагает осуществление непрерывных взаимосвязанных между собой действий по выработке средств и методов воздействия и их реализации применительно к решению конкретной проблемы. Поэтому функция рассматривается как объективно необходимая область процесса управления, имеющего временную и пространственную определенность и конечную результативность [4, 90]. Следует отметить, что термин «функция» означает определенный набор действий, проделанный человеком в организации в рамках разделения труда.

Процесс управления – совокупность и непрерывная последовательность взаимосвязанных действий управленческих работников по реализации функций менеджмента, осуществляемых по особой технологии и направленных на достижение целей социально-экономической системы на основе применения управленческих принципов, методов и средств.

Изучение функций управления – одна из главных задач управления, так как любое их изменение приводит к изменению структуры управления. Выделение функций управления

обусловлено многообразием управленческой деятельности и местом функций в цепочке *цель – функция – решение*. Состав функций, следовательно, определяется реализуемыми целями, а состав решений – всей совокупностью функций управления. Таким образом, функция становится связанной с объектом управления и системой управления, являясь в то же время определенной стадией управления.

Анализ современной литературы и мировой практики менеджмента позволяет судить о широком использовании функциональной концепции процесса управления. Несмотря на некоторое расхождение в названиях функций и в их составе, наблюдается устойчивая тенденция определять управленческий цикл через последовательность исходных функций менеджмента. Естественно, что содержание функций управления претерпело существенные изменения, по сравнению с работами А. Файоля и Г. Эмерсона, в связи с кардинальными изменениями экономических отношений.

Концепция менеджмента как процесса выполнения взаимосвязанных функций планирования, организации, мотивации, контроля, руководства объединила ряд теорий управления, в частности, школу научного управления, административную, классическую теорию, бихевиористскую школу, исследующую поведение людей исходя из развития потребностей и формирующую теорию мотивации. В дальнейшем развитии процессная модель менеджмента уточнялась и расширялась, углублялась вследствие применения к менеджменту методологии системного и ситуационного подходов, социологических исследований, экономико-математических методов и моделирования.

Как системообразующий фактор функция менеджмента теснейшим образом связана с социально-экономическими условиями функционирования и развития организаций, поэтому содержание функций менеджмента многогранно.

Функция управления – это относительно самостоятельный, специализированный и обособленный вид управленческой деятельности, продукт процесса разделения и специализации труда в сфере управления.

Анри Файоль считал, что управлять означает предсказывать и планировать, организовывать, распоряжаться, координировать и контролировать. Другие авторы разработали иные перечни функций. Обзор современной литературы позволяет выявить следующие функции: планирование, организация, распорядительство (или командование), мотивация, руководство, координация, контроль, коммуникация, исследование, оценка, принятие решений, подбор персонала, представительство и ведение переговоров или заключение сделок [3].

Фактически почти в каждой публикации по управлению содержится список управленческих функций, который будет хоть немного отличаться от других, подобных, списков различных авторов:

- Васильев В.М. – планирование, организация, контроль, регулирование, учет, анализ;
- Виханский О.С. – планирование, маркетинг, предпринимательство, финансы, организация, производство, инновация, информация, социальное развитие;
- Егоршин А.П. – прогнозирование, нормирование, планирование, учет, контроль, анализ, координация, регулирование;
- Мескон М.Х. – планирование, организация, мотивация, контроль;
- Полукаров В.Л. – целеполагание, планирование, организация, мотивация, гуманизация, контроль.

Усложнение взаимодействия с внешним окружением сегодня позволяет анализировать уже большее количество общих функций современной организации. Перечень функций управления, предложенный М.Х. Месконом, наиболее оптимально отражает совокупность управленческих действий менеджеров и приемлем для всех видов ресурсов.

Тогда процесс управления состоит из функций планирования, организации, мотивации и контроля. Эти четыре первичные функции управления объединены связующими процессами коммуникации и принятия решения, руководство (лидерство) рассматривается как самостоятельная деятельность. Оно предполагает возможность влияния на отдельных и группы работников таким образом, чтобы они работали в направлении достижения целей,

что крайне существенно для успеха организации. Далее приводится краткая характеристика каждой из функций в виде общего обзора.

Планирование – это вид управленческой деятельности, связанной с составлением планов организации и ее составных частей, планирование – это один из способов, с помощью которого руководство обеспечивает единое направление усилий всех членов организации к достижению ее общих целей. Планы содержат перечень того, что должно быть сделано, определяют последовательность, ресурсы и время выполнения работ, необходимые для достижения поставленных целей. Соответственно, планирование включает: установление целей и критериев управления; разработку планов для достижения целей; определение необходимых ресурсов и их распределение по макроподсистемам, доведение планов до подразделений и их реализация и контроль. В практике управления наибольшее распространение получили такие периоды планирования, как годовое, квартальное, месячное, недельное и суточное. Практически на всех предприятиях и организациях имеются отделы (бюро) планирования [2].

Планирование как центральное звено управления охватывает систему принципов, методов, форм и приемов регулирования рыночного механизма в области использования ограниченных ресурсов с целью повышения конкурентоспособности хозяйственного субъекта.

Сущность планирования в условиях рыночной экономики заключается в научном обосновании на предприятиях предстоящих экономических целей их развития и форм хозяйственной деятельности, выбора наилучших способов их осуществления, на основе наиболее полного выявления требуемых рынком видов, объемов и сроков выпуска товаров, выполнения работ и оказания услуг и установления таких показателей их производства, распределения и потребления, которые при полном использовании ограниченных производственных ресурсов могут привести к достижению прогнозируемых в будущем качественных и количественных результатов. На нынешнем этапе развития для большинства российских предприятий главной целью планирования является получение максимальной прибыли. С помощью планирования руководители предприятий обеспечивают направление усилий всех работников, участвующих в процессе производственно-хозяйственной деятельности, на достижение поставленных целей.

План – это документ, отражающий систему взаимосвязанных решений, направленных на достижение желаемого результата.

План содержит такие этапы, как: цели и задачи, пути и средства их реализации, ресурсы, необходимые для выполнения поставленных задач, пропорции, т.е. поддержание пропорциональности между отдельными элементами производства, организацию выполнения плана и контроль.

Планирование внутрипроизводственной деятельности является на предприятии важной функцией управления производством. Общие функции управления непосредственно относятся к плановой деятельности предприятий, а они, в свою очередь, служат их основой. Это обоснование цели, формирование стратегии, планирование работы, проектирование операций, организация процессов планирования, координация планов, мотивация плановой деятельности, контроль планов, оценка результатов, изменение планов и т.п.

Основные экономические, организационные, управленческие и социальные функции предприятия должны быть в процессе планирования его развития тесно связаны с избранной хозяйственной деятельностью и достаточно полно отражаться как в кратко-, так и в долгосрочных планах.

Планирование на предприятии – это взаимосвязанная научная и практическая деятельность людей, предметом изучения которой выступает система свободных рыночных отношений между трудом и капиталом в ходе производства, распределения и потребления материальных и духовных ценностей.

В современном отечественном производстве функции планирования на предприятиях определяют не только основной предмет планово-экономической деятельности, но и главным образом – объект этого планирования.

Методология планирования на предприятиях охватывает совокупность теоретических выводов, общих закономерностей, научных принципов, экономических положений, современных требований рынка и признанных передовой практикой методов разработки планов.

Методология, методика и технология плановой деятельности на предприятиях в наиболее полной мере определяют в целом предмет планирования.

Общим или итоговым предметом плановой деятельности на предприятиях служат проекты планов, которые носят различные названия: комплексный план, заказ-наряд, бизнес-план и другие.

К задачам планирования как к процессу практической деятельности относятся:

- формулирование состава предстоящих плановых проблем, определение системы ожидаемых опасностей или предполагаемых возможностей развития предприятия;
- обоснование выдвигаемых стратегий, целей и задач, которые планирует осуществить предприятие в предстоящий период, проектирование желаемого будущего организации;
- планирование основных средств достижения поставленных целей и задач, выбор или создание необходимых средств для приближения к желаемому будущему;
- определение потребности ресурсов, планирование объемов и структуры необходимых ресурсов и сроков их поступления;
- проектирование внедрения разработанных планов и контроль за их выполнением.

В планировании обоснование принимаемых решений и прогноз ожидаемых результатов опираются на теоретические положения и принципы, а также практические данные и факты. Теория планирования использует следующее предположение: каждое предприятие будет стремиться к повышению совокупной прибыли, обоснованию планов предприятия по выбору вида выпускаемой продукции, набору требуемой рабочей силы, закупках необходимых ресурсов для организации производства определенного количества товаров и получению максимальной прибыли.

Конечным результатом планирования является ожидаемый экономический эффект, определяющий в общем виде степень достижения заданных плановых показателей, социально-экономических и других целей. Сравнение планируемого и фактического эффекта является не только основанием для оценки достигнутых конечных результатов, но и степени научной разработанности применяемых методов планирования на предприятии.

Организация как основная функция менеджмента представляет собой вид деятельности по упорядочению совместной деятельности людей для достижения целей. Организовать – значит создать некую структуру. Существует много элементов, которые необходимо структурировать, чтобы организация могла выполнять свои планы и тем самым достигать своей цели. Одним из этих элементов являются работа, конкретные задания организации, такие как строительство жилых домов или сборка радио, или обеспечение страхования жизни. Промышленная революция началась с осознания того, что организация работы определенным образом позволяет группе работников добиться гораздо большего, чем они могли бы сделать без должной организации. Организация работы была в центре внимания движения за научное управление [3].

При реализации данной функции оперируют категориями «процесс», «система», «коммуникации», «организационно-стабилизационные методы», «организационно-распорядительные средства». Организация как функция менеджмента формирует объект, совершенствует его, разрабатывает режимы функционирования, создает механизмы адаптации к изменениям внешних и внутренних связей в системе управления. Поэтому организация управления – это формирование условий устойчивости и гибкости социально-экономической системы на основе комплексного подхода с учетом системных и ситуационных факторов [4].

Эта функция управления на предприятии охватывает главным образом исполнительскую и оперативную деятельность. Ее задача – сформировать управляющую и управляемые подсистемы, установить конкретные параметры, режим работы подразделений предприятия, отношения между ними.

В результате действия организации как функции управления достигается соответствие существующей системы новым целям, установленным в плановых заданиях. Если такого соответствия нет, то при помощи организации создаются новые системы или реорганизуют старые с целью придания им качеств, необходимых для достижения поставленных целей.

Функция организации охватывает всю систему управления. Ее особенностью по отношению к другим функциям является то, что она обеспечивает взаимосвязь и эффективность действия всех других функций.

Посредством организации соединяется люди и подразделения в единый производственный организм. Однако это соединение не случайно, а подчинено законам управления и задаче производства. Благодаря действию функции организации, устанавливается и взаимодействие между объектом и субъектом управления.

Организация выступает как вид деятельности, которая направлена на разработку и утверждение схем и структур управления, должностных инструкций, положений, других нормативных документов. В ее основе – глубокий экономический анализ существующего положения дел, научный расчет, всестороннее изучение работника и управленческого процесса. В настоящее время, когда совершается стройка всего хозяйственного механизма, к организации предъявляются высокие требования. В этих условиях организация становится решающим звеном дальнейшего совершенствования управления экономикой в самом широком смысле слова.

Функция организации заключается в установлении временных и постоянных взаимоотношений между всеми подразделениями. Она определяет порядок и условия функционирования предприятия. Существует два пути реализации этой функции: через административно-организационное и оперативное управление.

Через административно-организационное управление определяется структура, устанавливаются взаимосвязи, распределяются функции между подразделениями, делегируются полномочия и устанавливается ответственность между работниками аппарата управления.

Оперативное управление заключается в постоянном сравнении достигнутых результатов с показателями текущих планов.

Организационную структуру составляют подразделения с их взаимосвязями, которые определяются целями предприятия, его подразделений и их функциями.

Мотивация как основная функция менеджмента связана с процессом побуждения себя и других людей к деятельности через формирование мотивов поведения для достижения личных целей и целей организации. В процессе мотивации предполагается использование следующей последовательности взаимозависимых категорий: потребности людей – интересы людей – мотивы деятельности – действия людей. В настоящее время для того, чтобы мотивировать своих работников эффективно, руководителю следует определить, каковы же на самом деле эти потребности и обеспечить способ для работников удовлетворять эти потребности через хорошую работу. Мотивационный подход к управленческой деятельности рассматривается как центральная функция менеджмента [4].

Огромное значение для достижения целей организации имеет использование функции мотивации. Под мотивацией понимается процесс стимулирования самого себя и других на деятельность, направленную на достижение индивидуальных и общих целей организации.

Самый старый способ намеренного воздействия на людей с целью выполнения задач организации осуществлялся при помощи принуждения и поощрения (метод «кнута и пряника»).

К началу XX столетия эти условия мало в чем изменились. Но Тейлор и его последователи поняли неэффективность нищенского состояния работников. Была определена дневная норма выработки, а сверх этой нормы начали оплачивать пропорционально его величине. В результате такой усовершенствованной мотивации резко росла производительность труда, которая усиливалась специализацией и стандартизацией. Применение новых технологий и организаций труда еще больше повысили его производительность.

По мере роста жизненного уровня трудящихся и изменения их отношения к труду

управляющие начали понимать, что экономическое поощрение не всегда побуждает человека работать лучше. Это побудило теоретиков управления искать новые способы мотивации к труду. Они появились в применении психологических мотивов.

Первым, кто обнаружил, что четко разработанные рабочие операции и хорошая заработная плата не всегда ведут к повышению производительности труда, был Элтон Мэйо. Позже, проведенные эксперименты психологом Абрахамом Маслоу помогли понять причины этого явления: мотивами поступков людей являются, в основном, не их экономическое положение, а различные потребности, которые могут быть лишь частично и косвенно удовлетворены с помощью.

Исследования Мэйо, проведенные в конце 20-х годов на рабочих местах, позволили сделать вывод, что на производительность труда оказывают такие человеческие факторы, как социальное взаимодействие и групповое поведение. На выводах Мэйо была основана теория человеческих отношений.

