

<p><i>Редакционный совет:</i> Голенков В.А., <i>председатель</i> Радченко С.Ю., <i>зам. председателя</i> Борзенков М.И. Колчунов В.И. Попова Л.В. Степанов Ю.С.</p>
<p><i>Главный редактор серии:</i> Степанов Ю.С.</p>
<p><i>Заместители главного редактора серии:</i> Гордон В.А. Киричек А.В. Константинов И.С. Подмастерьев К.В.</p>
<p><i>Редколлегия:</i> Бабичев А.П. Вдовин С.И. Дмитриев А.М. Емельянов С.Г. Еременко В.Т. Зубарев Ю.М. Зубчанинов В.Г. Иванов Б.Р. Иванников А.Д. Колесников К.С. Корндорф С.Ф. Коськин А.В. Малинин В.Г. Осадчий В.Я. Панин В.Е. Поляков А.А. Распопов В.Я. Смоленцев В.П. Сотников В.В.</p>
<p><i>Ответственный за выпуск:</i> Константинова Г.А.</p>
<p><i>Адрес редколлегии серии:</i> 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29 (4862) 43-48-90, 40-96-14 www.ostu.ru E-mail: nmu@ostu.ru</p>
<p>Зарег. в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовой информации. Свидетельство: ПИ № 77-15496 от 20 мая 2003 года</p>
<p>Подписной индекс 29504 по объединенному каталогу «Пресса России»</p>
<p>© ОрелГТУ, 2008</p>

Содержание

Естественные науки

<i>Винокуров А.Ю., Куценко С.А.</i> К вопросу о безопасности продукции сахарного производства и методах ее повышения.....	3
<i>Поландов Ю.Х., Митрохин А.В.</i> К обоснованию возможности устранения утечки воды из повреждённого участка системы отопления.....	7
<i>Варгашкин В.Я.</i> Неоднородность нерадиальной компоненты Хаббловского потока квазаров как фактор крупномасштабной структурированности Вселенной.....	10
<i>Гасанов Ш.Г.</i> Моделирование частичного закрытия трещины на границе раздела дорожного покрытия и упругого основания.....	15
<i>Екимова Л.С.</i> Процесс движения тел эллипсоидной и шарообразной формы по наклонным плоскостям при наличии тормозящего слоя примесей.....	21
<i>Смолий А.М.</i> Приложения оптимизации аддитивных функционалов на множестве перестановок в задачах распределения ресурсов.....	24

Информационные системы и технологии

<i>Черных В.А. Корсунов Н.И.</i> Адаптивное управление асинхронным двигателем....	28
<i>Фисун А.П.</i> Теоретическая информатика – фундаментальный базис формирования информационной культуры современного общества, развития информационной науки и технологий.....	33
<i>Колтунов Л.И., Потапенко А.Н., Белоусов А.В.</i> Структура и особенности комплекса программных средств для численного моделирования электростатических систем для фильтрации и ионизации воздуха.....	40
<i>Долгов Е.П.</i> Функциональная структура программной составляющей АСНИ привода сцепления.....	46
<i>Лысков О.Э.</i> Методика возврата вычислительной сети в режим штатного функционирования после нарушения работы ее компонентов.....	50

Машиностроение и металлообработка

<i>Голенков В.А., Радченко С.Ю., Дорохов Д.О.</i> Разработка конструкции экспериментальной установки для получения изделий с градиентными субмикро - и наноструктурными состояниями вещества на основе способа валковой штамповки.....	53
<i>Катунин А.В., Катунин А.А., Самойлов Н.Н., Сидоров А.М.</i> Обеспечение точности формы и заданной шероховатости неполных сферических головок шаровых пальцев автомобильных шаровых шарниров.....	56
<i>Копылов Ю.Р.</i> Динамика виброупрочняющего станка при упругом креплении детали в контейнере.....	59
<i>Морозова А.В.</i> Мультипликативная модель конкурентных преимуществ специалиста машиностроительного профиля.....	62
<i>Поляков Р.Н., Корнаев А.В.</i> Применение гидродинамических подшипников с двуцентральной расточкой втулки в качестве опор тяжело нагруженных машин..	67

Приборостроение и системы управления

<i>Подмастерьев К.В., Петрова О.С.</i> Экспериментальные исследования статической характеристики датчика температуры устройства контроля и регулирования температуры воздуха в помещении лечебно-профилактического учреждения.....	71
<i>Петров С. П., Суздальцев А. И.</i> Графо-параметрический метод оценки эффективности системы управления локальным контуром теплоснабжения с пиковой нагрузкой.....	76
<i>Пахолкин Е.В., Морякин С.А.</i> Совершенствование электрического метода контроля химических свойств моторных масел.....	83

Editorial council: Golenkov V.A., president Radchenko S.Y., vice-president Borzenkov M.I. Kolchunov V.I. Popova L.V. Stepanov Y.S.
Editor-in-chief Stepanov Y.S.
Editor-in-chief Assistants: Gordon V.A. Kirichek A.V. Konstantinov I.S. Podmasterjev K.V.
Editorial Committee Babichev A.P. Vdovin S.I. Dmitriev A.M. Emelyanov S.G. Eremenko V.T. Zubarev Y.M. Subchaninov V.G. Ivanov B.R. Ivannikov A.D. Kolesnikov K.S. Korndorf S.F. Koskin A.V. Malinin V.G. Osadchy V.Ya. Panin V.E. Polyakov A.A. Raspopov V.Ya. Smolenzev V.P. Sotnikov V.V.
Responsible for edition: Konstantinova G.A.
Address 302020 Orel, Naugorskoye Chaussee, 29 (4862) 43-48-90, 40-96-14 www.ostu.ru E-mail: nmu@ostu.ru
Journal is registered in State Committee of Russian Federation on printing. The certificate of registration ПИ № 77-15496 from 20.05.03
Index on the catalogue of the « Pressa Rossi » 29504
© OSTU, 2008

Contents

Natural Sciences

<i>Vinokurov A.Y., Kucenko S.A. To the question of safety of the sugar manufacture production and methods of its increasing</i>	3
<i>Polandov Y.Kh., Mitrokhin A.V. Task about the expiration of water from the closed capacity in the case of its damage</i>	7
<i>Vargashkin V.J. Heterogeneity of non-radial components of Hubble's stream of quasars as a factor of large-scale structure of the universe</i>	10
<i>Gasanov Sh.G. Modelling of partial closing of the crack on boundary of section of the roadway covering and the elastic basis</i>	15
<i>Ekimova L.S. Research of the influence of the deformation of the solids on the process of their movement downhill</i>	21
<i>Smoliy A.M. Applications of additive functionals optimization on permutation set in resource allocation tasks</i>	24

Information Systems and Technologies

<i>Chernikh V.A. Korsunov N.I. Adaptive management of the asynchronous engine</i>	28
<i>Fisun A.P. Theoretical computer science - fundamental basis of formation of modern society information culture, development of the information science and technologies</i>	33
<i>L.I. Koltunov, A.N. Potapenko, A.V. Belousov The Structure and Features of the Software Complex for Numerical Modeling of Electrostatic Systems for Air Filtering and Ionization</i>	40
<i>Dolgov E.P. Functional structure of program component of automated scientific researches system of a clause frictional coupling</i>	46
<i>O.E. Lyskov Procedure of the recovery of computational network to the regular functioning mode after disruption of the work of its components</i>	50

Engineering

<i>Golenkov V.A., Radchenko S.U., Dorohov D.O. Experimental assembly elaboration for production products with gradient submikro- and nanostrukturnal states of material on the basis of method of rolling forging</i>	53
<i>Katunin A.V., Katunin A.A., Samoylov N.N., Sidorov A.M. Providing the accuracy of forms and definite roughness of the incomplete spherical heads of ball-fingers of the automobile ball hinges</i>	56
<i>Kopulov Y.R. Dynamics shock-vibrating the machining tool at elastic fastening a detail in the container</i>	59
<i>Morozova A.V. Multiplicate model competitive advantages of the expert of the machine-building structure</i>	62
<i>Polyakov R.N., Kornaev A.V. Application of double-centered fluid film bearings in heavy loaded supports</i>	67

Instrument Engineering

<i>Podmasterjev K.V., Petrova O.S. Experimental research of the static characteristic of the gauge of temperature of the device of the control and regulation of temperature of air in treatment-and-prophylactic establishment</i>	71
<i>Petrov S.P., Suzdaltsev A.I. Graphico-parametrical method for an effectiveness estimation of the control system of a heat supply lokal circuit with a peak demand</i>	76
<i>Paholkin E.V., Moryakin S.A. Perfection of the electric quality monitoring of engine oils chemical properties</i>	83

УДК 664.1.002.5

А.Ю. ВИНОКУРОВ, С.А КУЦЕНКО

**К ВОПРОСУ О БЕЗОПАСНОСТИ ПРОДУКЦИИ
САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА И МЕТОДАХ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ**

Статья описывает различные источники загрязнения сахара токсичными веществами, которые могут оказывать негативное влияние на организм человека и эффективность сахарного производства. С точки зрения авторов, используемое для обжига известняка твердое топливо является основным источником токсикантов в готовом продукте. Произведенные теоретические расчеты показали определяющую роль этого аспекта в формировании безопасности сахара. Авторы показали, что замена угля мазутом или природным газом является наиболее эффективным способом повышения безопасности сахара.