В 40-х годах XX века появились психологические теории мотивации труда. Они делятся на две группы: основанные на внутренних побуждениях (потребностях) и на поведении людей с учетом того, как они воспринимают внешнюю среду, и познании окружающего мира. Потребности людей делятся на первичные и вторичные. Первичные – это врожденные физиологические потребности: дыхание, сон, пища.

Вторичные – вытекают из психологического состояния человека. Такими являются, например, потребности в уважении, успехе, власти. Они появляются с развитием интеллекта и приобретением жизненного опыта. Этим объясняется их многообразие.

Являясь продуктом физиологического и психологического состояния человека, потребности выражаются в его поведении, побуждают к определенным действиям. Побуждение проявляется в определенном поведении, которое ставит своей целью удовлетворение потребности. Когда эта цель достигнута, потребность может быть удовлетворена полностью, частично или вовсе не удовлетворена.

Степень удовлетворения потребности в данной ситуации влияет на поведение человека, если сложится похожая ситуация в будущем. Человек будет стремиться обязательно повторить то свое поведение, которое дало возможность максимально удовлетворить потребность в прошлом. Это состояние называется «закон результата».

Все люди абсолютно разные по материальному положению, воспитанию, уму, культуре, интересам и т. п., поэтому существует множество разнообразных потребностей и целей. По-разному люди и ведут себя по достижении этих целей. Поэтому нельзя предложить какой-то один «лучший» способ мотивации. То, что приемлемо для одного, может быть абсолютно не подходящим для другого. Удовлетворению мотивации мешает также динамизм организации. Постоянные изменения в организационной структуре, технологии производства, кадровые перемещения – все это усложняет процесс мотивации. Для побуждения работников к активной деятельности применяется вознаграждение. Применительно к мотивации вознаграждение имеет более глубокий смысл, чем деньги, выгода или удовольствия. Вознаграждение – это все то, что человек считает ценным для себя. Но ценности у каждого человека свои.

Различают внутреннее и внешнее вознаграждение. Внутреннее вознаграждение человек получает от самой работы. Это удовольствие от общения с сослуживцами, чувство достижения результата, удовлетворения от полезности произведенного продукта. Внутреннее вознаграждение обеспечивается путем создания хороших условий труда и точной постановкой задачи.

Внешнее вознаграждение дает организация (предприятие, фирма). Оно может выступать в виде как материального вознаграждения, так и морального. Материальное – зарплата, дополнительные выплаты, премии, оплата определенных расходов. Моральное присвоение звания «лучший работник», похвала, отметка в приказе и др.

Для осуществления мотивации прежде всего необходимо определить потребности людей. А. Маслоу множество человеческих потребностей разделил на пять групп по приоритетности их удовлетворения:

- 1) физиологические – вода, еда, жилище;

- 2) безопасность и уверенность в будущем. Защита от физических и физиологических опасностей и уверенность, что физиологические потребности будут удовлетворены в будущем;
- 3) социальные – социальное признание, взаимодействие, привязанность и поддержка;
- 4) уважение – самоуважение, личные достижения, признание, уважение со стороны окружения;
- 5) самовыражение – реализация своих потенциальных возможностей.

Первые две группы – первичные потребности, остальные – вторичные, удовлетворить которые человек стремится после удовлетворения первичных. В общей массе людей, в основном, выдерживается приведенная последовательность потребностей, хотя в конкретных обстоятельствах какая-то из потребностей может доминировать.

Из теории Маслоу следует, что мотивация людей зависит от множества их потребностей. С ростом материального благосостояния и стабильности в обществе на первый план выступают вторичные потребности. Однако потребности людей меняются, поэтому руководителю необходимо следить за способами мотивации в каждом конкретном случае.

Все же в условиях управления людьми следует исходить из того, что четкого разграничения потребностей не существует. Кроме того, руководитель должен учитывать индивидуальные качества людей. Особенно следует учитывать прошлый опыт, который оказывает доминирующее влияние на потребности в настоящем.

Другой исследователь Д. Мак Клелланд считал, что мотивация должна основываться на трех потребностях: власти, успехе, причастности. Эта теория в какой-то мере схожа с теорией Маслоу. Так, потребность власти и успеха у Маслоу – это самовыражение и уважение. Потребность в причастности – это социальные потребности.

Еще одна модель мотивации была разработана Ф. Герцбергом. Он выделил два фактора процесса побуждения себя и других к деятельности: гигиенические факторы и мотивации. Гигиенические факторы – это факторы окружающей среды. Герцберг утверждал, что при отсутствии или при недостаточном наличии этих факторов возникает ощущение неудовлетворенности работой. Но если их достаточно, то они ни на что человека не воодушевляют. Человек к ним безразличен.

К мотивациям Герцберг относит успех, продвижение по службе, признание и одобрение результатов работы, высокую степень ответственности, возможности творческого и делового роста. Их отсутствие не вызывает неудовлетворенности работой, но наличие побуждает к эффективной деятельности.

Анализируя все три теории, можно сделать вывод, что применение их на практике управления, безусловно, дает положительный результат в целом. Но все же следует внимательно относиться к отдельным группам, отдельным типам людей и использовать предложенные теоретические положения с учетом конкретных условий и конкретной ситуации.

Рассмотренные теории основаны на потребностях, удовлетворение которых влияет на поведение людей. Существует еще три процессуальных теории, в которых мотивация рассматривается как процесс последовательных состояний: это теория ожидания, теория справедливости и модель Портера - Лоулера.

Теория ожидания основана на том, как конкретная личность оценивает возможность свершения ожидаемого события. По отношению мотивации к труду теория ожидания рассматривает процесс «затраты труда – результаты – вознаграждение и удовлетворенность им». Мотивация будет эффективна только в том случае, когда на каждом этапе ожидание будет положительным. Если человек недостаточно удовлетворен вознаграждением, то мотивация будет ослаблена.

Теория справедливости основана на соизмерении вознаграждения с затраченными усилиями и соотношением этого вознаграждения к вознаграждению других людей, выполняющих аналогичную работу. Опыт показывает, что если сотрудники считают, что им недоплачивают – они начинают работать хуже. Если же считают, что им переплачивают, отношение к труду (как правило) не меняется. Поскольку у каждого работника потребности разные,

то по-разному будет оценено и конкретное вознаграждение. До тех пор, пока люди не будут считать себя справедливо вознагражденными, они будут стремиться к уменьшению интенсивности труда.

Элементы обеих процессуальных теорий объединяет теория мотивации, разработанная Портером и Лоулером. Модель содержит пять факторов: затраченные усилия, восприятие, полученные результаты, вознаграждение, степень удовлетворения. В соответствии с этой моделью, результаты зависят от приложенных усилий, способностей работника, индивидуальных особенностей и осознания своей роли. Степень уверенности в том, что данный уровень усилий приведет к конкретному уровню ценности вознаграждения способствует приложению этих усилий. Модель ставит вознаграждение в зависимость от достигнутых результатов.

Модель построена на понятии «результативный труд ведет к удовлетворению», вопреки мнению большинства менеджеров, которые считают, что «удовлетворение ведет к достижению высоких результатов».

Исследования последних лет подтвердили теорию Портера. Ценностью их модели является также то, что она показала эффективность объединения понятий «усилия», «способности», «результаты», «вознаграждение» и «восприятие» в единой взаимосвязанной системе.

В общей системе мотивации особую роль играет заработная плата. Рыночная экономика ориентирована на конечные результаты деятельности. Справедливое общество должно стремиться к полной компенсации затраченного труда, которая реализуется через заработную плату. А сама заработная плата удовлетворяет многие потребности – физиологические, безопасности, защищенности и другие.

Контроль – это управленческая деятельность, задачей которой является количественная и качественная оценка результатов работы организации. В ней выделяют два основных направления: контроль выполнения работ, намеченных планом; меры по коррекции всех значительных отклонений от плана. В общем процессе управления контроль выступает как элемент обратной связи, так как по его данным производится корректировка ранее принятых планов и даже норм и нормативов. Эффективно поставленный контроль обязательно должен иметь стратегическую направленность, ориентироваться на результаты, быть своевременным и достаточно простым. Последнее требование особенно важно в современных условиях, когда организации стремятся строить свою работу на принципе доверия к людям, а это приводит к необходимости и возможности существенного сокращения контрольных функций, выполняемых непосредственно менеджерами. Являясь делом каждого работника организации, контроль становится менее жестким и более экономичным [2].

Управление следует рассматривать как непрерывный процесс целенаправленных действий, потому что цели не всегда достигаются в предусмотренном виде, люди не всегда или не так выполняют поручения, изменение окружающей среды ведет к изменению внутренних переменных.

Определение степени достижения цели осуществляется при помощи контроля, который представляет собою процесс установления отклонения от предусмотренных величин и действий людей в хозяйственной деятельности. Благодаря контролю организация имеет возможность устранять помехи на пути выполнения плановых заданий. Контроль можно определить как процесс, при помощи которого организация обеспечивает достижение своих целей.

Контроль – одна из функций управления. Как функция контроль имеет двойной характер. С одной стороны, это элемент каждой общей функции управления (организации, регулирования, координации, планирования, учета, анализа), а с другой, – это самостоятельная функция управления, так как деятельность по контролю представляет собой ее самостоятельный вид.

Посредством функции контроля выявляются проблемы, что позволяет скорректировать деятельность организации по предотвращению кризисного положения. Контроль позволяет фиксировать свои ошибки и сознательные и несознательные нарушения и исправлять их до того, как они станут на пути достижения цели. Вместе с тем, контроль дает возможность определить, какая деятельность на пути достижения цели была наиболее эффективна.

Имея большой диапазон воздействия на организацию, контроль не должен ограничи-

ваться только рамками деятельности контрольных органов. Он входит в обязанности руководителя любого ранга.

В замкнутом цикле управленческой деятельности контроль взаимодействует с другими функциями. Особенно тесное взаимодействие существует между контролем, бухгалтерским учетом и анализом хозяйственной деятельности. Бухучет является информационной базой контроля, а анализ – методом проведения. Контроль имеет свои объекты, субъекты, цели и задачи.

Объектом контроля выступают предприятия, организации. Внутри организации контролю подвергаются происходящие в них процессы или отдельные элементы системы.

Субъектом контроля выступает контролирующее звено. Контроль осуществляют как государственные органы, так и ведомственные, и частные.

Контроль выступает в виде фактора укрепления дисциплины и законности. При его помощи обеспечивается единство решений и их исполнение, достижение поставленных задач, а также предупреждение ошибок и недоработок.

Контроль, осуществляемый до фактического начала работы, называется предварительным. Он предусматривает предупреждение нарушений установленных правил ведения работ. Кроме того, предварительный контроль предшествует хозяйственной операции и направлен на предупреждение нарушения законности, нецелесообразного, неэффективного использования хозяйственных средств и принятия необоснованных решений. При планировании, составлении смет, заключении договоров этот вид контроля имеет наиболее высокую эффективность. Благодаря ему предупреждаются и устраняются диспропорции в планировании и финансировании.

Контроль, осуществляемый на стадии хозяйственного процесса, носит название текущего контроля. Его объектом являются подчиненные сотрудники, а осуществляется он начальниками. Задача текущего контроля – оперативное выявление и своевременное пресечение нарушений и отклонений, возникающих в процессе выполнения хозяйственных операций и производственных заданий.

За подчиненными текущий контроль осуществляется на основе обратной связи. Материальные, финансовые и человеческие ресурсы составляют «вход» системы обратной связи, а готовая продукция, услуги – «выход». В роли регулятора системы выступает руководитель-менеджер, который осуществляет контроль за заданными параметрами. Контроль дает возможность также своевременно реагировать на изменяющиеся внутренние и внешние факторы.

Заключительный, или последующий, контроль осуществляется после того, как работа выполнена. Фактически полученные результаты сравниваются с предусмотренными. Целью этого вида контроля является установление правильности, законности и экономической целесообразности производимых работ и хозяйственных операций, вскрытие недостатков и упущений в работе.

Заключительный контроль дает информацию для учета, если аналогичная работа повторяется в будущем. Эта же информация используется для мотивации труда.

Четыре функции управления – планирование, организация, мотивация и контроль – имеют две общие характеристики: все они требуют принятия решений и для всех необходима коммуникация, обмен информацией, чтобы получить информацию для принятия правильного решения и сделать это решение понятным для других членов организации. Из-за этого, а также вследствие того, что эти две характеристики связывают все четыре управленческие функции, обеспечивая их взаимозависимость, коммуникации и принятие решений часто называют *связующими процессами*.

Принятие решений. Управленческая работа – это в основном работа интеллектуальная. Она напоминает попытку сложить сложный мозаичный узор из отдельных кусочков после того, как кто-то свалил в эту же коробку кусочки мозаики, принадлежащие еще пяти различным сюжетам. Чтобы дополнить сравнение с мозаикой, следует сказать, что руководителям приходится перебирать многочисленные комбинации потенциальных действий для того, чтобы найти правильное действие для данной организации в данное время и в данном месте. По сути, чтобы организация могла четко работать, руководитель должен сделать серию пра-

вильных выборов из нескольких альтернативных возможностей. Выбор одной из альтернатив – это решение. Следовательно, принятие решения – это выбор того, как и что планировать, организовывать, мотивировать и контролировать. В самых общих чертах именно это составляет основное содержание деятельности руководителя.

При реализации любой из функций управления (планирования, организации, мотивации, коммуникации, контроля) руководитель сталкивается с широким кругом задач, требующих принятия решения. Задачи могут быть уникальными или простыми и постоянно повторяющимися, но их решение является основным продуктом управленческого труда. Практически любой член организации регулярно принимает множество самых разнообразных решений, делая выбор между возможными вариантами своих действий. Высшее руководство организации, например, решает задачи определения целей и выработки стратегий развития, формирования и совершенствования организационной структуры, оценки позиций фирмы на рынке и поведения конкурентов, установления ассортимента выпускаемой продукции, организации деятельности аппарата управления компании в целом и т.п. Менеджеры среднего уровня принимают решения, связанные с календарным планированием производства, подбором и расстановкой кадров, реализацией инноваций, системами стимулирования и т.д. Даже сотрудникам организации, на которых не возложены функции управления, приходится принимать решения, касающиеся выполнения своих трудовых обязанностей.

Основные отличия управленческих решений [4].

Цели. Субъект управления, известный как один из основных элементов системы управления, принимает решение, исходя не из своих собственных потребностей (хотя они, безусловно, играют свою определенную роль), а в целях решения проблем конкретной организации.

Последствия. Частный выбор индивида сказывается на его собственной жизни и может повлиять на немногих близких ему людей. Менеджер выбирает направление действий не только для себя, но и для организации в целом и ее персонала. Такие решения могут повлиять на жизнедеятельность многих людей, решения руководителей могут, например, серьезно отразиться на социально-экономической ситуации целых регионов. Например, решение закрыть нерентабельное предприятие компании может существенно повысить уровень безработицы.

Разделение труда. Если в частной жизни человек принимает решение и, как правило, сам его и выполняет, то в организации существует определенное разделение труда: менеджеры заняты решением возникающих проблем и принятием решений, а исполнители – реализацией уже принятых решений.

Профессионализм. В частной жизни каждый человек самостоятельно принимает решения в силу своего интеллекта и опыта. В управлении организацией принятие решений – это более сложный, ответственный и формализованный процесс, требующий специальной профессиональной подготовки.

Таким образом, управленческое решение – это выбор альтернативы, осуществленный руководителем в рамках его должностных полномочий и компетенции и направленный на достижение целей организации.

С точки зрения использования методов принятия решений можно выделить три группы решений:

- интуитивные;
- решения, основанные на опыте;
- рациональные решения.

Интуитивные решения основаны на субъективных ощущениях менеджера о том, что данное решение является правильным. Такие решения достаточно рискованы, но в отдельных случаях составляют основную часть решений, принимаемых менеджерами высшего уровня.

Решения, основанные на опыте, обусловлены знаниями и опытом менеджера, наличием сходных ситуаций в прошлом. Логика таких решений не очевидна, но они привычны для менеджера, поэтому выбирается наиболее знакомая из всех альтернатив.

Рациональные – решения, которые принимаются вне зависимости от прошлого опыта в результате объективного аналитического процесса.

Ответственность за принятое решение – тяжелое моральное бремя менеджера. Каждое решение системно и затрагивает все сегменты организации, отражаясь на связанных с ней субъектах внешней среды, самих членах организации, обществе в целом. Реализация решения сопряжена с множеством положительных и отрицательных последствий. Зачастую совокупный эффект всех положительных сторон решения в дальнейшем оказывается гораздо меньше отрицательных последствий, усиливающихся в процессе реализации.

При принятии многих управленческих решений можно столкнуться с непредсказуемостью, вероятностным характером результата, на который оказывает влияние множество различных факторов как внутренних, так и внешних. Непредсказуемость результатов тем выше, чем ниже уровень профессионализма управленца (недостаточные знания в сфере менеджмента организации, управления персоналом, недостаточность навыков использования методов социально-психологического воздействия, технологии разработки и принятия управленческих решений).

На решение оказывают влияние следующие факторы:

- ценностные ориентации руководителя;
- время разработки и принятия решения;
- информационные ограничения;
- внешняя среда;
- поведенческие ограничения.

Система ценностей руководителя является фундаментом решения. Менеджер делает выбор, основываясь на своих представлениях. Длительный период времени для разработки и принятия решения в значительной степени повышает качество и эффективность решения. Но в реальной ситуации временной интервал ограничен степенью остроты проблемы и необходимостью своевременного принятия решения. Информационные ограничения связаны с доступной ценой и наличием информации. Кроме того, степень динамичности и неопределенности внешней среды, сложность взаимосвязей с субъектами окружения организации повышает или понижает риск принятия неправильных решений. Поведенческие ограничения связаны с личными пристрастиями менеджера, загруженностью текущей работой, психофизиологическими особенностями, информационными и другими перегрузками.

В управлении решение связывает все аспекты деятельности менеджера: от формулирования цели, описания ситуации, характеристики проблемы до разработки путей преодоления проблемы и достижения цели. Управленческое решение, включающее оценку ситуации, определение альтернатив, выбор лучшей из них, формулировку задания и организационно-практическую работу по его реализации, в конечном итоге, определяет эффективность всей системы и процессов менеджмента.

Основным требованием для принятия эффективного объективного решения или даже для понимания истинных масштабов проблемы является наличие адекватной точной информации. Единственным способом получения такой информации является коммуникация.

Коммуникация. Управленческая деятельность неразрывно связана с необходимостью постоянного обмена информацией (коммуникативной деятельности) для координации работы подразделений организации и индивидов, направленной на достижение общих целей. Способность передавать абстрактные идеи является одной из важных отличительных особенностей человечества. *Коммуникация* – это процесс обмена информацией, ее смысловым значением между двумя или более людьми. Прочность и качество отношений между людьми, будь это друзья, члены семьи или коллеги, в основном представляют собой функцию того, насколько четкими и честными являются их межличностные отношения. Поскольку организация представляет собой структурированный тип отношений между людьми, она в значительной степени зависит от качества коммуникаций для обеспечения эффективного функционирования.

Очевидно, что если коммуникации между людьми не будут эффективными, люди не смогут договориться об общей цели, что составляет предпосылку существования организации как таковой. Информация в процессе коммуникации передается не только для того, чтобы могли приниматься здравые решения, но также и для того, чтобы они могли выполняться. Планы, например, нельзя выполнить, если они не будут переданы тем людям, которые должны их выполнять. Обычно, если руководство может донести обоснование своих решений до подчиненных, это значительно повышает шансы их успешного выполнения. До тех пор, пока работники не понимают, какое вознаграждение может предложить им организация за хорошо выполненную работу, они не могут быть достаточно мотивированы и хорошо работать на нее. Коммуникация также важна и в функции контроля. Руководители нуждаются в информации относительно того, что было выполнено, чтобы правильно оценить, были ли достигнуты цели организации [3].

Анализ литературных источников в области менеджмента позволил выделить пять группообразующих признаков, по которым наиболее часто выделяются функции управления:

1. Стадия общественного производства, на основе которой формируются отрасли экономики и отдельные этапы воспроизводственного процесса.
2. Предмет управления, то есть отдельные составные части (компоненты) системы и объекта управления, нуждающиеся в координации в пространстве и времени.
3. Вид ресурсов – разновидность производственных, управленческих и экономических ресурсов, которыми наделен объект управления.
4. Основные функции – минимальные составные части любого процесса управления, используемые для выработки управленческих решений, являющиеся продуктом специализации.
5. Вид деятельности – наиболее типичные виды функциональной и отраслевой деятельности, полученные в процессе разделения общественного труда [2].

Библиографический список

1. **Виханский, О.С.** Менеджмент: учебник / О.С. Виханский, А.И. Наумов. – 3-е изд. – М.: Экономика, 2004. – 528 с.
2. **Егоршин, А.П.** Основы менеджмента: учебник для вузов / А.П. Егоршин. – Н. Новгород: НИМБ, 2008. – 320 с.
3. **Мескон, М. Х.** Основы менеджмента: [пер. с англ.] / М. Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури. – 2-е изд. – М.: Дело. 2004. – 800 с.
4. **Полукаров, В.Л.** Основы менеджмента: учеб. пособие / В.Л. Полукаров. – М.: КНОРУС, 2007. – 244 с.

*Дата поступления
в редакцию 27.06.2010*

М.А. Shimina

FUNCTIONAL FILLING OF GOVERNING ACTIVITY

This article discusses the content management through its functions. Function as a category of management characterizes a substantial form of administrative activity, or objectively necessary kind of relationship between people, as a manifestation of the essence of management. Content management functions has undergone significant changes in response to dramatic changes in economic relations in market economy. The increasing complexity of interaction with the environment may speak of a greater number of common features of modern organizations.

The article is written for those interested in governance issues in the management and specialists in the field of management.

Key words: management functions, process management, planning, organization, motivation, control, decision-making, communication.

МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 629.7.05/06: 531.781.2 (075.8)

В.Д. Вавилов, В.Л. Волков, А.В. Улюшкин

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА

Арзамасский политехнический институт (филиал) НГТУ

Получены оптимальные значения параметров корректирующего устройства микромеханического акселерометра, обеспечивающие его оптимальность по точностному критерию. Сформулированы требования к допустимым границам параметров. Применение методики оптимизации параметров направлено на обеспечение информационной надежности датчика.

Ключевые слова: коэффициент влияния, критерий оптимальности, средний квадрат ошибки, допуск, МЭМС, акселерометр.

При наличии достаточно адекватной математической модели датчика его дальнейшее исследование эффективно провести путем компьютерного моделирования. При этом достаточно просто решается задача оптимизации параметров датчика по выбранному критерию качества. В специальной литературе приведены алгоритмы получения оптимальных решений для быстрого действия отработки датчиком входных сигналов, обеспечения минимальной динамической ошибки при работе датчиков в условиях наблюдения и задач фильтрации [1, 2].

Методики, используемые в работах [1, 2], основаны на статистических испытаниях Монте-Карло, которые применяются при исследовании объектов, в описании которых существенную роль играет статистическая вариация и которые включают в себя вероятностные процессы. При отсутствии случайностей в модель исследуемого объекта их включают искусственно.

Датчики первичной информации (ДПИ) могут быть отнесены к таким объектам. Так, технические характеристики датчиков (технологические размеры чувствительных элементов, величины сопротивлений и другие характеристики) имеют значительный статистический разброс. Причем чем более сложна, точна, чем более совершенна конструкция ДПИ, чем в более сложных условиях ДПИ работают, чем выше требования к ним, тем более важно знать влияние отдельных параметров на их показатели качества.

Исследование влияния ряда параметров микросистемного акселерометра на показатели качества является актуальной задачей. Даже если режимы эксплуатации МЭМС акселерометров одинаковы и они сами при выпуске имеют одинаковые номиналы параметров и выходных характеристик, тем не менее, у них могут быть разные коэффициенты старения элементов. А это приводит к тому, что партия однородных датчиков со временем становится неоднородной, возникают различия в «постоянных времени» и, в конечном итоге, «нулевого» сигнала, порога чувствительности, коэффициента передачи передаточной функции, времени переходного процесса, перерегулирования и других важных характеристик. Также сами

условия эксплуатации крайне разнообразны, и по этой причине создаются условия для неодинакового изменения технических характеристик и параметров, для отклонения их от номиналов.

Искусственно, с применением метода МК, необходимо вычислить коэффициенты чувствительности показателей качества акселерометра к различным параметрам, выявить наиболее важные из них и сформулировать требования к их допускам при изготовлении, и главное, при эксплуатации.

Задача поддержания характеристик акселерометра на заданном уровне может быть сформулирована как задача информационной надежности, т.е. способности измерительного устройства сохранять расчетные характеристики (информационную точность, быстродействие, частотные характеристики) в пределах допуска [3].

На стадии проектирования ДПИ для показателя качества J устанавливают его номинальное значение $J_{\text{ном}}$ и предельные допустимые отклонения – нижнюю J_1 и верхнюю J_2 границы. Они определяют полуширину поля допуска $dJ=(J_2-J_1)/2$ (в этом случае требования к уровню J задаются в виде $J_{\text{ном}} \pm dj$). Необходимо, чтобы J попадало в поле допуска, тогда ДПИ по данному свойству считается работоспособным. На основе полученных требований к параметру J решается обратная задача – выявление допустимых значений аргументов, влияющих на J . Это особенно важно для исходных параметров, имеющих высокие коэффициенты влияния.

Установление численных значений границ J_1 и J_2 проводится на основе тактико-технических требований к ДПИ. При статистическом моделировании ДПИ находят среднеквадратическое отклонение и принимают $dJ=k\sigma_j$. Из этого условия определяется σ_j (часто k – коэффициент ширины поля допуска принимают равным 3 из условия доверительной вероятности 0,997 для нормального закона распределения).

Методом статистического моделирования находят коэффициенты чувствительности (коэффициенты влияния) параметров f_i ДПИ на выходную характеристику. Определяют среднеквадратические отклонения аргументов и их допустимые границы.

Кроме поставленной задачи, вероятностной по своей природе, не менее важной представляется математическая задача оптимизации. Здесь случайные вариации исходных параметров вводятся искусственно. Задача оптимизации часто предшествует задаче формирования допусков на исходные параметры ДПИ.

В состав математического обеспечения компьютерной реализации метода МК как для задачи определения допустимых границ параметров акселерометра, так и для задачи оптимизации входят: подпрограмма – модель ДПИ и его показателей качества, управляющая программа вариации параметров ДПИ, программа статистической обработки.

1. Математическая модель акселерометра.

Математическая модель определяет функциональную связь между исследуемой выходной характеристикой и входными величинами (исходными параметрами). В данной статье основным показателем качества акселерометра рассматривается средний квадрат динамической ошибки выходного сигнала. Этот показатель может быть вычислен как теоретически, так и экспериментально. Теоретический расчет предполагает вычисление интегральных зависимостей от переходной функции датчика при ступенчатом воздействии. Более эффективен при использовании метода МК экспериментальный расчет, сводящийся к численному интегрированию переходной функции.

Математическая модель акселерометра рассматривалась в работах [4, 5]. Схема измерительного устройства на базе микросистемного компенсационного акселерометра представлена на рис. 1.