The article describes different sources of reception of toxic substances in a sugar. They are capable to render negative influence on human health and efficiency of sugar manufacture. From the authors' point of view the firm fuel used for roasting of limestone, is the basic source of toxic substances in a product. The made theoretical calculations showed a determining role of this aspect at an appraisal of safety of sugar. There were investigated various kinds of fuel. They have shown that the replacement of coal by black oil or natural gas is the most effective way of increasing of sugar safety.

Сахар по уровню спроса и потребления относится к продуктам первой необходимости. По данным Минсельхоза РФ, среднелюдиное потребление сахара в 2006 г. составило 38 кг. Высокие объемы потребления сахара заставляют серьезно задуматься о безопасности его потребления.

Оценку безопасности сахара целесообразно начать с анализа технологии его производства для выявления источников попадания токсичных веществ в продукт.

Источниками загрязняющих веществ в сахарном производстве можно назвать непосредственное сырье (сахарная свекла), воду, известняк и сульфитационный газ (SO₂) (см. рисунок 1).

Сахарная свекла не проходит дополнительной обработки перед поступлением непосредственно в технологический процесс, применение которой снизило бы выход сахара, а значит, и экономический эффект производства. Поступающие со свеклой загрязняющие вещества (тяжелые металлы, пестициды и т.д.) переходят в диффузионный сок, частично удаляясь из него при дефекации (обработка известковым молоком), сатурации (пропускание через сок углекислого газа) и последующем фильтровании [1].

Используемая в производстве вода делится на группы в зависимости от пути ее использования, из которых две основные: вода, применяемая для получения диффузионного сока и известкового молока, и техническая вода (для охлаждения печей, утфелей и т.д.) [1]. Вода первой категории проходит очистку, поэтому содержит минимальное количество загрязняющих примесей.

Одним из технологических процессов при производстве сахара является сульфитация, которая заключается в обработке сахарных растворов диоксидом серы. Его применение обусловлено образованием сернистой кислоты, которая, являясь сильным восстановителем,

восстанавливает низкомолекулярные красящие вещества и превращает их в бесцветные соединения [1]. Диоксид серы получают непосредственно на заводе обжигом серы и последующим сжижением полученного газа. Сравнительно небольшие объемы сырья и используемые технологические приемы позволяют говорить о незначительном влиянии данного фактора на качество продукции.

Еще одним источником загрязнения диффузионного сока, а значит, и получаемого сахара являются вещества, образующиеся в процессе обжига известняка. Технологический процесс предусматривает применение основных продуктов его термического разложения: извести и углекислого газа, используемых в процессе очистки сахарного сока. В современном производстве применяется обжиг известнякового камня в вертикальных известково-газовых печах. Такая печь работает непрерывно: известняковый камень и топливо поступают в нее сверху, печную известь отбирают снизу, а сатурационный газ – из верхней части через коллектор. В качестве топлива используют антрациты АК, АП и кокс [1]. Ни известняковый камень, ни твердые виды топлива не являются «чистыми» источниками извести и углерода соответственно, поэтому содержащиеся в них примеси вместе с основными продуктами разложения переходят в диффузионный сок. По нашему мнению, именно на этапе разложения известняка и последующих дефекации и сатурации происходит основное постороннее загрязнение диффузионного сока.

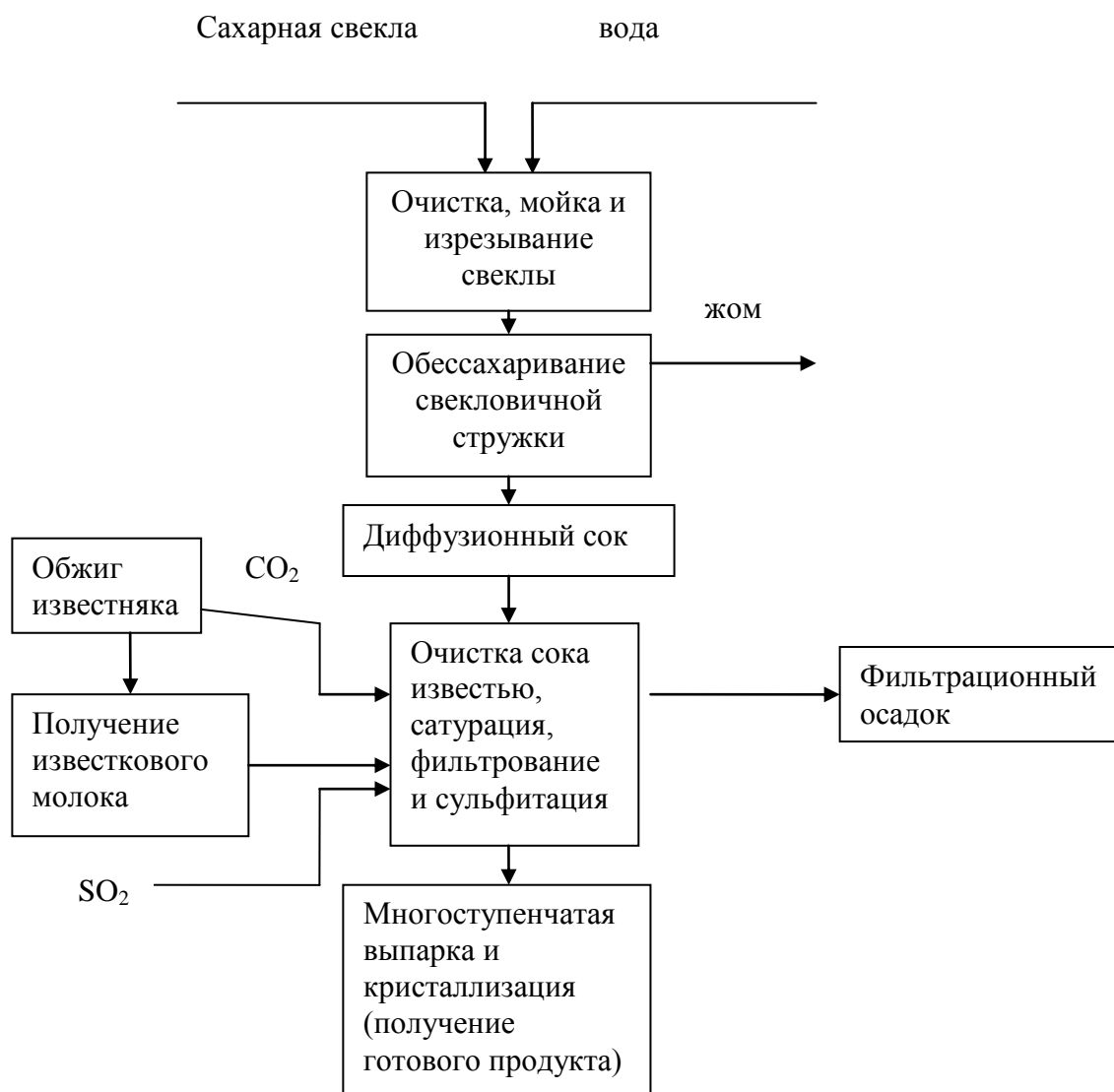


Рисунок 1 – Принципиальная схема свеклосахарного производства

Конечно, проводимая очистка способствует снижению содержания вредных веществ в сахарном растворе: происходит удаление в виде нерастворимых карбонатов (щавелевая, аспаргиновая кислоты) и гидроксидов (алюминий, магний). Образующийся при сатурации карбонат кальция и другие нерастворимые в воде соединения становятся впоследствии фильтрующим материалом. Однако не стоит забывать, что ни один процесс не дает полного удаления загрязняющих веществ из раствора, так как все идущие при очистке реакции требуют определенных условий проведения, которые подчас противоречат друг другу. Так, например, значение рН осаждения гидроксида алюминия ниже соответствующего значения для гидроксида цинка, поэтому цинк практически полностью остается в растворе.

Особенностью сахарного производства является использование в технологическом цикле и твердых, и газообразных продуктов обжига известняка. Зола и газообразные продукты сгорания топлива поступают в диффузионный сок с известью и сатурационным газом соответственно. Чисто теоретические расчеты показывают, что для обжига 1 т карбоната кальция расходуется 54,3 кг чистого углерода, который является главным источником тепла при сжигании углей. Пересчет для топлива с зольностью на уровне 12% (Таблица 1) увеличивает эту цифру до 61,7 кг. А это значит, что с каждой тонной получаемой извести в диффузионный сок переходит 13,2 кг растворимых примесей. Известно, что на очистку диффузионного сока (120-130% к массе свеклы) расходуется известь в количестве 2,5% к массе свеклы, т.е. на 1 т сока необходимо свыше 30 кг извести, содержащей 400 г угольной золы.

Таблица 1 – Показатели качества различных видов топлива

Вид топлива	Зольность, %	Содержание посторонних летучих веществ, %
Пламенный уголь марки ДГОМ	10-14	44
Антрацит марки АС	8,0-13,1	2,0-3,0
Кокс каменноугольный литейный КЛ-1	11,0-12,5	0,5-1
Кокс металлургический КД-1	11,5-12	0,5-1
Мелочь коксовая	12,5-16	1,4-1,8
Мазут	0,2-1	-
Природный газ	0,1	-

Существуют сведения [2, 3, 4] о наличии в твердом топливе солей тяжелых металлов и других токсичных веществ, автоматически попадающих в золу при сжигании. Отбираемый в процессе обжига сатурационный газ может содержать канцерогенные вещества (бенз(а)пирен и другие полициклические ароматические углеводороды, пятиокись ванадия и т.д.) [3]. Вместе с мельчайшими частицами золы обожженной извести происходит загрязнение тяжелыми металлами (цинком, оловом, кобальтом, ванадием, германием), мышьяком, радиоактивными элементами (ториум, ураном, радием). Также среди газообразных продуктов наблюдается высокая доля оксидов азота и серы. Дополнительным негативным аспектом применения твердого топлива является тенденция к ухудшению его качества [4].

Изложенные данные об источниках попадания в конечный продукт производства загрязняющих веществ заставляют задуматься о способах снижения их влияния. Одним из наиболее доступных и экономически оправданных мер является замена твердых видов используемого топлива на жидкие (мазут) и газообразные (природный газ). Низкий по сравнению с углями уровень примесей (как твердых, так и летучих) позволяет резко снизить риск загрязнения сахара. Подобная замена является не только гарантом безопасности продукции производства, но и имеет некоторые экономические преимущества. Применение

жидкого или газообразного топлива снижает затраты на последующую очистку извести и сатурационного газа, поскольку заведомо содержит минимальное количество загрязняющих веществ. В отличие от углей, при сжигании которых существует вероятность неполного окисления, а значит, и уменьшения выхода извести, предложенные альтернативные виды топлива сгорают полностью, увеличивая коэффициент полезного действия при обжиге известняка.

Изучение современных разработок на предмет совершенствования обжига известняка показало, что угли по-прежнему являются основным видом топлива, а изменениям подвергаются конструкции печей обжига, структура и состав топлива (размер частиц, использование смеси углей и т.д.). Лишь в последнее десятилетие появились предложения по использованию природного газа, смеси природного газа и твердого топлива, мазута, которые, однако, не реализовывались в сахарном производстве.

Таким образом, с нашей точки зрения, замена твердого топлива, используемого при обжиге известняка, мазутом или природным газом является одним из способов повышения безопасности сахара, который на сегодняшний день потребляется не только в чистом виде, но и повсеместно используется в различных отраслях пищевой промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сапронов, А.Р. Технология сахара [Текст] / А.Р. Сапронов, Л.А. Сапронова - Изд. 2-е, перераб. и доп. – М: Колос, 1993. - 271 с.: ил. ISBN 5-10-002362-7.
2. Пищевая химия [Текст] / А.П. Нечаев, С.Е. Траубенберг, А.А. Кочетков и др. Под ред. А.П. Нечаева. Изд. 3-е испр. – СПб: ГИОРД, 2004. – 640 с. ISBN 5-901065-71-9
3. Хван, Т.А. Промышленная экология [Текст]: учеб. пособие / Т.А. Хван – М.: Феникс, 2003. – 320 с. ISBN 5-222-03875-0
4. Исидоров, В.А. Экологическая химия [Текст]: учеб. для ВУЗов / В.А. Исидоров – М.: Химиздат, 2001. – 304 с. ISBN 5-7245-1068-5

Винокуров Андрей Юрьевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Аспирант

Тел.: (4862) 419892

E-mail: chemistry@ostu.ru

Куценко Станислав Алексеевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Доктор технических наук, зав. кафедрой «Химия», профессор

Тел.: (4862) 419892

E-mail: chemistry@ostu.ru

Ю.Х. ПОЛАНДОВ, А.В. МИТРОХИН

К ОБОСНОВАНИЮ ВОЗМОЖНОСТИ УСТРАНЕНИЯ УТЕЧКИ ВОДЫ ИЗ ПОВРЕЖДЁННОГО УЧАСТКА СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

В статье приводятся экспериментальные данные, подтверждающие возможность автоматического устранения утечки воды из поврежденного участка сети отопления.

In article the experimental data confirming an opportunity of automatic elimination of outflow of water from the damaged site of a network of heating are resulted.

Продолжают оставаться проблемой аварии в системах отопления, при которых из поврежденного трубопровода истекающая вода попадает в помещения. Понятно, что размер наносимого при этом ущерба во многом зависит от объема вытекшей воды из системы. Вполне очевидно, что на объем вытекающей воды влияют в основном следующие факторы:

- место расположения утечки в системе отопления;
- масштабы повреждения;
- время, прошедшее с момента начала аварии до устранения утечки.

Отметим, что, к сожалению, проектировщики систем отопления, а также все инженерные службы, ответственные за их эксплуатацию, относятся к авариям и утечкам воды в них как к чему-то неизбежному.

Что касается исследований по этому вопросу, то необходимо отметить, что автору не удалось найти материалов, его освещающих, среди научных публикаций в известных отечественных и зарубежных изданиях. Поэтому в рамках научно-исследовательской работы Р-5/06 «Разработка системы удаленного управления, контроля и регистрации параметров локальной автоматической газовой котельной», выполнявшейся по заказу администрации города Орла, был проведен эксперимент по выяснению влияния места утечки в водяных системах отопления на пролитый объем воды.

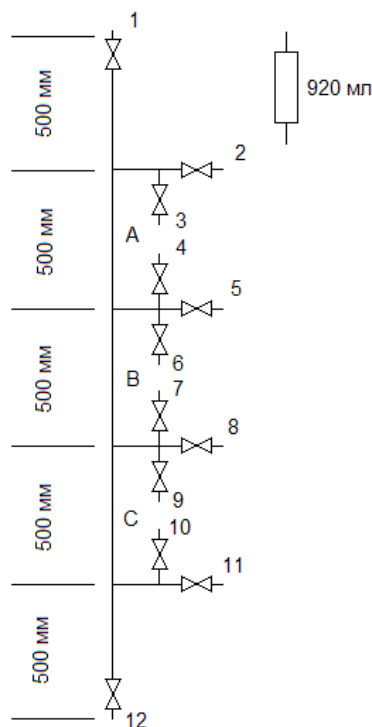


Рисунок 1 – Схема установки

Для проведения эксперимента была разработана установка, схема которой приведена на рисунке 1. Эта установка физически моделировала систему отопления многоэтажного жилого дома и позволяла имитировать утечки и формируемые с помощью кранов 1...12 возможные состояния системы, которые могут создаваться системой управления при обнаружении аварии. Кроме того, на установке предполагалось производство оценки принципиальной возможности устранения утечек в автоматическом режиме и эффективности технических мер по реализации этой идеи.

Установка представляла собой вертикально установленную трубу высотой 2,5 метра и внутренним диаметром 20 мм, имеющую боковые отводы диаметром 10 мм, каждый из которых располагался на расстоянии 0,5 метра друг от друга и от верхнего и нижнего концов установки. Эти отводы служили для имитации утечки на разных уровнях водяной системы отопления. На конце каждого из них установлены шаровые краны.

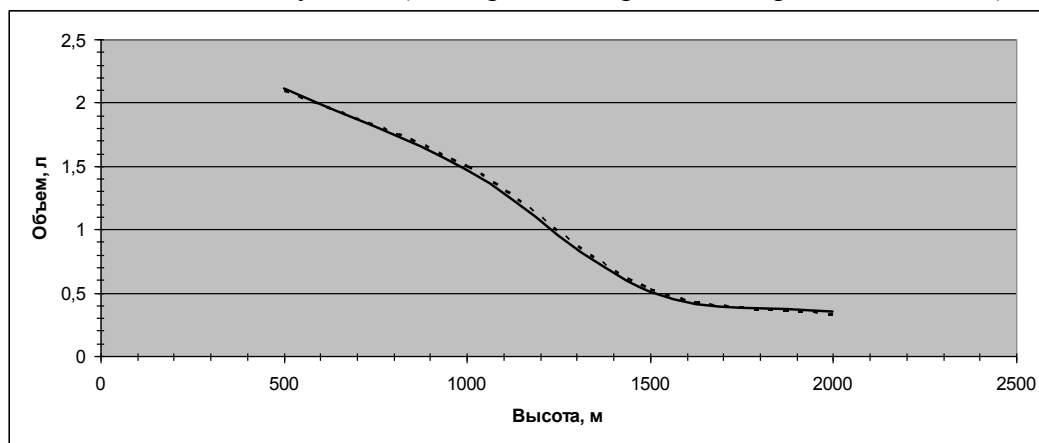
Для исследования влияния отопительных батарей на объем вытекшей воды установка снабжена дополнительными отводами (пары отводов *A*, *B* и *C*) для подключения дополнительной емкости объемом 0,92 литра.