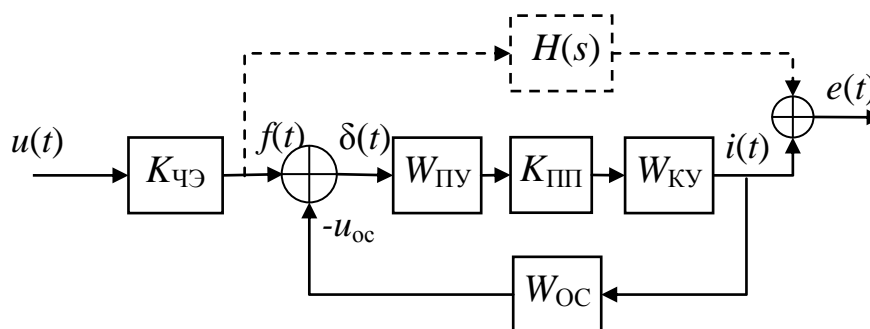


Рис. 1. Структурная схема датчика с коррекцией

На схеме обозначено: $K_{чЭ}$ - коэффициент передачи чувствительного элемента; $W_{ПУ}$ -

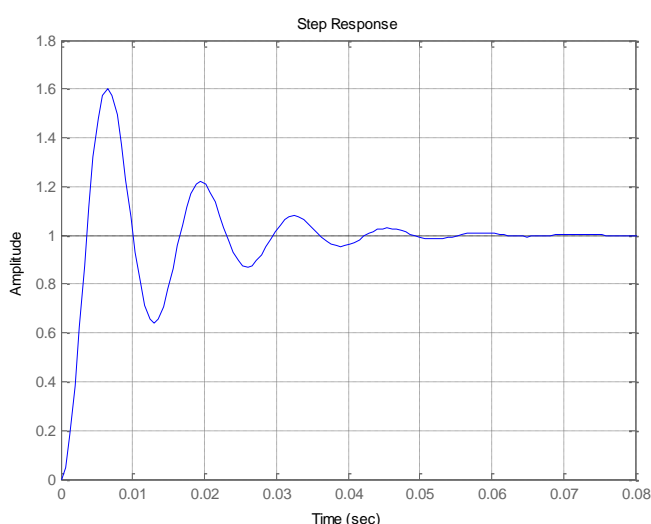


Рис. 2. Переходная функция

передаточная функция подвижного узла (маятника); $K_{ПП}$ - коэффициент передачи преобразователя перемещения; $W_{КУ}$ - передаточная функция усилителя с корректирующим устройством (КУ); W_H - передаточная функция нагрузки; $W_{Вых}$ - передаточная функция выходной RC цепочки; $K_{ОС}$ - коэффициент передачи силового элемента обратной связи; $H(s)$ - идеальный оператор передачи измеряемого сигнала.

Основные математические модели интегрального маятника, преобразователя перемещения, силового элемента обратной связи представлены в учебнике В.Д. Вавилова [5] и более подробно применительно к компьютерному моделированию основных характеристик в среде

Matlab в учебном пособии [6].

Общая передаточная функция, согласно структурной схеме, имеет вид.

$$W(s) = K_{чЭ} \frac{W_{ПУ} K_{ПП} W_{КУ}}{1 + W_{ПУ} K_{ПП} W_{КУ} K_{ОС}}. \quad (1)$$

При использовании программы из [6] получены результаты предварительного расчета при начальных исходных данных без КУ, при наличии газового демпфирования с помощью азота.

Для датчика построен график переходной функции (рис. 2).

Расчетные параметры передаточной функции датчика представлены в табл. 1. При наличии демпфирования (датчик заполнен азотом) передаточная функция подвижного узла получена четвертого порядка [5]. Средний квадрат динамической ошибки составляет $3,6 \cdot 10^{-3}$.

Частотные характеристики показывают наличие динамической устойчивости, хотя и с ярко выраженным резонансным пиком. Запас устойчивости по фазе $2,45^\circ$, а запас устойчивости по амплитуде абсолютный, что явно указывает на необходимость КУ.

Переходный процесс является колебательным асимптотически затухающим с большим переуправлением. Время переходного процесса сильно затянуто (около 0,06 с). На структурной схеме рис. 1 показано включение КУ, способного обеспечить необходимые динамические характеристики. Необходимо сформулировать требования к КУ.

Таблица 1

Параметры передаточной функции датчика

Параметр	Значение
Коэффициент чувствительного элемента	$K_{ЧЭ} = 2,5 \cdot 10^{-8}$
Коэффициент обратной связи	$K_{ОС} = 1,4 \cdot 10^{-6}$
Коэффициент первичного преобразователя	$K_{ПП} = 877,5$
Передаточная функция подвижного узла	$W_{ПУ}(s) = \frac{1,003s^2 + 5,4s + 1,9 \cdot 10^{-5}}{5,1 \cdot 10^{-8}s^4 + 2,3 \cdot 10^{-6}s^3 + 2,2 \cdot 10^{-5}s^2 + 3,9 \cdot 10^{-10}s + 8,4}$
Полная передаточная функция	$W(s) = \frac{4302s^2 + 2,3 \cdot 10^4s + 0,082}{s^4 + 162,1s^3 + 2,4 \cdot 10^5s^2 + 1,3 \cdot 10^6s + 4,58}$

2. Задача оптимизации параметров динамической точности.

Необходимо определить вектор параметров ДПИ F , обеспечивающий минимум показателя качества, который выражается аналитическим функционалом (2) или вычисляется на основе моделирования работы ДПИ:

$$J = Q\{F, X(t), U(t)\}, \quad (2)$$

где $X(t)$ – вектор состояния процессов в ДПИ в момент t ; $U(t)$ – вектор входных воздействий.

Оптимизация проводится по критерию минимума среднего квадрата динамической ошибки датчика при анализе реакции на детерминированное ступенчатое воздействие.

При использовании этого метода вектор параметров F варьируют в допустимых границах случайным образом и вычисляют при каждом статистическом испытании функционал качества $Q(F)$. Затем при достижении достаточного статистического материала определяют экстремум функционала и выявляют соответствующие ему оптимальные значения вектора F . Данная методика более подробно рассмотрена в работе [1].

В качестве функционала используется выражение СКО ИУ. Изменяемыми параметрами векторного аргумента F в этом случае являются параметры КУ. Эти параметры могут быть изменены в ограниченных пределах, определяемых физически реализуемыми параметрами. Ограничения также накладываются на один из ключевых параметров переходного процесса ИУ – перерегулирование. Нахождение в допуске данного параметра определяет такие важные показатели качества, как запас устойчивости динамичной системы и время переходного процесса.

Наиболее эффективным корректирующим устройством предполагается КУ, построенное по принципу ПИД-регулятора.

Одно из важных требований, предъявляемых к системам регулирования, заключается в том, чтобы постоянное входное воздействие обрабатывалось без установившейся ошибки. Для статических систем при классическом синтезе этого можно добиться с помощью включения ПИД-регулятора или изодромного регулятора (ПИ-регулятора). Корректирующее устройство типа ПИД-регулятора, включенное в прямой цепи, в этом случае имеет следующую передаточную функцию:

$$W_{ky} = T_3s + T_2 + T_1 / s = \frac{T_3s^2 + T_2s + T_1}{s}. \quad (3)$$

где T_1 , T_2 , T_3 – коэффициенты пропорциональности звеньев: интегрирующего, пропорционального, дифференцирующего. Структурная схема акселерометра с КУ данного типа представлена на рис. 3.

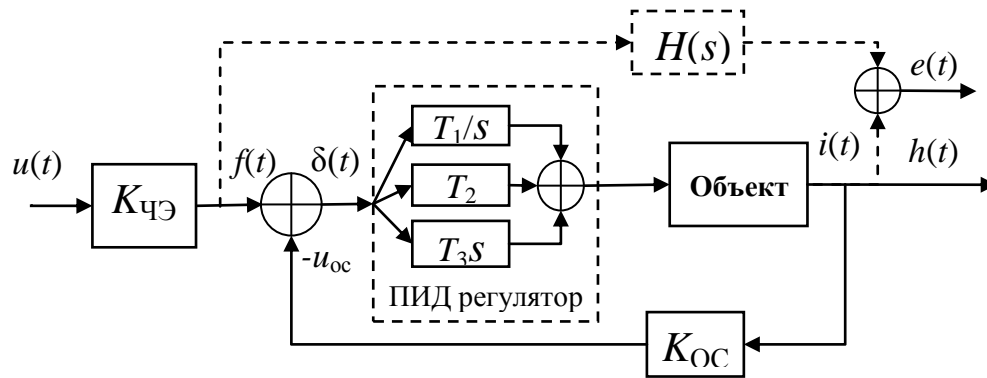


Рис. 3. Структурная схема датчика с ПИД-регулятором

Регулируемая величина при ПИД-регуляторе стабилизируется на заданном значении, сигнал пропорциональной составляющей будет равен нулю, а выходной сигнал будет полностью обеспечивать интегральная составляющая. Дифференциальная составляющая противодействует предполагаемым отклонениям регулируемой величины, которые могут произойти в будущем. Эти отклонения могут быть вызваны внешними возмущениями или запаздыванием воздействия регулятора на систему. Чем быстрее регулируемая величина отклоняется от измеряемого значения, тем сильнее противодействие, создаваемое дифференциальной составляющей.

Передаточная функция КУ, полученная в результате статистической оптимизации, имеет следующий вид:

$$W_{\text{КУ}}(s) = \frac{762,9s^2 + 0,0706s + 0,008}{s} \quad (4)$$

Полная передаточная функция датчика с ПИД корректирующим устройством имеет следующий вид.

$$W(s) = \frac{4,4 \cdot 10^5 s^4 + 2,3s^3 + 181,5s^2 + 17,3s + 6,1 \cdot 10^{-5}}{5,1 \cdot 10^{-8} s^5 + 1,2s^4 + 6,7s^3 + 5,2 \cdot 10^{-4} s^2 + 4,9 \cdot 10^{-5} s + 1,7 \cdot 10^{-10}}$$

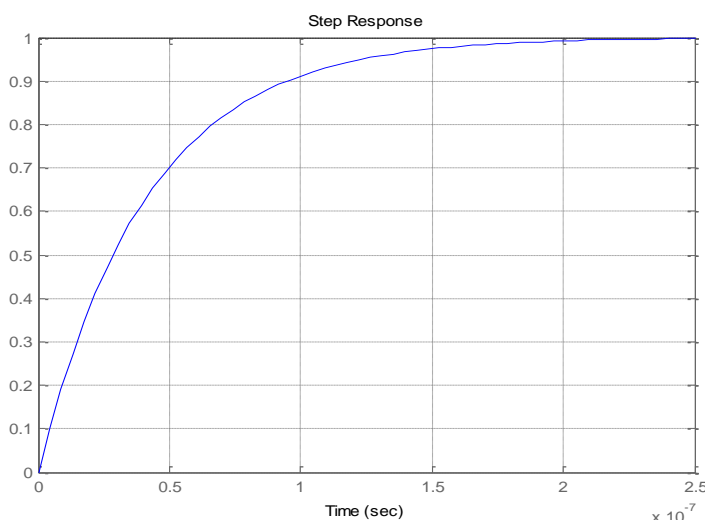


Рис. 4. График переходного процесса оптимального акселерометра

График переходного процесса для оптимального случая корректирующего устройства представлен на рис. 4.

СКО составляет $1,0 \cdot 10^{-7}$, что существенно меньше, чем без применения КУ. Выигрыш в точности составляет 189,7. Также существенно снижено время переходного процесса: $t_{\text{ПП}} = 2,5 \cdot 10^{-7}$ с. Полоса пропускания датчика существенно возросла с $\omega_c = 1 \cdot 10^2$ до $\omega_c = 2 \cdot 10^7$ рад/с, что также свидетельствует о повышении быстродействия и улучшении динамических характеристик. Перерегулирование нулевое, статическая ошибка является нулевой.

3. Задача обеспечения допустимых отклонений СКО от минимума.

Насколько достигнутый путем экспериментальных расчетов минимум СКО динамической ошибки датчика может быть обеспечен практически? Разброс конструктивных параметров датчика, а также неточность исполнения КУ приводят к уходу СКО от точки мини-

му. Реальное значение СКО оказывается несколько выше минимально возможного. Поставим задачу оценивания допуска на параметры датчика и КУ при заданном допуске на минимум СКО относительно расчетного.

Задача определения коэффициентов чувствительности dJ/df_i параметров ДПИ решается следующим образом. Производится моделирование работы ДПИ при номинальных значениях параметров (оптимальных параметрах КУ). При этом исследуемому параметру задаются случайные вариации с нормальным законом распределения, что соответствует практике. Регистрируется выходная характеристика J и определяется ее дисперсия. Коэффициент чувствительности i -го параметра определяется в виде [2]

$$\frac{dJ}{df_i} = \frac{\sigma_J/J}{\sigma_{f_i}/f_i} \quad (5)$$

Найдем в первую очередь коэффициенты чувствительности для параметров КУ, непосредственно влияющих на СКО динамической ошибки акселерометра.

Используем результаты решения задачи минимизации СКО, где были получены численные значения постоянных времени КУ, которые определяют передаточную функцию КУ (3) в конкретном виде (см. формулу (4)).

Вычислительный эксперимент для каждой постоянной времени КУ дал коэффициенты чувствительности, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты чувствительности параметров КУ

f_i	Мат.ож. $M(f_i)$	Среднеквадратическое отклонение σ_{f_i}	Число испытаний	Мат.ож $M(\text{СКО})$	Среднеквадратическое отклонение $\sigma_{\text{СКО}}$	Кoeff. влияния $k_i=dJ/df_i$
T_1	0,008	0,01	5000	$1,03 \cdot 10^{-7}$	$4,9 \cdot 10^{-14}$	$3,8 \cdot 10^{-7}$
T_2	0,071	0,1	5000	$1,03 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-17}$	$7,9 \cdot 10^{-11}$
T_3	762,9	100	5000	$1,03 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-9}$	0,1172
Все параметры с $M(f_i)$, σ_{f_i}			10000	$1,03 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-9}$	

Для определения допусков на исходные параметры зададим требования к выходной характеристике с точки зрения выполнения эксплуатационных характеристик и с точки зрения конструктора ДПИ как эксперта (в данном случае к СКО). Здесь надо учитывать и допустимые значения оптимизируемой выходной характеристики и целесообразность (может быть даже физическую выполнимость) реализации "жестких" допусков на исходные параметры. Если задаваться допуском $\omega\%$ от минимального значения СКО, то легко найти соответствующие среднеквадратические отклонения σ_{f_i} параметров и поля допусков. Значения σ_{f_i} определяем на основе (5), где f_i , dJ/df_i берутся из табл. 2, а $J=\min\{\text{СКО}\}$.