Для проведения эксперимента установка заполнялась водой. Утечка имитировалась открыванием одного из кранов. Состояние системы на момент появления утечки и после «принятия» технических решений моделировалось с помощью кранов, расположенных в нижней и верхней точках системы (краны 1 и 12).

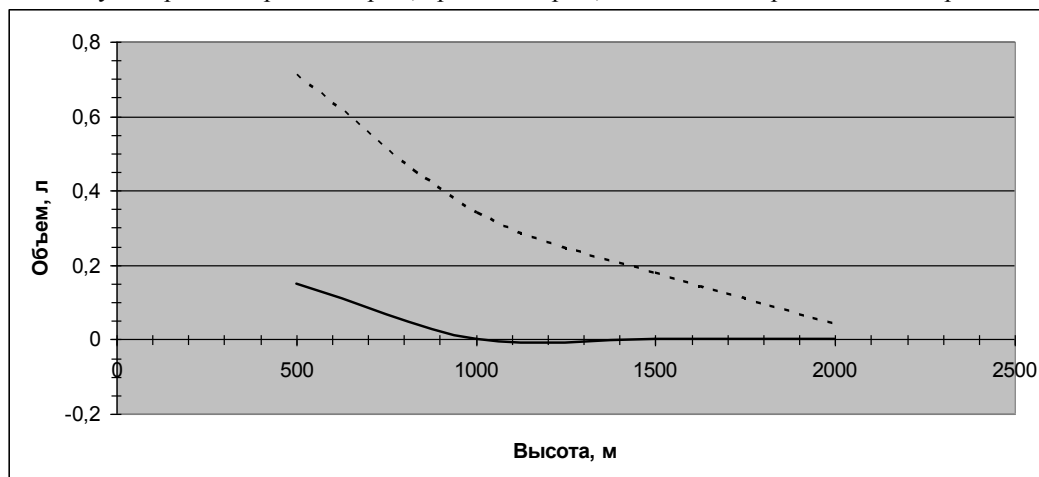
Объем вытекающей воды измерялся с помощью мерной емкости.

Для проведения следующего опыта установка вновь заполнялась водой. Для каждого случая утечки на разных уровнях установки эксперимент повторяется 3 раза.

Первая серия опытов позволила засвидетельствовать известный факт, что в результате утечки воды и возможности беспрепятственного входа воздуха в систему отопления (открыт кран 1) из неё достаточно быстро вытекает вся вода (рисунок 2а), расположенная пространственно выше места утечки (поочередно открывались краны 2, 5, 8 и 11).



а: пунктирный – кран 1 открыт, кран 12 закрыт; сплошной – краны 1 и 12 закрыты



б: пунктирный – краны 1 и 12 открыты; сплошной – кран 1 закрыт, кран 12 открыт

Рисунок 2 – Графики зависимости объема вытекшей воды от высоты места утечки

Вторая серия опытов показала, что при блокировке входа воздуха через кран 1 (кран 1 закрыт) из поочередно открываемых кранов 2, 5, 8 и 11 вытекает со временем, зависящим от высоты расположения места утечки, вся вода из части системы, пространственно расположенной выше места утечки (результаты опытов приведены на рисунке 2,а).

Третья серия опытов продемонстрировала серьезное влияние на величину объема вытекшей воды через место утечки производства слива воды из нижней точки системы. Этот факт наглядно демонстрирует рисунок 2,б. Нижняя точка системы отопления выбрана для организации аварийного слива воды, прежде всего, из принципа её эффективности и универсальности применительно к любому месту появления утечки. На проведенных опытах

получено, что в случае открытия крана 12 и открытом кране 1 и поочередно открываемых кранах 2, 5, 8 и 11 через место утечки вытекает от 2 до 4% воды, находящейся выше точки

Последняя серия опытов подтвердила гипотезу о наиболее эффективном способе устранения утечки воды [1], основанной, с одной стороны, на организации слива воды из наиболее низкой точки системы отопления и, с другой, на локализации аварийного участка системы. На опыте эта ситуация моделировалась открыванием крана 12 и закрытием крана 1. Результаты опытов (рисунок 2,б) показали практическое отсутствие вытекания воды из системы через место утечки независимо от его места расположения.

На рисунке 2 приведен график, отображающий зависимость объема пролитой воды от состояния кранов 1 и 12, расположенных в верхней и нижней части установки соответственно.

Был проведен другой эксперимент, в котором исследовалось влияние отопительных батарей на объем утечки. Отмечено, что при открытом клапане, расположенном в нижней части системы отопления, объем воды, излившейся из утечки, увеличивается, если утечка произошла в области батареи отопления. Данные этого эксперимента сведены в таблицу.

Таблица 1 – Зависимость объема пролитой воды в различных состояниях системы при наличии отопительной батареи.

Положение кранов	Объем пролитой воды из системы	
	Над местом утечки есть емкость объемом 0,92 л	Емкости нет
Открыт кран 5 (краны 8 и 11 закрыты)	0,16	0
Открыт кран 8 (краны 5 и 11 закрыты)	0,11	0
Открыт кран 11 (краны 5 и 8 закрыты)	0,15	0,05

Представляется, что при обнаружении утечки в режиме автоматического контроля (это можно сделать несколькими вариантами) возможно ее устранение за счет установки в нижней части системы отопления электроклапана сброса воды и клапанов, локализирующих место утечки. Предложенный вариант может контролировать и устранять утечки в системах отопления в автоматическом режиме [1, 2].

Вывод: утечки воды не являются неизбежными в случае разгерметизации систем отопления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Митрохин, А.В. Метод контроля и автоматического устранения утечек воды в отопительных контурах[Текст]// Известия ОрелГТУ. Серия “Строительство. Транспорт”.– 2007. - №4/16(538). – С. 99-101
2. Класс F24D 10/00, Водяная система отопления; Авт. Поландов Ю.Х., Митрохин А.В. заяв. на изобр. №2006124065/03 от 04.07.06. Получено полож. Реш. от 16.07.07.

Поландов Юрий Христофорович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
 Доктор технических наук, профессор
 Тел.: (4862) 41-98-48
 E-mail: polandov@yandex.ru

Митрохин Андрей Вячеславович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
 Аспирант
 Тел.: (4862) 41-98-48

В.Я. ВАРГАШКИН

НЕОДНОРОДНОСТЬ НЕРАДИАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ ХАББЛОВСКОГО ПОТОКА КВАЗАРОВ КАК ФАКТОР КРУПНОМАСШТАБНОЙ СТРУКТУРИРОВАННОСТИ ВСЕЛЕННОЙ

Обнаружена крупномасштабная анизотропия нерадиальной компоненты хаббловского потока квазаров. Показано, что данная анизотропия обладает подобием с анизотропией реликтового излучения, а также с крупномасштабной структурой Вселенной.

Large-scale anisotropy of non-radial components of Hubble's stream of quasars is found out. It is shown, that the given anisotropy possesses similarity with anisotropy of relict radiation, and also with large-scale structure of the Universe.

ОСНОВНЫЕ СТАДИИ РАЗВИТИЯ ВСЕЛЕННОЙ И ПРОБЛЕМА ЕЕ СТРУКТУРИРОВАННОСТИ

В настоящее время в космологии принята устоявшаяся модель [1] эволюции Вселенной, содержащая десять основных эпох (см. таблицу). В ее столбцах помимо перечисления этих этапов даются их краткие характеристики, такие как условное время с момента большого взрыва, усредненная температура Вселенной, а также описание состояния материи и основных взаимодействий в природе для того или иного этапа.

Последний, одиннадцатый, этап является дискуссионным и относится к прогнозируемому будущему Вселенной, когда квинтэссенция Λ -члена окажется преобладающей над обычной материей, что, как полагают, создаст предпосылки для повторения стадий, представленных в таблице.

При этом окончание стадии инфляции соответствует подбарьерному прохождению квантов скалярного поля из состояния фальшивого вакуума в состояние обычного вакуума с дальнейшим порождением обычной материи в состоянии кварк-глюонной плазмы. Поскольку процесс туннелирования является статистическим, плотность такой материи приобретает флуктуирующий градиент плотности.