Например, при 5%-ном допуске на СКО динамической ошибки выходного сигнала получим среднеквадратическое отклонение $\sigma_{\text{СКО}}=0,05\min\{\text{СКО}\}/3=1,67 \cdot 10^{-9}$, при этом соответствующие σ_{f_i} вычисляются на основании (5) по формуле

$$\sigma_{T_i} = \frac{T_i}{\text{СКО}_{\min}} \frac{\sigma_{\text{СКО}}}{k_i} \quad (6)$$

и имеют значения: $\sigma_{T_1}=349,1$, $\sigma_{T_2}=1,48 \cdot 10^7$, $\sigma_{T_3}=108,5$. Первые две величины возможных среднеквадратических отклонений параметров T_1 и T_2 указывают, что практически СКО датчика не критично к этим параметрам. Последняя величина $\sigma_{T_3}=108,5$ указывает на то, что параметр T_3 имеет следующие допустимые значения (из расчета предельного отклонения по правилу $3\sigma_{T_3}$):

$$T_3 = 762,9^{-\frac{+325,5}{-325,5}}$$

Выводы

Получены оптимальные значения параметров корректирующего устройства микро-механического акселерометра. Предъявлены требования к допустимым границам параметров для обеспечения информационной надежности датчика. Примененный метод статистического моделирования для решения задачи оптимизации параметров датчика может быть распространен для других измерительных устройств, когда вектор оптимизируемых параметров имеет ограниченную размерность (до 15–20).

Библиографический список

1. **Волков, В.Л.** Измерительные информационные системы: учеб. пособие / В.Л. Волков. – Н. Новгород: НГТУ, 2009. – 242 с.
2. **Волкова, Н.В.** Исследование датчиков первичной информации методом статистических испытаний Монте-Карло // Материалы Всероссийской научно-технической конференции "Приборостроение в аэрокосмической технике". – Арзамас. 1999. С. 24-28.
3. **Дмитриев, С.П.** Информационная надежность, контроль и диагностика навигационных систем / С.П. Дмитриев, Н.В. Колесов, А.В. Осипов – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2004. – 208 с.
4. **Распопов, В.Я.** Микромеханические приборы: учеб. пособие / В.Я. Распопов. – М.: Машиностроение, 2007. – 400 с.
5. **Вавилов, В.Д.** Интегральные датчики: учебник / В.Д. Вавилов. – Н. Новгород: НГТУ, 2003. – 503 с.
6. **Вавилов, В.Д.** Компьютерное моделирование характеристик микросистемных датчиков / В.Д. Вавилов. – Н. Новгород: НГТУ, 2007. – 80 с.

*Дата поступления
в редакцию 06.07.2010*

V.D. Vavilov, V.L. Volkov, A.V. Ulyushkin

OPTIMIZATION PARAMETER OF MICROMECHANICAL ACCELEROMETER

They Are Received best values parameter correcting device micromechanical accelerometers, providing his optimization on accuracy criterion. The Worded requirements to possible border parameter. Using the methods to optimization parameter is directed on provision of information reliability of the sensor.

Key words: factor of the influence, criterion optimization, average square of the mistake, tolerance, MEMS, accelerometer.

УДК 531.7.084/.085

С. Ю. Юрманов

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРУГОГО ПОДВЕСА ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДАТЧИКОВ В СИСТЕМАХ НАВИГАЦИИ

ОАО «Арзамасский приборостроительный завод», г. Арзамас

Приведены конструктивные варианты многобалочных подвесов. Проведен анализ жесткости упругого подвеса. Выведена зависимость оптимального числа балок от различных параметров упругого подвеса.

Ключевые слова: Упругий подвес, конструкция, математическая модель, оптимизация.

Наибольшее распространение в приборостроении получили подвесы балочного типа за их простоту, надежность и технологичность. Целью данной работы является анализ и выбор оптимальной конфигурации упругого подвеса чувствительных элементов, являющихся основой приборов первичной информации, в том числе в МЭМС.

Основными требованиями к характеристикам упругого подвеса являются [2]:

- минимальная жесткость по оси чувствительности;
- максимальная жесткость по осям нечувствительности;
- максимальная величина допустимой нагрузки при механических воздействиях.

Исходя из данных требований, проанализируем различные варианты конфигурации упругого подвеса (УП), показанные на рис. 1. Наибольшее распространение в датчиках первичной информации получили УП с балкой переменного сечения (рис. 1, б) за простоту в изготовлении. Его коэффициент жесткости на продольный изгиб (угол β , лежащий в плоскости YOZ (рис. 2), вычисляется по следующей формуле [1]:

$$g_{\beta} = \frac{E_1 b}{24} \int_0^L \frac{dl}{h(l)^3}, \quad (1)$$

где $h(l) = h_0 + 2\sqrt{R^2 - (L-l)^2}$; E_1 – модуль упругости первого рода материала балки; b – ширина балки; h_0 – минимальная толщина балки; R – радиус кривизны балки; L – длина половины балки.

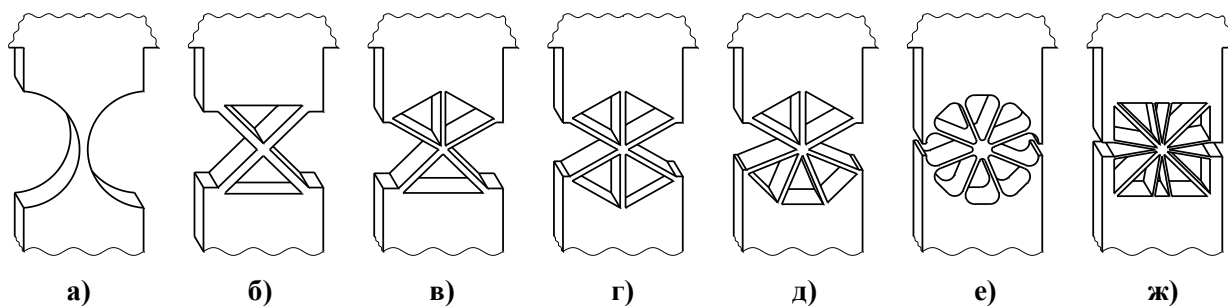


Рис. 1. Варианты конфигурации упругого подвеса:

a – упругий подвес балкой переменного сечения; *б* – четырехбалочный упругий подвес; *в* – пятибалочный упругий подвес; *г* – шестибалочный упругий подвес; *д* – семибалочный упругий подвес; *е* – восьмибалочный упругий подвес со скруглением у основания; *ж* – двенадцатибалочный упругий подвес с балками различной конфигурации и под различным углом между балками

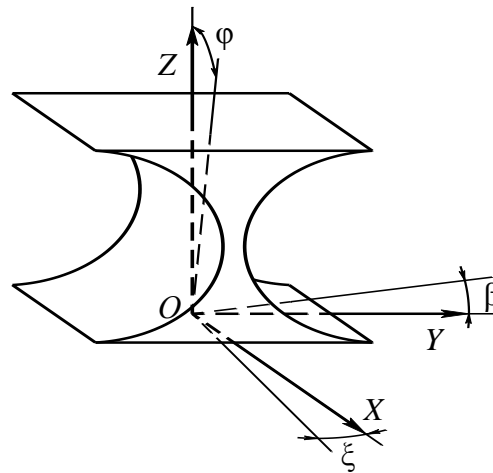


Рис. 2. Схема расположения углов отклонения УП относительно системы координат

Коэффициент жесткости УП на поперечный изгиб (угол φ , лежащий в плоскости XOZ (рис. 2), равен

$$g_{\varphi} = \frac{E_1 b^3}{24} \bigg/ \int_0^L \frac{dl}{h(l)}. \quad (2)$$

Коэффициент жесткости УП на кручение, угол ξ , лежащий в плоскости XOY (рис. 2), равен

$$g_{\xi} = \frac{E_2 b}{2} \bigg/ \int_0^L \frac{dl}{h(l)^3}, \quad (3)$$

где E_2 – модуль упругости второго рода материала балки.

Коэффициент жесткости УП на сжатие вдоль оси OZ (рис. 2) равен

$$g_{\delta} = \frac{E_1 b}{2} \bigg/ \int_0^L \frac{dl}{h(l)}. \quad (4)$$

Коэффициент жесткости УП на продольный сдвиг вдоль оси OY (рис. 2) равен

$$g_{\gamma} = \frac{E_1 b}{24 L^2} \bigg/ \int_0^L \frac{dl}{h(l)^3}. \quad (5)$$

Коэффициент жесткости УП на поперечный сдвиг вдоль оси OX (рис. 2) равен

$$g_{\lambda} = \frac{E_1 b^3}{24 L^2} \bigg/ \int_0^L \frac{dl}{h(l)}. \quad (6)$$

Рассмотрим балку, находящуюся под углом α к оси OZ (рис. 3, а). Длина балки определяется по уравнению:

$$l_i = L - \frac{1}{2} h \operatorname{ctg}(\alpha_i). \quad (7)$$

Если рассматривать величины углов отклонений УП β , φ и ξ как предельно малые, то при продольном изгибе УП угол наклона балки (рис. 3, б) равен:

$$\beta_i = \beta L/l_i,$$

а увеличение длины равно

$$\delta_{\beta i} = \beta^2 L^2 / l_i. \quad (9)$$

При поперечном изгибе УП (рис. 3, в) угол поперечного изгиба балки равен

$$\varphi_i = \varphi \cos(\alpha_i), \quad (10)$$

угол кручения балки равен

$$\xi_i = \varphi \sin(\alpha_i). \quad (11)$$

При кручении УПа угол поперечного изгиба балки равен

$$\varphi_i = \xi \sin(\alpha_i), \quad (12)$$

угол кручения балки равен

$$\xi_i = \xi \cos(\alpha_i). \quad (13)$$

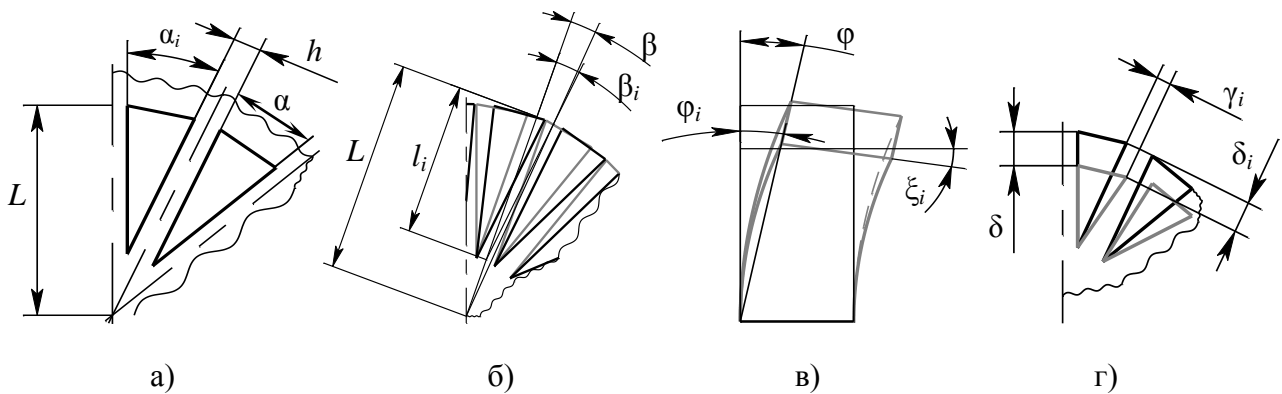


Рис. 3. Схема расположения балки при различных видах деформации:
a – схема расположения балки в состоянии покоя; *б* – при продольном изгибе;
в – при поперечном изгибе; *г* – при сжатии

Аналогично, при δ, γ и $\lambda \ll L$, при сжатии УП (рис. 3, д) величина сжатия балки равна

$$\delta_i = \delta \cos(\alpha_i), \quad (14)$$

величина продольного сдвига балки равна

$$\gamma_i = \delta \sin(\alpha_i). \quad (15)$$

При продольном сдвиге УП величина продольного сдвига балки равна

$$\gamma_i = \gamma \cos(\alpha_i), \quad (16)$$

величина сжатия балки равна

$$\delta_i = \gamma \sin(\alpha_i), \quad (17)$$

При поперечном сдвиге УП величина поперечного сдвига балки равна

$$\lambda_i = \lambda. \quad (18)$$

Проекция реакции опоры, создаваемой балкой при деформации, определяемой по выражениям (7)-(18), на линию воздействия равна

- при продольном изгибе

$$M_{\beta i} = \frac{E_1 b h^3 L}{12(L - 0.5h \operatorname{ctg}(\alpha))^2} \beta + \frac{E_1 b h L^3}{(L - 0.5h \operatorname{ctg}(\alpha))^2} \beta^3, \quad (19)$$

- при поперечном изгибе

$$M_{\varphi i} = \left(\frac{\cos(\alpha_i)^2 E_1 b^3 h L}{12(L - 0.5h \operatorname{ctg}(\alpha))^2} + \frac{\sin(\alpha_i)^2 E_2 b h^3}{(L - 0.5h \operatorname{ctg}(\alpha))} \right) \varphi, \quad (20)$$

- при кручении

$$M_{\xi i} = \left(\frac{\sin(\alpha_i)^2 E_1 b^3 h L}{12(L - 0.5h \operatorname{ctg}(\alpha))^2} + \frac{\cos(\alpha_i)^2 E_2 b h^3 L}{(L - 0.5h \operatorname{ctg}(\alpha))} \right) \xi, \quad (21)$$

- при сжатии

$$F_{\delta i} = \left(\frac{\cos^2(\alpha_i) E_1 b h}{(L - 0.5h \operatorname{ctg}(\alpha))} + \frac{\cos(\alpha_i) \sin(\alpha_i) E_1 b h^3 L}{(L - 0.5h \operatorname{ctg}(\alpha))^4} \right) \delta, \quad (22)$$

- при продольном сдвиге

$$F_{\gamma i} = \left(\frac{\sin^2(\alpha_i) E_1 b h}{(L - 0.5h \operatorname{ctg}(\alpha))} + \frac{\cos(\alpha_i) \sin(\alpha_i) E_1 b h^3 L}{(L - 0.5h \operatorname{ctg}(\alpha))^4} \right) \gamma, \quad (23)$$

- при поперечном сдвиге

$$F_{\lambda i} = \frac{E_1 b^3 h L}{12(L - 0.5h \operatorname{ctg}(\alpha))^4} \lambda. \quad (24)$$

УП с несколькими балками (рис. 1 в, г, д, е) представляет из себя две полуокружности, соединенные балками с постоянным сечением, которые выходят из центра данных полуокружностей. Очевидно, что для равномерного распределения нагрузок конструкция УП должна иметь четное число балок с равным сечением и под равными углами друг к другу, как показано на рис. 1 в, г, д. Далее целесообразно рассматривать УП данной конструкции, где n – число балок, соединяющих центр УП с одной из полуокружностей.