Наличие флуктуаций плотности в условиях дальнейшего расширения зарождающейся Вселенной приводит к неравномерности распределения массы в наблюдаемой ныне части Вселенной. Эта неравномерность описывается спектром Харрисона-Зельдовича. Оценка распределения плотности распределения видимой массы на соответствие спектру Харрисона-Зельдовича позволила говорить о структуре Вселенной и, в частности, о ее крупномасштабной структуре.

В ту же эпоху распада фальшивого вакуума порождается гравитационно-волновое излучение. В ходе расширения Вселенной оно также приобретает спектр, близкий по типу к спектру Харрисона-Зельдовича. При этом амплитуда спектра оказывается зависящей от температуры, которую имел излучатель в момент времени, когда длина волны испущенного излучения совпадала с радиусом Вселенной.

Благодаря этому, можно ожидать, что распределение плотности спектра гравитационно-волнового фона по небесной сфере должно отражать структуру Вселенной. При этом перечисленные гипотезы возникновения структурированности требуют экспериментального подтверждения.

Таблица 1 – Основные эпохи развития Вселенной в рамках инфляционной теории

Эпоха эволюции Вселенной	Условное время от большого взрыва, с	Температура, К	Примечание
Эпоха ранней Вселенной			
1. Рождение классического пространства-времени	10^{-43}	10^{32}	Пространственно-временная пена (флуктуации метрики)
2. Инфляция (фальшивый вакуум)	$10^{-43} \dots 10^{-36}$	$10^{32} \dots 10^{29}$	Зарождение Хаббловского потока. Рождение гравитационных волн из квантовых флуктуаций метрики. Рождение возмущений плотности из квантовых флуктуаций скалярного поля
3. Горячий бариосинтез	10^{-36}	10^{29}	Рождение обычной материи (тяжёлых лептокварков) при распаде состояния фальшивого вакуума. «Пустыня взаимодействий»
4. Рождение избытка вещества над антивеществом	10^{-35}	10^{28}	Электрослабые взаимодействия
5. Электрослабый фазовый переход	10^{-10}	$10^{17} \dots 10^{16}$	Механизм Хиггса динамического рождения массы бозонов. Расщепление электрослабого взаимодействия на электромагнитное и слабое. Появление квантов электромагнитного поля – фотонов и квантов слабого взаимодействия – вионов: W^+ ; W^- ; Z – бозонов. Рождение нейтрино, как участника слабого взаимодействия. Кварк-глюонная плазма со свободными кварками
6. Конфайнмент кварков	10^{-10}	$10^{12} \dots 10^{13}$	Объединение кварков с парами глюонных струн
7. Первичный нуклеосинтез	1...200	$10^9 \dots 10^{10}$	Рождение ядер водорода, гелия, лития, бериллия, бора
Наша эра			
8. Доминирование тёмной материи	10^{10}	300000	Горячая плазма из массивных нейтрино, аксионов, нейтралино, электронов, протонов и лёгких ядер. Возмущения плотности вещества
9. Рекомбинация водорода (эпоха последнего рассеяния)	10^{13}	3000	Образование реликтового излучения
10. Современная эпоха	10^{19}	3	Образование крупномасштабной структуры Вселенной
Будущее			
11. Доминирование квинтэссенции Л-члена	$T \rightarrow \infty$	$t \rightarrow 0$	Зарождение механизма новой инфляции

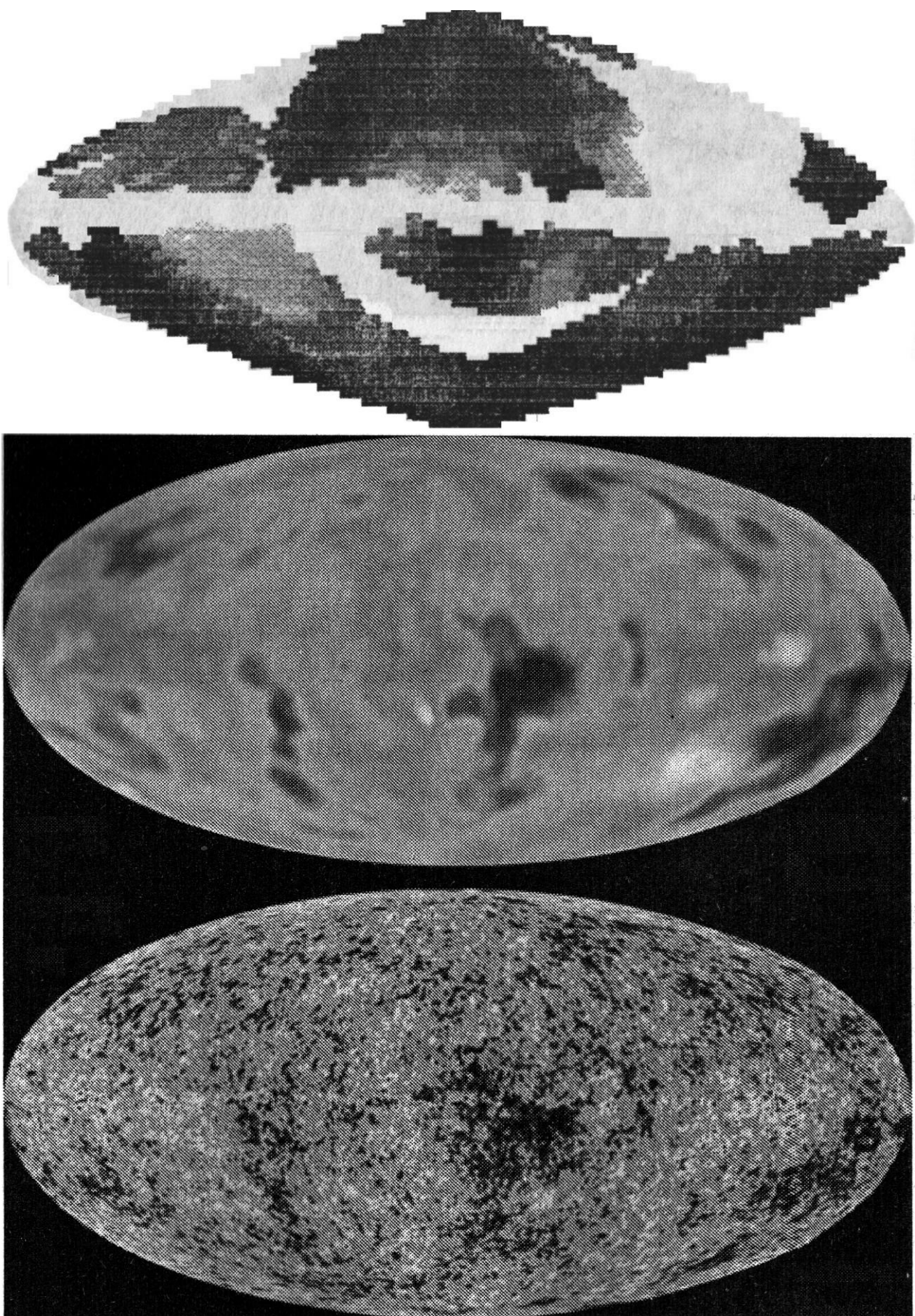


Рисунок 1 – Анизотропия реликтового излучения по данным спутников (сверху вниз) «Реликт-1» (а), COBE (б) и WMAP (в)

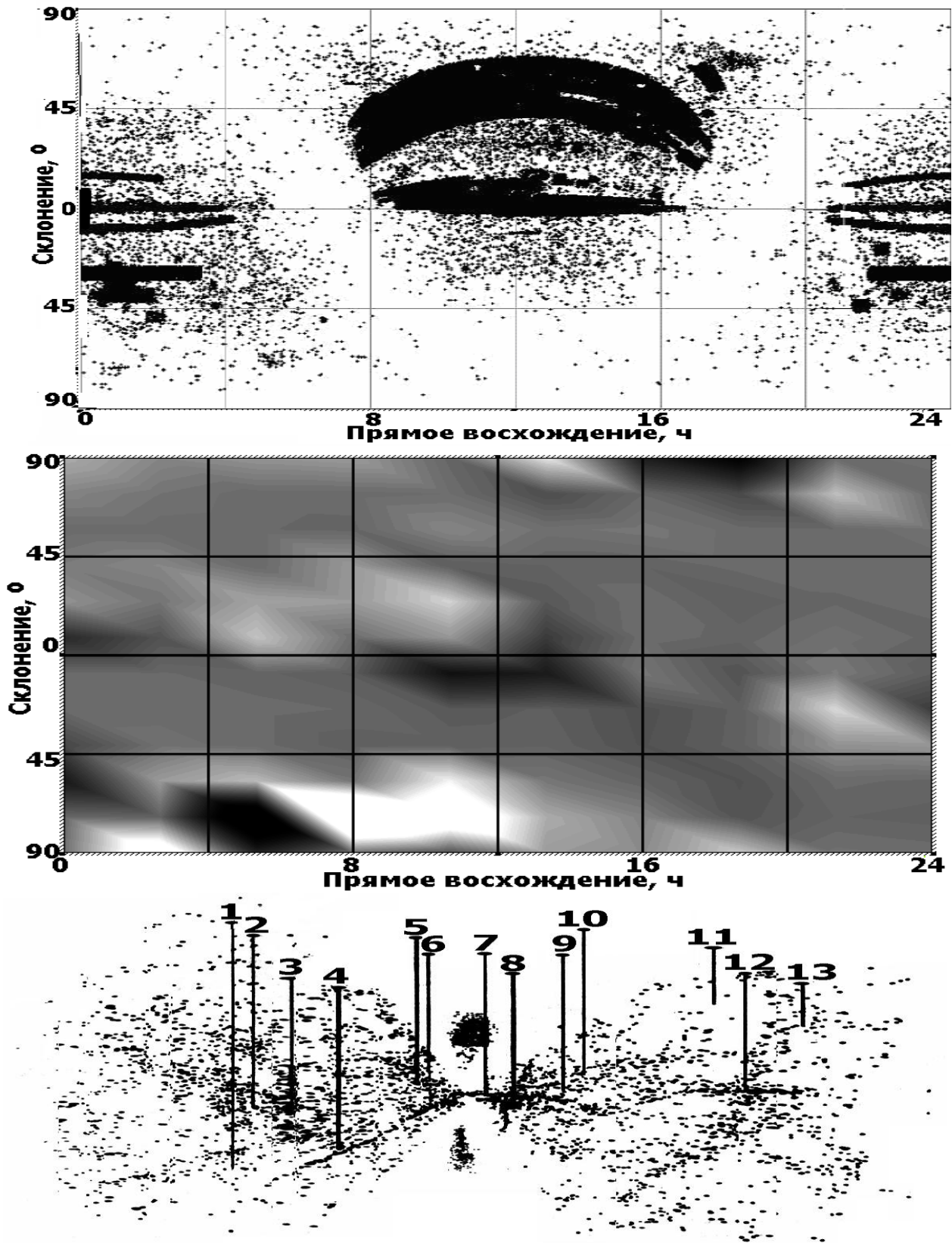


Рисунок 2 – Сверху вниз представлены: распределение квазаров по небесной сфере: (а): анизотропия горизонтальной составляющей собственного движения квазаров (б); и крупномасштабная анизотропия галактик местной группы (в): 1 – Южный воид; 2 – Южная Стена, 3 – скопление в Рыбах; 4 – скопление в Персее; 5 – скопление Павлин-Индеец-Телескоп; 6 – скопление в Печи; 7 – облако Волосы Вероники – Скульптор; 8 – скопление в Деве; 9 – скопление в Центавре; 10 – большой аттрактор; 11 – центр астрофизического войда; 12 – скопление в Волосах Вероники; 13 – Большая Стена из Волос Вероники влево

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО УСТАНОВЛЕННЫЕ АНИЗОТРОПИИ ВСЕЛЕННОЙ

Анизотропия реликтового излучения (рисунок 1а) была открыта [2] в 1992 г. в ходе экспериментов «Реликт-1» с советского спутника «Прогноз-9». Аналогичные эксперименты были получены с американского спутника COBE (рисунок 1б). С наилучшим угловым разрешением по дипольной гармонике анизотропия реликтового излучения была измерена американским спутником WMAP (рисунок 1в). Гравитационно-волновое излучение и его анизотропия в настоящее время не обнаружены. Для их поиска предназначен вновь разрабатываемый российско-итальянский гравитационно-волновой детектор нового поколения.

Распределение плотности вещества Вселенной структурировано в масштабах, меньших 200 *Мпк*. Это – сверхскопления галактик, образующие структуру в виде «бликнов» и войдов (рисунок 2в) на масштабах порядка 10...20 *Мпк*. Дальнейшую иерархию образуют отдельные галактики и их скопления на масштабах от 10 *кпк* до 10 *Мпк*. Внутри галактик материя группируется в структуры, такие как галактические рукава в спиральных галактиках, шаровые звездные скопления, отдельные звезды и планеты.

Можно предположить, что квазары на небесной сфере группируются в некие образования, отражающие продолжение крупномасштабной структуры Вселенной на расстояния, в отношении порядка достигающие 10 *Мпк*.

АНИЗОТРОПИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕРАДИАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ СКОРОСТИ СОБСТВЕННОГО ДВИЖЕНИЯ КВАЗАРОВ

Квазары являются наиболее удаленными от наблюдателей источниками излучения, вследствие чего можно предположить, что статистически значимое отклонение распределения скоростей их собственного движения от сферически симметричного может свидетельствовать о наличии факторов, сформировавших крупномасштабную структуру Вселенной на наиболее ранних стадиях ее развития, в начале нашей эры, т.е. спустя три минуты после большого взрыва (см. таблицу). В настоящее время нерадиальные составляющие скоростей собственного движения измерены примерно у 500 квазаров из более 108000 известных [3]. Трудности подобных измерений связаны с удаленностью квазаров.

Распределение квазаров по небесной сфере обладает существенной неравномерностью, которая обусловлена особенностями наблюдений (рисунок 2а). Для использования полной выборки квазаров была разработана методика статистической оценки нерадиальной компоненты скорости собственного движения. Методика основана на том, что при наличии анизотропии нерадиальной компоненты на небесной сфере должен наблюдаться поток квазаров от точек дивергенции к точкам конвергенции, подобным радиантам метеорных потоков. В результате расчетов, основанных на данной методике, была установлена анизотропия распределения нерадиальной скорости собственного движения (рис.2б). Установлено, что в ходе анизотропии точки дивергенции и конвергенции образуют структуру, подобную участкам максимумов и минимумов реликтового излучения (рис.1), а также крупномасштабной анизотропии галактик местной группы (рис. 2в). В частности, дивергенция потока квазаров в северной области неба соответствует скоплениям галактик в районе созвездий Волосы Вероники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сажин, М.В. Современная космология в популярном изложении [Текст] / М.В. Сажин: –М.: Эдиториал УРСС, 2002.–240 с.
2. Архангельская, И.В. Космология и физический вакуум [Текст] / И.В. Архангельская, И.Л. Розенталь, А.Д. Чернин –М.: Комкнига, 2007.–216 с.
3. M.-P.Veron-Cetty and P.Veron. A Catalogue of Quasars and Active Nucley: 12-th Edition // ESO Scientific Report.–№ 19.–2000.

Варгашкин Владимир Яковлевич

Институт физики, Лондон, Великобритания
Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика»
Тел.: (4862) 41-98-89

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТИЧНОГО ЗАКРЫТИЯ ТРЕЩИНЫ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И УПРУГОГО ОСНОВАНИЯ

Исследуется плоская задача о трещине–расслоении, возникающей на границе раздела дорожного покрытия, сцепленного с упругим основанием из другого материала, когда к поверхности покрытия приложена нормальная нагрузка. Считается, что при приложении на поверхности дорожного покрытия нормальной нагрузки в концевых зонах трещины будут возникать сжимающие напряжения, в которых берега трещины на некотором участке войдут в контакт. Исследуется общий случай, когда размеры концевых контактных зон не малы по сравнению с характерным размером трещины.

The plane problem about a crack-stratification arising on boundary of section of a roadway covering, linked with the elastic basis from other material when normal loading is enclosed to a surface of a covering is investigated. It is considered, that at the appendix on a surface of a roadway covering of normal loading in end zones of a crack there will be compressing stresses in which faces of a crack on some site will contact. The general case when the sizes of end contact zones are not small in comparison with the characteristic size of a crack is investigated.

Анализ [1, 2] состояния дорожных покрытий на упругом основании выявил, что материалам таких соединений свойственны трещиновидные несплошности. Между дорожным покрытием и упругим основанием могут образовываться переходные зоны, в которых физико-механические свойства материала отличаются от свойств основных материалов. Эти повреждения на границе раздела сред покрытия и упругого основания могут иметь как естественное происхождение (расслоения, включения, поры), так и вызываться технологическими процессами.

При некоторых видах нагружения двухслойного тела и соотношениях геометрических параметров возможно уменьшение деформации тела в направлении, перпендикулярном трещине–расслоению, и в связи с этим снижение коэффициента интенсивности напряжений в кончике трещины. Следует ожидать, что при некотором соотношении параметров нагружения и геометрических характеристиках двухслойного тела будут возникать зоны сжимающих напряжений, в которых берега трещины на некотором участке войдут в контакт. Это взаимодействие берегов трещины приведет к появлению контактных напряжений на данном участке берегов трещины.