Для сравнения характеристик подвесов по максимальной жесткости по осям нечувствительности и максимальной величине допустимой нагрузки при механических воздействиях необходимо, чтобы УП имели одинаковые длину, ширину и жесткость на продольный изгиб (c_0). Исходя из этого, толщина балки n -балочного УП (рис. 1 в, г, д) определяется из уравнения

$$c_0 = \int_0^{\beta_{\max}} \frac{2nEb h_n L}{(2L - h_n \operatorname{ctg}(\pi/2n))^2} \left(\frac{h_n^2}{12} \beta + \beta^3 L^2 \right) d\beta \Big/ \frac{\beta_{\max}^2}{2} = \frac{2nEb h_n L}{(2L - h_n \operatorname{ctg}(\pi/2n))^2} \left(\frac{h_n^2}{12} + \frac{\beta_{\max}^2 L^2}{2} \right), \quad (25)$$

откуда

$$h_n = \frac{H_n}{6A_n} - \frac{6A_n C_n - 2B_n^2}{3A_n H_n} + \frac{B_n}{3A_n}, \quad (26)$$

где $A_n = \frac{nE_1bL}{24}$, $B_n = \frac{c_0 \operatorname{ctg}(\pi/2n)}{4}$, $C_n = nE_1bL^3\beta_{\max}^2/4 + Lc_0\operatorname{ctg}(\pi/2n)$, $D_n = c_0L^2$,
 $F_n = 4A_nC_n^3 - B_n^2C_n^2 - 18A_nB_nC_nD_n + 27A_n^2D_n^2 + 4B_n^3D_n$,
 $H_n = \sqrt[3]{108A_n^2D_n - 36A_nB_nC_n + 8B_n^3 + 12A_n\sqrt{3F_n}}$.

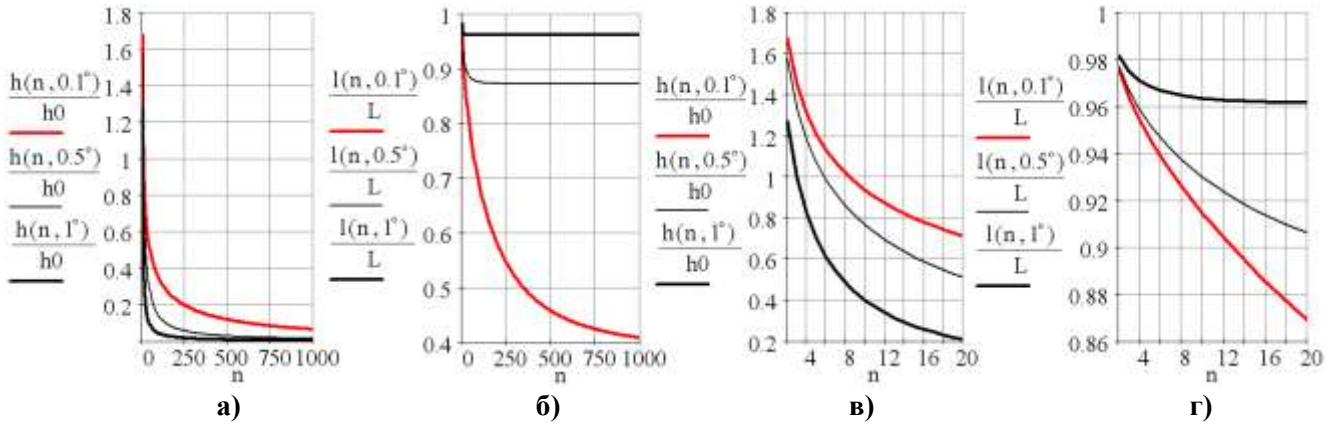


Рис. 4. Зависимость отношений толщин и рабочих длин балки n -балочного УП и балки УП балкой переменного сечения от числа балок и угла прокатки:

a, в – зависимости отношений толщины балки n -балочного УП к минимальной толщине балки УП с балкой переменного сечения; *б, г* – зависимости отношений рабочей длины балки n -балочного УП к длине балки УП с балкой переменного сечения

Зависимости изменения толщины и рабочей длины балки n -балочного УП, определяемые выражениями (7) и (25), показаны на рис. 4 для подвеса с $R = L = 2$ мм, $b = 0.85$ мм, $c_0 = 6.2 \times 10^{-3}$ Н м / рад (как и для всех последующих рисунков), при этом максимальное число балок определяется из неравенства

$$l_n = L - \frac{1}{2} h_n \operatorname{ctg}(\pi/2n) > 0, \tag{27}$$

откуда при $\beta_{\max} \rightarrow 0$

$$n_{\max} \leq L\sqrt{\pi^3 b E_1 / c_0} / 2. \tag{28}$$

Из уравнений (19)–(24) следует, что коэффициенты жесткости n -балочного УП при различных воздействиях равны:

- при продольном изгибе

$$g_{\beta n} = \frac{nE_1bh_nL}{2(L - 0.5h_n \operatorname{ctg}(\pi/2n))^2} \left(\frac{h_n^2}{12} + \frac{\beta_{\max}^2 L^2}{2} \right), \tag{29}$$

- при поперечном изгибе

$$g_{\varphi n} = \frac{bh_n}{2(L - 0.5h_n \operatorname{ctg}(\pi/2n))} \sum_{i=1}^n \left(\frac{E_1 \cos^2(\alpha_i) b^2 L}{12(L - 0.5h_n \operatorname{ctg}(\pi/2n))} + E_2 \sin^2(\alpha_i) h_n^2 \right), \tag{30}$$

- при кручении

$$g_{\xi n} = \frac{bh_n}{2(L - 0.5h_n \operatorname{ctg}(\pi/2n))} \sum_{i=1}^n \left(\frac{E_1 \sin^2(\alpha_i) b^2 L}{12(L - 0.5h_n \operatorname{ctg}(\pi/2n))} + E_2 \cos^2(\alpha_i) h_n^2 \right), \tag{31}$$

- при сжатии

$$g_{\delta n} = \frac{E_1 b h_n}{2(L - 0.5 h_n \operatorname{ctg}(\pi / 2n))} \sum_{i=1}^n \left(\cos^2(\alpha_i) + \frac{\cos(\alpha_i) \sin(\alpha_i) h_n^2 L}{(L - 0.5 h_n \operatorname{ctg}(\pi / 2n))^3} \right), \quad (32)$$

- при продольном сдвиге

$$g_{\gamma n} = \frac{E_1 b h_n}{2(L - 0.5 h_n \operatorname{ctg}(\pi / 2n))} \sum_{i=1}^n \left(\sin^2(\alpha_i) + \frac{\cos(\alpha_i) \sin(\alpha_i) h_n^2 L}{(L - 0.5 h_n \operatorname{ctg}(\pi / 2n))^3} \right), \quad (33)$$

- при поперечном сдвиге

$$g_{\lambda n} = \frac{n E_1 b^3 h_n L}{24(L - 0.5 h_n \operatorname{ctg}(\pi / 2n))^4}. \quad (34)$$

Значения отношения жесткостей n -балочных УП при различном количестве балок и

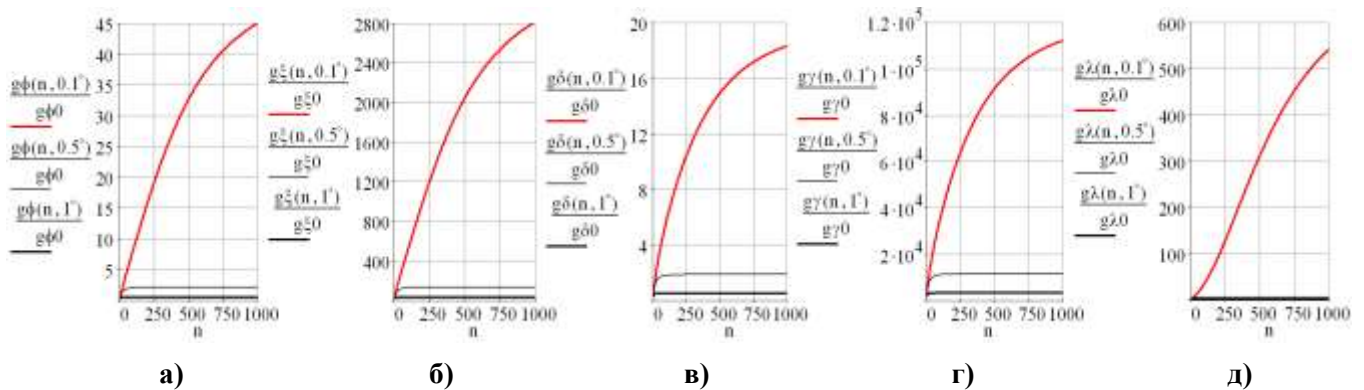


Рис. 5. Соотношение жесткостей УП упругого подвеса различной конфигурации:
 а – соотношение жесткостей УП на поперечный изгиб; б – соотношение жесткостей УП на кручение;
 в – соотношение жесткостей УП на сжатие; г – соотношение жесткостей УП на продольный сдвиг;
 д – соотношение жесткостей УП на поперечный сдвиг

угле прокачки и УП с балкой переменного сечения, полученных из выражений (2)-(6) и (30)-(34) показаны на рис. 5 (g_0 – жесткость для оси с балками переменного сечения, определяемая по (2)-(6)).

Поскольку на одной оси УП, как правило, находятся два УП, то коэффициенты жесткости оси УП равны:

- жесткость оси при продольном изгибе

$$G_{\beta} = 2g_{\beta}, \quad (35)$$

- жесткость оси при поперечном изгибе, где θ – угол между осями симметрии УП в оси (как правило, $\theta = 0$), r – половина расстояния между УП (как правило, $r > L$)

$$G_{\phi} = 2(\cos(\theta/2)g_{\phi} + \sin(\theta/2)g_{\xi} + \cos(\theta/2)r^2g_{\delta} + \sin(\theta/2)r^2g_{\gamma}), \quad (36)$$

- жесткость оси при кручении

$$G_{\xi} = 2(\cos(\theta/2)g_{\xi} + \sin(\theta/2)g_{\phi} + \cos(\theta/2)r^2g_{\gamma} + \sin(\theta/2)r^2g_{\delta}), \quad (37)$$

- жесткость оси при сжатии

$$G_{\delta} = 2(\cos(\theta/2)r^2g_{\delta} + \sin(\theta/2)r^2g_{\gamma}), \quad (38)$$

- жесткость оси при продольном сдвиге

$$G_{\gamma} = 2(\cos(\theta/2)r^2g_{\gamma} + \sin(\theta/2)r^2g_{\delta}), \quad (39)$$

- жесткость оси при поперечном сдвиге

$$G_{\lambda} = 2g_{\lambda}. \quad (40)$$

Зависимости жесткостей осей при различном количестве балок в УП и угле прокатки и для оси с УП с балкой переменного сечения показаны на рис. 6 (G_0 – жесткость для оси с балками переменного сечения, где $\theta = 90^\circ$).

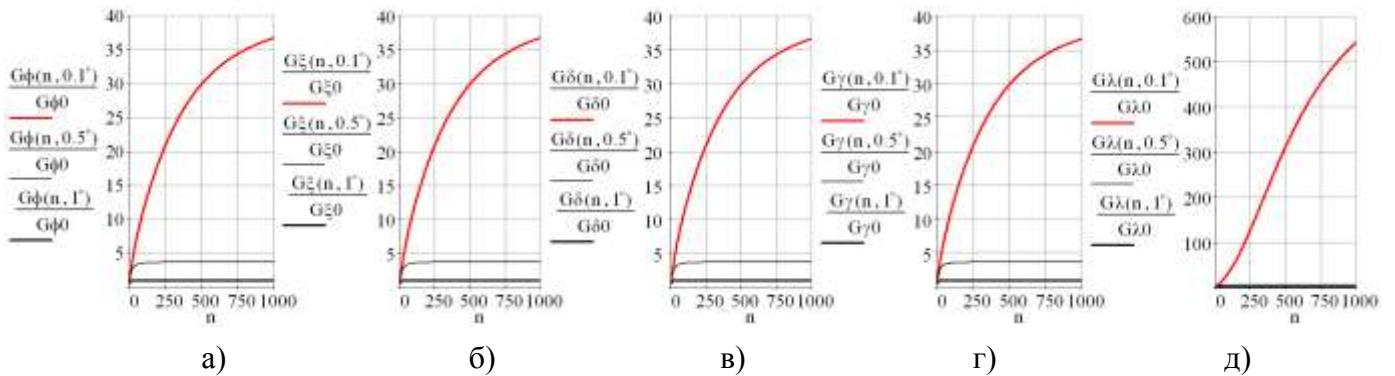


Рис. 6. Отношение жесткостей осей упругих подвесов различной конфигурации:
 а – отношение жесткостей осей УП на поперечный изгиб; б – отношение жесткостей осей УП на кручение; в – отношение жесткостей осей УП на сжатие; г – отношение жесткостей осей УП на продольный сдвиг; д – отношение жесткостей осей УП на поперечный сдвиг

Напряжение в балке при нагрузке M_0 (F_0) определяется, исходя из выражения

$$\sigma = F_{\text{оп}}/S_{\delta}, \quad (41)$$

где $F_{\text{оп}}$ – сила реакции опоры, возникающая в балке; S_{δ} – площадь балки.