Примем следующие упрощающие предположения относительно работы дорожного покрытия:

- 1) дорожное покрытие является неразрезной полосой бесконечной длины неизменного поперечного сечения, лежащей на сплошном упругом основании;
- 2) вертикальные силы приложены в плоскости симметрии дорожного покрытия, а боковые и продольные силы не влияют на изгибающий момент и на напряженно-деформированное состояние, вызванное процессом контактирования колеса с дорожным покрытием.

Для расчета напряженно-деформированного состояния пары дорожное покрытие - упругое основание приходим к следующей задаче теории упругости.

Пусть в декартовых координатах x, y имеем двухслойное тело, состоящее из покрытия толщины h с упругими характеристиками G_1 (модуль сдвига) и μ_1 (коэффициент Пуассона), сцепленной с упругой полуплоскостью с характеристиками G_2 и μ_2 (рисунок 1).

Рассмотрим задачу механики разрушения для двухслойного тела, когда к наружной поверхности приложена нормальная нагрузка $p(x)$.

На границе поверхности покрытия $y = h$, $|x| \leq \infty$ касательное напряжение равно нулю.

Пусть под действием этой нагрузки на линии раздела упругих материалов $y=0$ в силу недостаточной адгезионной прочности между покрытием и полуплоскостью (основание) образуется трещина.

Принимается, что при действии нормальной нагрузки на поверхности покрытия происходит частичное закрытие трещины в зонах, примыкающих к ее вершинам. Это взаимодействие берегов трещины в концевых зонах приводит к появлению контактных напряжений.

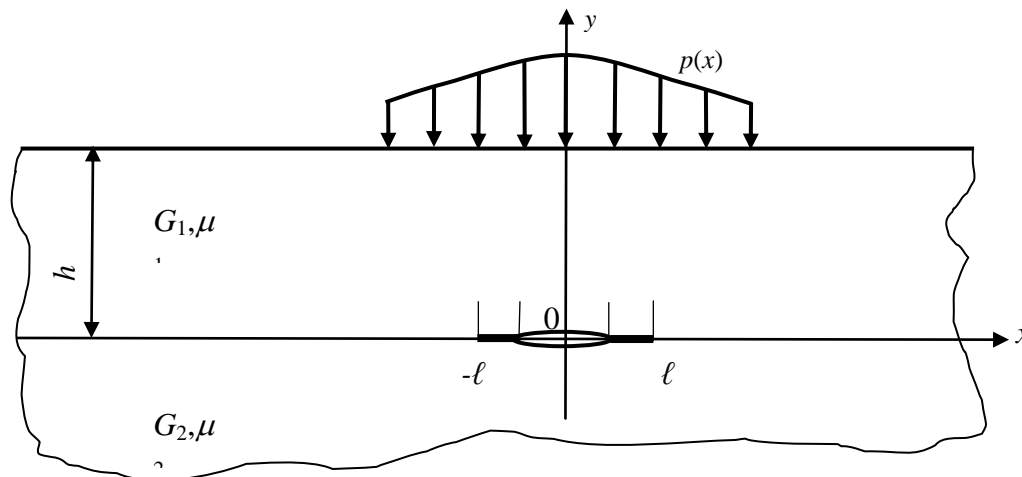


Рисунок 1 – Расчетная схема задачи

Рассмотрим плоскую задачу о трещине длины 2ℓ , расположенной на границе раздела покрытия и основания $|x| \leq \ell$, $y=0$ (рисунок 1). В концевых зонах (размеры d), примыкающих к вершинам трещины ($\ell-d \leq |x| \leq \ell$, $y=0$), возникают контактные нормальные $q_y(x)$ и касательные $q_{xy}(x)$ напряжения. Величины этих напряжений и размер контактной концевой зоны заранее неизвестны и подлежат определению в процессе решения задачи.

Используя, что задача является линейной, рассматриваемое состояние двухслойного тела можно представить суперпозицией следующих двух состояний:

1) адгезионное соединение материалов без трещины под действием нормальной нагрузки $p(x)$ на наружной поверхности покрытия;

2) адгезионное соединение материалов с трещиной с концевыми контактными зонами на границе раздела сред, при этом на берега трещины сносятся нормальные σ_y^1 и касательных τ_{xy}^1 напряжения, имеющие место на этой линии, где расположена трещина, в первом напряженном состоянии.

Краевые условия задачи для первого напряженного состояния запишутся в виде (верхний индекс 1 соответствует покрытию, верхний индекс 2 – полуплоскости):

$$\text{при } y=h \quad \sigma_y^{(1)} = -p(x); \quad \tau_{xy}^{(1)} = 0 \quad (1)$$

$$\text{при } y=0 \quad u^{(1)} + iv^{(1)} = u^{(2)} + iv^{(2)};$$

$$\sigma_y^{(1)} + i\tau_{xy}^{(1)} = \sigma_y^{(2)} + i\tau_{xy}^{(2)} \quad (2)$$

где i - мнимая единица; при $y \rightarrow -\infty$ перемещения и напряжения исчезают.

Для решения краевой задачи (1), (2) используем четыре функции Папковича-Нейбера $F_n^m(x, y)$ ($n, m=1, 2$). Из них две для покрытия (верхний индекс 1) и две для полуплоскости (верхний индекс 2).

Напряжения и перемещения выражаются через функции Папковича-Нейбера по известным формулам [3]:

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_y^{(m)}}{2G_m} &= 2(1-\mu_m)\frac{\partial F_2^{(m)}}{\partial y} - \frac{\partial^2 F_1^{(m)}}{\partial y^2} - y\frac{\partial^2 F_2^{(m)}}{\partial y^2}, \\ \frac{\tau_{xy}^{(m)}}{2G_m} &= \frac{\partial}{\partial x}\left[(1-2\mu_m)F_2^{(m)} - \frac{\partial F_1^{(m)}}{\partial y} - y\frac{\partial F_2^{(m)}}{\partial y}\right], \\ u^{(m)} &= -\frac{\partial F_1^{(m)}}{\partial x} - y\frac{\partial F_2^{(m)}}{\partial x}; \quad v^{(m)} = (3-4\mu_m)F_2^{(m)} - \frac{\partial F_1^{(m)}}{\partial y} - y\frac{\partial F_2^{(m)}}{\partial y}. \end{aligned} \quad (3)$$

Из-за симметрии задачи по x используем \cos -преобразование Фурье. Примем, что

$$\begin{aligned} F_1^{(1)} &= \int_0^\infty [A \operatorname{sh} \alpha y + B \operatorname{ch} \alpha y] \cos \alpha x d\alpha, \\ F_2^{(1)} &= \int_0^\infty [C \operatorname{sh} \alpha y + D \operatorname{ch} \alpha y] \alpha \cos \alpha x d\alpha, \end{aligned} \quad (4)$$

$$F_1^{(2)} = \int_0^\infty E e^{\alpha y} \cos \alpha x d\alpha, \quad F_2^{(2)} = \int_0^\infty F e^{\alpha y} \alpha \cos \alpha x d\alpha.$$

Удовлетворяя функциями (3), (4) граничным условиям (1), (2) получим систему шести линейных алгебраических уравнений относительно шести неизвестных функций $A(\alpha)$, $B(\alpha)$, $C(\alpha)$, $D(\alpha)$, $E(\alpha)$, $F(\alpha)$:

$$\begin{aligned} 2(1-\mu_1)(C \operatorname{ch} \alpha h + D \operatorname{sh} \alpha h) - A \operatorname{sh} \alpha h - B \operatorname{ch} \alpha h - \alpha h(C \operatorname{sh} \alpha h + D \operatorname{ch} \alpha h) &= \\ &= -\frac{\tilde{p}}{2G_1 \alpha^2}, \\ (1-2\mu_1)(C \operatorname{sh} \alpha h + D \operatorname{ch} \alpha h) - A \operatorname{ch} \alpha h - B \operatorname{sh} \alpha h - \alpha h(C \operatorname{ch} \alpha h + D \operatorname{sh} \alpha h) &= 0, \\ B = E, \quad (3-4\mu_1)D - A &= (3-4\mu_2)F - E, \\ G_1[2(1-\mu_1)C - B] &= G_2[2(1-\mu_2)F - E], \\ G_1[(1-2\mu_1)D - A] &= G_2[(1-2\mu_2)F - E], \end{aligned} \quad (5)$$

где трансформанта преобразования Фурье

$$\tilde{p} = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty p(x) \cos \alpha x dx$$

Решая алгебраическую систему уравнений (5) методом последовательного исключения неизвестных, находим коэффициенты $A(\alpha)$, $B(\alpha)$, $C(\alpha)$, $D(\alpha)$, $E(\alpha)$, $F(\alpha)$.