Поскольку при нагрузке M_0 (F_0), действующей на УП, возникает деформация, равная M_0/g , то выражение (41) примет вид

- при изгибе или кручении

$$\sigma = M_0g_{\delta}/gIS_{\delta}, \quad (42)$$

- при сжатии или сдвиге, где g_{δ} – жесткость балки, l – плечо момента. Учитывая, что балка находится под углом α к линии действия нагрузки, уравнения (42) и (43) примут вид

$$\sigma = \frac{F_0g_{\delta}}{gS_{\delta}}, \quad (43)$$

- при сжатии или сдвиге, или

$$\sigma = F_0 \frac{\sqrt{(g_{\delta\delta} \cos(\alpha))^2 + (g_{\gamma\delta} \sin(\alpha))^2}}{g_{\delta,\gamma}S_{\delta}}. \quad (44)$$

- при поперечном изгибе или кручении

$$\sigma = M_0 \frac{\sqrt{\left(\frac{g_{\phi\delta} \cos(\alpha)}{l_n}\right)^2 + \left(\frac{g_{\xi\delta} \sin(\alpha)}{b}\right)^2}}{g_{\phi,\xi} S_{\delta}}. \quad (45)$$

Очевидно, что максимальная величина внутреннего напряжения по (43)-(44) возникает в балке, находящейся вдоль линии воздействия ($\alpha = 0$), зависимости которого показаны на рис. 7 а, б.

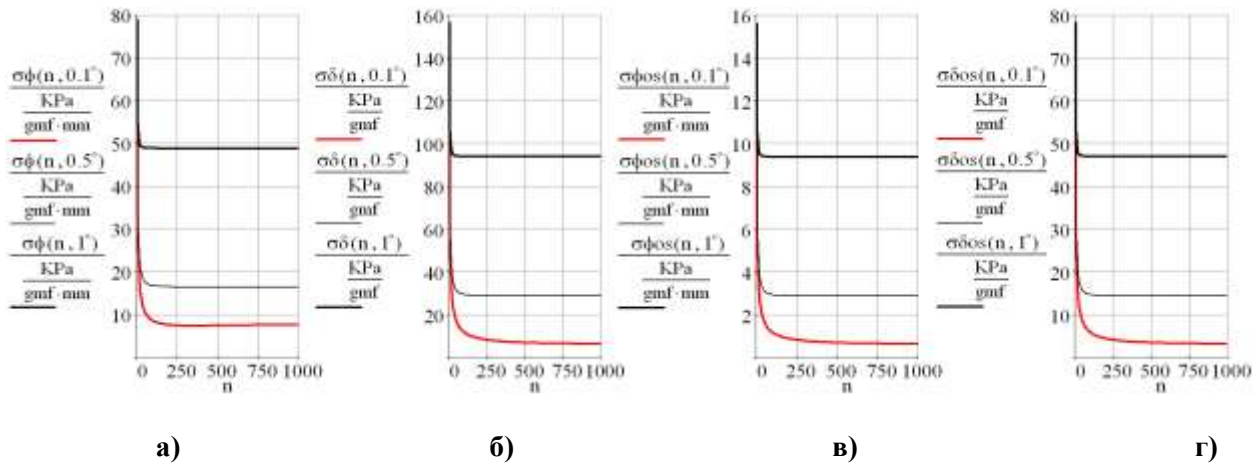


Рис. 7. Зависимости максимальных напряжений в балках n -балочного УП и оси n -балочных УП от числа балок и угла прокатки:

- а* – зависимость максимального напряжения в балках n -балочного УП от количества балок в УП при изгибе для различного угла прокатки; *б* – зависимость максимального напряжения балки n -балочного УП от количества балок в УП при сжатии для различного угла прокатки; *в* – зависимость максимального напряжения в балках оси n -балочных УП от количества балок в УП при изгибе для различного угла прокатки; *г* – зависимость максимального напряжения балки оси n -балочных УП от количества балок в УП при сжатии для различного угла прокатки

Зависимости максимальных напряжений в балках осей УП, полученные по (41)-(44), от числа балок показаны на рис. 7 в, г. Из данных зависимостей видно, что величина напряжения в балке, расположенной вдоль линии воздействия, при сжатии уменьшается с увеличением числа балок, или при изгибе имеет минимум, который при угле прокатки, стремящемся к нулю, достигается, если число балок удовлетворяет выражению:

$$n_{\text{опт}} = L\sqrt{\pi^3 b E_1 / c_0} / 7. \quad (46)$$

Максимальная нагрузка на УП определяется, исходя из величины предельного внутреннего напряжения гибкости материала (если внутреннее напряжение выше предельного внутреннего напряжения гибкости происходит необратимая деформация УП). Из выражений (42)-(45) видно, что величина максимальной нагрузки обратно пропорционально отношению внутренних напряжений, возникающих при одинаковом воздействии, показанному на рис. 8, 9.

Зависимости максимального и оптимального числа балок ($n_{\text{опт}}$ – число балок, при котором соотношение максимальных внутренних напряжений в балках осей УП с балками переменного сечения под углом $\pi/2$ и n -балками составляет 98% от локального максимума, при нескольких значениях $n_{\text{опт}}$ берется наименьшее) от угла прокатки показаны на рис. 10. Локальный пик на рис. 10, б соответствует углу прокатки, при котором число балок с макси-

мальным отношением внутренних напряжений в балках осей УП с балками переменного сечения под углом $\pi/2$ и n -балками совпадает с максимальным числом балок в УП.

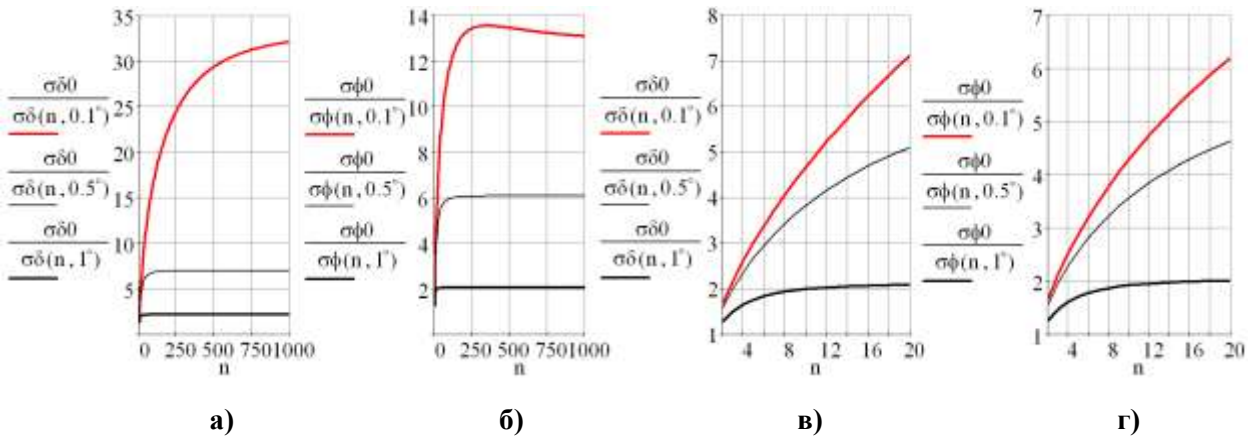


Рис. 8. Отношение максимальных внутренних напряжений в балках УП с балкой переменного сечения и n балками при одинаковой нагрузке:

$a, в$ – отношение максимальных внутренних напряжений при сжатии в балках УП с балкой переменного сечения и n балками; $б, г$ – отношение максимальных внутренних напряжений при поперечном изгибе в балках УП с балкой переменного сечения и n балками

Таким образом, число балок в упругом подвесе оси упругих подвесов, состоящей из пары упругих подвесов на расстоянии, должно составлять при угле прокатки, стремящемся к нулю n_{\max} , определяемому из неравенства (28), число балок в одиночном упругом подвесе должно составлять $n_{\text{опт}}$ (по (46) при угле прокатки, стремящемся к нулю). Это позволит увеличить допустимые нагрузки для датчиков первичной информации, что приведет к уменьшению чувствительности к внешним воздействиям и увеличению диапазона воздействий на датчики первичной информации при сохранении их точности и надежности.

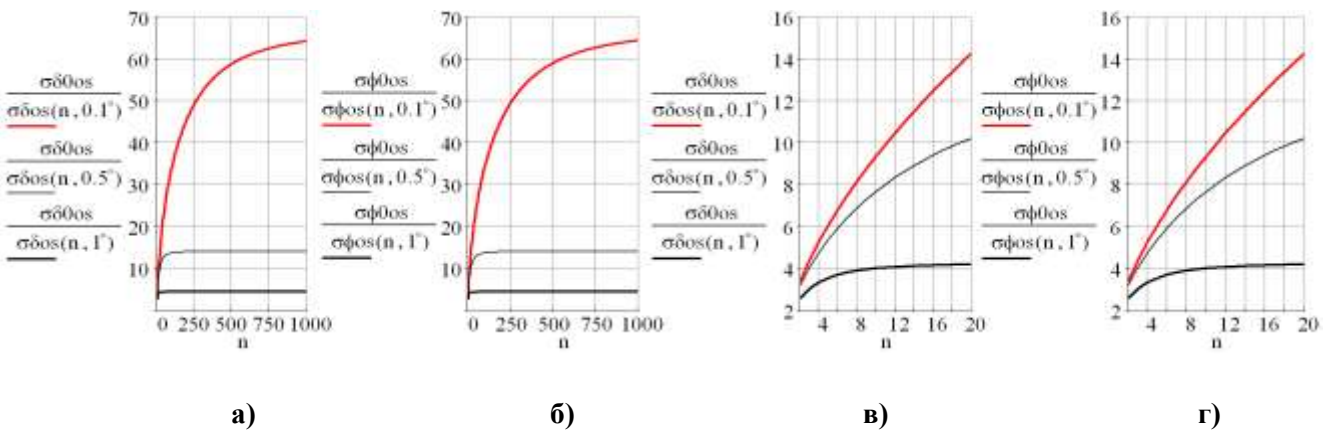


Рис. 9. Отношение максимальных внутренних напряжений в балках осей торсионов с балками переменного сечения под углом $\pi/2$ и n -балками при одинаковой нагрузке:

$a, в$ – отношение максимальных внутренних напряжений при сжатии в балках осей торсионов с балкой переменного сечения под углом $\pi/2$ и n -балками; $б, г$ – отношение максимальных внутренних напряжений при поперечном изгибе в балках осей торсионов с балками переменного сечения под углом $\pi/2$ и n -балками

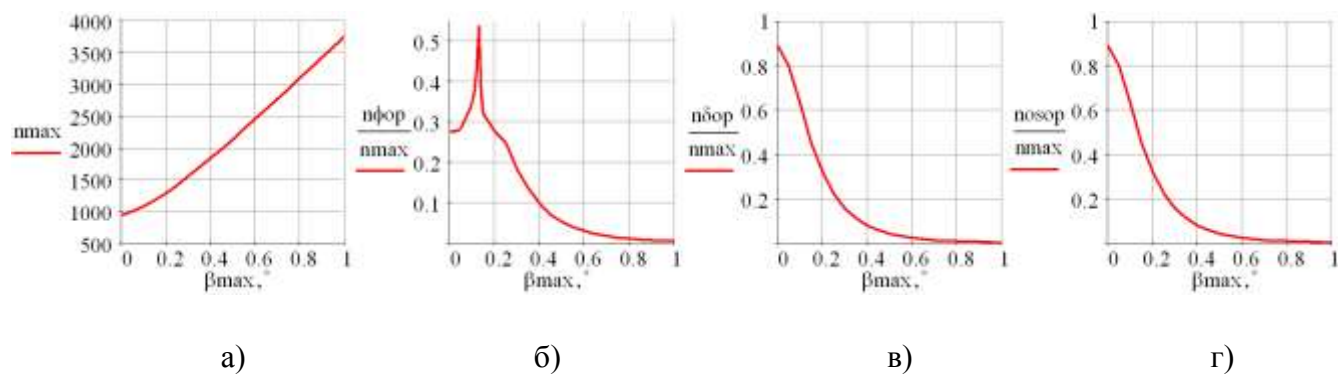


Рис. 10. Зависимости максимального и оптимального числа балок в торсионе при различных видах нагрузок на торсион и ось торсионов от угла прокатки:

a – зависимость максимального числа балок от угла прокатки; *б* – зависимость оптимального числа балок от угла прокатки при поперечном изгибе торсиона; *в* – зависимость оптимального числа балок от угла прокатки при сжатии торсиона; *г* – зависимость оптимального числа балок от угла прокатки при поперечном изгибе и сжатии осей торсионов

Библиографический список

1. **Феодосьев, В. И.** Соппротивление материалов / В.И. Феодосьев. – М.: Наука, 1974.
2. **Волков, Н.В.** Проектирование измерительных устройств и оптимизация их характеристик / Н.В. Волков, О.Г. Гущин, В. И. Поздьяев. – Нижний Новгород: НГТУ, 1996.

Дата поступления
в редакцию 06.07.2010

S.Yu. Yurmanov

OPTIMIZATION SPRINGY SUPPORT OF SENSITIVE ELEMENTS FOR SENSORS BY NAVIGANION SISTEMS

The variants of constructions of springy support with many strings are presents. The analyze of hardness of springy support are realized. The optimal number function of strings bay differential parameters of springy support is resaved.

Key words: springy support, construction, mathematical model, optimization.

УДК 629.7.05/06: 531.781.2 (075.8)

И.В. Вавилов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДУС ТИПА
«ЛИНЕЙНЫЙ ВИБРАТОР»

Арзамасский НПП ОАО «ТЕМП-АВИА»

В статье приводятся материалы разработки микросистемного ДУС в качестве чувствительного элемента, в котором используется вибрирующая пластина из кристаллического кремния на меандровом подвесе. Особенностью разработки является то, что с целью повышения точности в качестве привода в ДУС используется электростатический встречно-штыревой преобразователь.

Ключевые слова: вибрирующая пластина, микросистемный ДУС, кристаллический кремний, переходный процесс, добротность упругого элемента, встречно-штыревой преобразователь.

Построение датчика угловых скоростей возможно с применением электростатического силового преобразователя со встречно-штыревыми микропластинами (рис. 1).

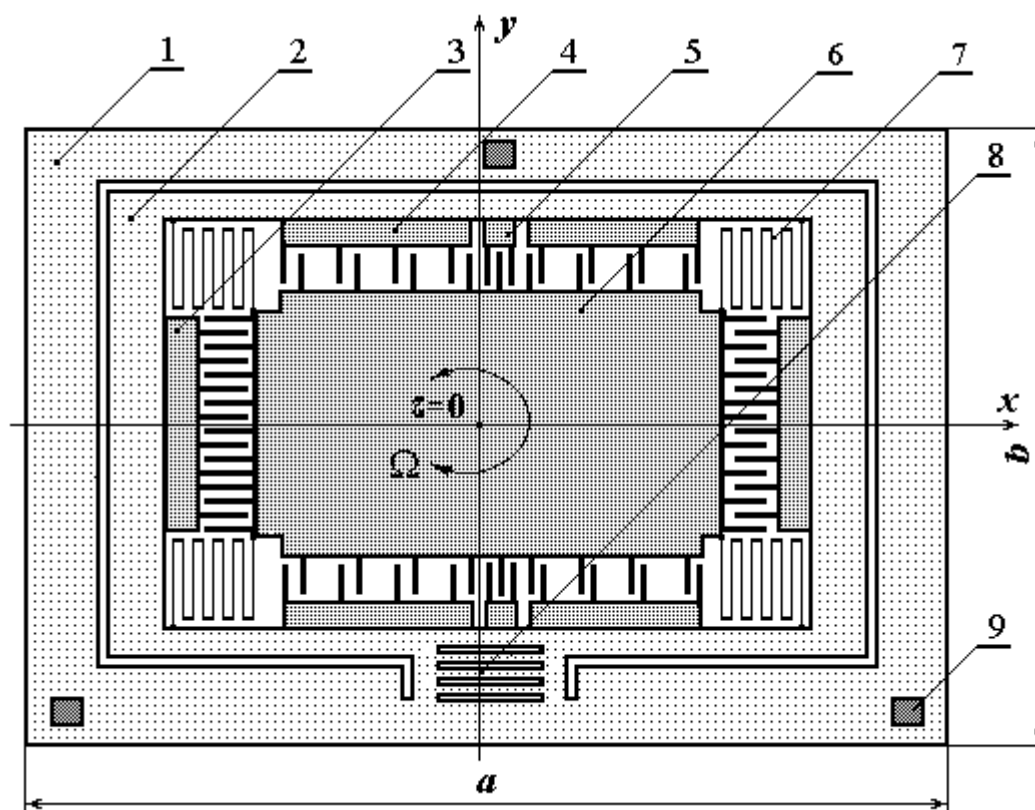


Рис. 1. Кристалл чувствительного элемента ДУС типа «линейный вибратор» с меандровыми подвесами:

1 – несущая пластина; 2 – монтажная пластина; 3 – гребенка неподвижных электродов возбуждения колебаний; 4 – гребенка неподвижных электродов силового датчика; 5 – гребенка неподвижных электродов датчика емкостного датчика перемещений; 6 – подвижная масса; 7 – упругий подвес; 8 – лестничный упор монтажной пластины; 9 – площадка соединения с корпусом

В данной конструктивной схеме чувствительная масса b выполнена «развязанной» по отношению к несущей корпусной пластине 1. С целью развязки чувствительного элемента от

влияния корпуса в конструкции имеется промежуточная монтажная рамка 2, соединенная с основанием 1 посредством лестничной консоли 10. Относительно промежуточной рамки 2 чувствительная масса б соединена меандровыми подвесами 7. Подвижные электроды всех преобразователей: силового, перемещения и возбуждения принудительных колебаний – жестко соединены с чувствительной массой. Относительно основания 1 чувствительная масса б может совершать колебательные движения по двум направлениям: x и y , – обеспечивая тем самым возможность измерения угловой скорости Ω относительно оси z .

Принцип работы конструктивной схемы микросистемного ДУС с меандровыми подвесами аналогичен принципу работы конструктивной схемы с линейными подвесами. Очевидно, что и математические модели обеих схем, записанные в общем виде, являются идентичными.

Пусть по оси x подвижный узел приведен в принудительные колебания с помощью магнитоэлектрического или электростатического автогенератора. При действии поворотной угловой скорости относительно оси z , перпендикулярной к плоскости подвижного узла, возникает кориолисова сила, действующая по оси y :

$$F_k = 2m\Omega\dot{x},$$

где m - масса подвижного узла; Ω - угловая скорость относительно оси z (внешнее воздействие); \dot{x} - линейная скорость перемещения подвижного узла вдоль оси x .

Осредненное значение линейной скорости можно оценить через угловую скорость возбуждения колебаний и амплитуду перемещения:

$$\dot{x} = \omega_b \delta, \quad (1)$$

где ω_b - угловая скорость колебательного движения подвижного узла, возбуждаемая автогенератором; δ - амплитуда колебаний.

С целью определения математической модели ЧЭ микросистемного ДУС с допущением трех степеней свободы подвижного узла запишем уравнения Лагранжа в виде следующей системы:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} - \frac{\partial T}{\partial x} = Q_x, \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} - \frac{\partial T}{\partial y} = Q_y, \quad (2)$$

где T - кинетическая энергия рассматриваемой системы; Q_x , Q_y , Q_z - проекции обобщенных сил по соответствующим направлениям.

Величину кинетической энергии для данной динамической системы можно записать в следующем виде:

$$T = \frac{m}{2} (\dot{x}^2 + \dot{y}^2), \quad (3)$$

где l_{cx} , l_{cy} - смещение геометрического центра симметрии подвижного узла в результате технологических разбросов упругости подвесов и симметрии подвижного узла.

В развернутом виде обобщенные силы и моменты запишутся:

$$\left. \begin{aligned} Q_x &= P_{эл} - G_x x - K_{dx} \dot{x}, \\ Q_y &= F_k - G_y y - K_{dy} \dot{y}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $P_{эл} = BIU/R$ - электрическая сила, возбуждающая принудительные колебания подвижного узла по оси x ; G_x, G_y - жесткости упругого подвеса по соответствующим направлениям; $K_{дх}, K_{дy}$ - абсолютные коэффициенты демпфирования.

Для шестигранного сечения упругого подвеса с несглаженными острыми гранями жесткость определяется следующим выражением:

$$G_y = \frac{96E_{[100]}J}{a_{п}^3}, \quad (5)$$

где $J = \frac{c_{п}b_{п}^3}{12} - \left(\frac{b_{п}}{2} - \frac{2c_{п}}{3 \tan \alpha}\right)^2 \frac{c_{п}^2}{2 \tan \alpha}$ - момент инерции шестигранного подвеса относительно оси симметрии оси y .

Подставляя (3), (4) и (5) в систему уравнений (2), получим

$$\left. \begin{aligned} m(\ddot{x}) + K_{дх}\dot{x} + G_x x &= P_{эл}, \\ m(\ddot{y}) + K_{дy}\dot{y} + G_y y &= F_{к}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Учитывая предыдущее соотношение, а также независимость декартовых координат, принятых в уравнениях Лагранжа (2) за обобщенные, система уравнений (6) сводится к операторной форме:

$$\left. \begin{aligned} (ms^2 + K_{дх}s + G_x)x &= P_{эл}, \\ (ms^2 + K_{дy}s + G_y)y &= 2m\Omega v_{x.} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Таким образом, из второго уравнения системы (7) запишем передаточную функцию подвижного узла в виде

$$W_{ny}(s) = \frac{K_{чз}}{ms^2 + K_{д}s + G}, \quad (8)$$

где $K_{чз} = 2m\delta\omega_{\phi}$ - коэффициент передачи чувствительного элемента; δ - амплитуда колебаний подвижного узла; ω_{ϕ} - переносная частота колебаний, задаваемая приводом.

Особенностью конструктивной схемы микросистемного датчика угловых скоростей со встречно-штыревыми электродами является снижение жесткости упругого подвеса в связи с увеличением его длины, что соответствует эквивалентному повышению чувствительности датчика. Жесткость одного подвеса с меандровой пружиной оценивается следующей формулой:

$$G = E_{[100]}c_{п}^3b_{п}/[(1+n)a_{п}]^3, \quad (9)$$

где $E_{[100]}$ - модуль упругости материала подвеса; $a_{п}, b_{п}, c_{п}$ - соответственно длина, ширина и толщина пружины подвеса в его сечении; n - число витков в меандре подвеса.

Технологически ЧЭ микросистемного датчика угловых скоростей со встречно-штыревыми электродами выполняется по современной микроэлектронной технологии, включающей плазменное травление.

Выводы

С увеличением суммарной длины подвеса его жесткость снижается по кубическому закону, соответственно во столько же раз увеличивается чувствительность. Этим достигается цель повышения точности микросистемного датчика угловых скоростей.

Библиографический список

1. **Вавилов, В.Д.** Интегральные датчики: учебник / В.Д. Вавилов; НГТУ. – Н. Новгород, 2003. – 503 с.
2. **Распопов, В.Я.** Микромеханические системы / В.Я. Распопов. – М.: Машиностроение, 2007. – 410 с.

*Дата поступления
в редакцию 06.07.2010*

I.V. Vavilov

MATHEMATICAL MODEL OF THE DETECTOR ELEMENT DUS TYPE «LINEAR VIBRATOR»

The material of the development micro system DUS happen to In article as detector element in which is used vibrating plate from crystalline flint hang up on meander VVhang up. The Particularity of the development is that for the reason increasing of accuracy as drive in DUS is used electrostatic counter-shtyri converter.

Key words: vibrating plate, micro system DUS, crystalline silicon, connecting process, kindness springy element, counter-shtyri converter.

**ПРИНИМАЕМ В ПЕЧАТЬ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ В ЖУРНАЛ
«ТРУДЫ НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»**

Адрес редакции: 603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24

Тел. 8 312 4367372

E-mail: rio@nntu.nnov.ru

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ, НАПРАВЛЯЕМЫХ В РЕДАКЦИЮ

- В редакцию направляют **два экземпляра** статьи, отпечатанных на лазерном принтере на белой бумаге формата А4, с одной стороны листа, через один интервал 12 кеглем. Сноски и примечания 10 кеглем. Поля: левое, правое и нижнее – 20 мм, верхнее – 25 мм.
- Желательно, чтобы объем статьи не превышал 10 страниц текста и 4–6 рисунков. Все страницы должны быть пронумерованы. Минимальное количество страниц – 6.
- Статью необходимо сопроводить актом экспертизы, выпиской из заседания кафедры, рекомендующей статью к опубликованию, сведениями об авторах и рецензией.
- Статья должна быть подписана **всеми авторами**.
- Текст набирают без переносов, используя формат *Word for Windows* и стандартные шрифты *Times New Roman* и *Symbol*.
- Формульные выражения выполняют в редакторе MS Equation 3–12 кегль. Размерность физических величин должна соответствовать системе СИ.
- Первая страница статьи должна содержать следующую информацию: УДК (код по универсальному десятичному классификатору); инициалы и фамилии авторов (в таком порядке); название статьи; место работы всех авторов (полное название организации, город); аннотацию; ключевые слова (не более 10).
- Изложение материала должно быть ясным, логически выстроенным. Рекомендуется следующая структура статьи: вводная часть с обоснованием необходимости и изложением цели работы, теоретический анализ, методика, экспериментальная часть, результаты и выводы (не более 0,5 страницы), библиографический список.
- Сокращение слов, кроме общепринятых, не допускается.
- Таблицы (11 кегль жирный) должны иметь названия, их следует располагать по тексту статьи, ссылки на таблицы (табл. 1).
- Диаграммы выполняются в формате Excel.
- Графический материал (только в черно-белом изображении) должен быть четким и не требовать перерисовки. Изображение выполняется в формате **jpg** или **tif** с разрешением 300 **dpi**. Рисунки выполняются по ГОСТ, подрисовочная подпись 11 жирный кегль.
- К статье следует приложить CD с файлами: текста статьи с библиографией на русском языке; **фамилиями авторов, названием статьи, аннотации и ключевыми словами на английском языке**.
- В сведениях об авторах следует сообщить: ФИО (полностью), место работы, должность, ученую степень и звание, телефон и адрес электронной почты.

ТРУДЫ
НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА

№ 3 (82)

Редакторы: **О.В. Пугина, Н.Н. Максимова**

Редакция:

603950, Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24,
тел.: 8-312-436-73-72, rio@nntu.nnov.ru

Подписано в печать 31.08.2010. Формат 60x84 ¹/₈. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 41,25. Уч.-изд. л. 35. Тираж 300 экз. Заказ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева.
Типография НГТУ.

Адрес университета и полиграфического предприятия:
603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

Индекс 10312
Объединенный каталог «Пресса России»