С помощью соотношений (3), (4) находим компоненты напряжений σ_y^1 и τ_{xy}^1 на $y=0$, $|x| \leq \ell$

$$\begin{aligned} \sigma_y^1(x,0) &= \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{\tilde{p}(\alpha)}{a + b e^{-4\alpha h} + t e^{-2\alpha h}} \left\{ a(1-\alpha x)e^{-\alpha x} + b(1+\alpha x)e^{-\alpha(4h-x)} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} [R_1 e^{-\alpha(2h-x)} + R_2 e^{-\alpha(2h+x)}] \right\} \cos \alpha h d\alpha, \\ \tau_{xy}^1(x,0) &= \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{\tilde{p}(\alpha)}{a + b e^{-4\alpha h} + t e^{-2\alpha h}} \left\{ a(1-2\mu_1 + \alpha x)e^{-\alpha x} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} [R_3 e^{-\alpha(2h-x)} + R_4 e^{-\alpha(2h+x)}] \right\} \sin \alpha h d\alpha. \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{Здесь } a &= 3-4\mu_1+10\kappa+3\kappa^2-12\mu_1\kappa-12\mu_2\kappa+16\mu_1\mu_2\kappa-4\mu_2\kappa^2, \\ b &= 3-4\mu_1-6\kappa+4\mu_2\kappa+4\mu_1\kappa+3\kappa^2-4\mu_2\kappa^2, \\ t &= 10-24\mu_1-4\kappa+16\mu_1^2+8\kappa\alpha^2 h^2+4h^2\alpha^2-16\kappa\alpha^2 h^2-12\kappa^2\alpha^2 h^2+ \\ &\quad +16\mu_2\kappa^2\alpha^2 h^2+8\mu_2\kappa^2-6\kappa^2+8\mu_1\kappa-16\mu_1\mu_2\kappa+8\mu_2\kappa, \\ R_1 &= a_1(\alpha h+1)+c(\alpha h+2)-t, \quad R_2 = a_1(\alpha h-1)+c(2-\alpha h)-t, \end{aligned}$$

$$R_3 = a_1 \alpha x + c(1 + \alpha x) - t, \quad R_4 = \alpha x(c - a_1) + t,$$

$$c = 2 + 4\kappa - 6\kappa^2 - 8\mu_2 \kappa + 8\mu_2 \kappa^2, \quad \kappa = G_1 / G_2,$$

$$a_1 = 4\alpha h + 8\kappa \alpha h - 12\kappa^2 \alpha h - 16\mu_2 \kappa \alpha h + 16\kappa^2 \mu_2 \alpha h.$$

Граничные условия на берегах трещины для второго напряженного состояния будут

$$\sigma_y - i\tau_{xy} = -(\sigma_y^1 - i\tau_{xy}^1), \quad |x| < \ell - d \quad (7)$$

$$\sigma_y - i\tau_{xy} = q_y(x) - q_{xy}(x) - (\sigma_y^1 - i\tau_{xy}^1), \quad \ell - d \leq |x| \leq \ell.$$

Условия (6) – (7) должны быть дополнены соотношением для раскрытия берегов трещины в концевых контактных зонах. Это уравнение можно представить в виде

$$v^+(x, 0) - v^-(x, 0) - i[u^+(x, 0) - u^-(x, 0)] = 0 \quad \ell - d \leq |x| \leq \ell. \quad (8)$$

Приближенные представления для раскрытия берегов трещины при произвольной нагрузке на ее берегах могут быть получены на основе решения для раскрытия трещины при действии сосредоточенной силы, приложенной на поверхности трещины [4]. В рассматриваемой задаче удобнее использовать выражение для производных раскрытия берегов трещины.

Выражение для производных перемещений берегов трещины при действии произвольных нагрузок на ее поверхности после некоторых преобразований и симметрии искомым функций примет вид

$$\frac{\partial}{\partial x} [v^+(x, 0) - v^-(x, 0) - i(u^+(x, 0) - u^-(x, 0))] = A \left(\frac{1 - \lambda}{1 + \lambda} \right) (\tau_{xy} + i\sigma_{xy}) -$$

$$- \frac{2A}{\pi \sqrt{\ell^2 - x^2}} \left(\frac{\ell - x}{\ell + x} \right)^{-i\beta} \left[\int_0^\ell \frac{\sqrt{\ell^2 - \xi^2}}{\xi^2 - x^2} (x\sigma_{y_1}(\xi) - i\xi\tau_{xy_1}(\xi)) d\xi + \right. \quad (9)$$

$$\left. + \int_{\ell-d}^\ell \frac{\sqrt{\ell^2 - \xi^2}}{\xi^2 - x^2} (xp_y(\xi) - i\xi\tau_{xy}(\xi)) d\xi \right],$$

где $q_y(x) - q_{xy}(x) = (p_y(x) - ip_{xy}(x)) \left(\frac{\ell - x}{\ell + x} \right)^{-i\beta},$

$$\sigma_y^1 + i\tau_{xy}^1 = (\sigma_{y_1}(x) - i\xi\tau_{xy_1}(x)) \left(\frac{\ell - x}{\ell + x} \right)^{-i\beta},$$

$$A = \frac{1}{4} \left(\frac{\kappa_1 + 1}{G_1} + \frac{\kappa_2 + 1}{G_2} \right), \quad \kappa_1 = 3 - 4\mu_1, \quad \kappa_2 = 3 - 4\mu_2, \quad \beta = \frac{\ln \lambda}{2\pi},$$

$$\lambda = \frac{\kappa_1 G_2 + G_1}{\kappa_2 G_1 + G_2}.$$

Отметим, что $q_y(x), p_y(x)$ - четные функции, а $q_{xy}(x), p_{xy}(x)$ - нечетные. Функции $p_y(x)$ и $p_{xy}(x)$ подлежат определению из решения задачи.

Для определения контактных напряжений в концевых зонах трещины получим сингулярное интегральное уравнение. Перейдем к безразмерным переменным $s = x/\ell, t = \xi/\ell$. Условием, служащим для определения неизвестных контактных напряжений, возникающих на берегах трещины в концевой зоне, является отсутствие раскрытия трещины в этой зоне (8). В рассматриваемой задаче это дополнительное условие удобнее записать для производной раскрытия берегов трещины

$$\frac{d}{dx} [v^+(x, 0) - v^-(x, 0) - i(u^+(x, 0) - u^-(x, 0))] = 0, \quad (10)$$

где x – аффикс точек концевой зоны трещины.

Требую выполнения условия (10), после некоторых преобразований получаем систему интегральных уравнений относительно неизвестных функций $p_y(s)$ и $p_{xy}(s)$

$$\begin{aligned}
 & -A\left(\frac{1-\lambda}{1+\lambda}\right)(q_y(s) + iq_{xy}(s)) + \frac{2A}{\pi\sqrt{1-s^2}}\left(\frac{1-s}{1+s}\right)^{-i\beta} \int_{1-d/\ell}^1 R(s,t)[sp_y(x) - itp_{xy}(x)]dt = \\
 & = A\left(\frac{1-\lambda}{1+\lambda}\right)(\tau_{xy}^1 + i\sigma_y^1) - \frac{2A}{\pi\sqrt{1-s^2}}\left(\frac{1-s}{1+s}\right)^{-i\beta} \int_0^1 R(s,t)[s\sigma_{y_1}(t) - it\tau_{xy_1}(x)]dt.
 \end{aligned} \tag{11}$$

Здесь ядро $R(s, t)$ интегрального оператора в (11) имеет вид

$$R(s, t) = \frac{\sqrt{1-t^2}}{t^2 - s^2}.$$

Решение системы уравнений позволяет определить неизвестные функции $p_y(s)$ и $p_{xy}(s)$ и, тем самым, контактные напряжения в концевых зонах $q_y(x)$, $q_{xy}(x)$.

Для замкнутости системы (11) не хватает одного комплексного уравнения, определяющего размер концевой контактной области. Условием, служащим для определения размера концевых областей, является условие конечности напряжений в окрестности вершин трещин. Записывая условие конечности напряжений в окрестности вершины трещины, находим недостающее уравнение в следующем виде

$$\int_{-\ell}^{\ell} \left(\frac{\ell+\xi}{\ell-\xi}\right)^{1/2+i\beta} [\sigma_y^1(\xi) + i\tau_{xy}^1(\xi)]d(\xi) - \int_{-\ell}^{\ell} \left(\frac{\ell+\xi}{\ell-\xi}\right)^{1/2+i\beta} [q_y(\xi) + iq_{xy}(\xi)]d(\xi) = 0. \tag{12}$$

Полученные уравнения (11) представляют собой систему сингулярных уравнений с ядрами типа Коши. Для их решения используем коллокационную схему кусочно-квадратичной аппроксимацией неизвестных функций. Перейдем к безразмерным переменным $q_y(\tau) = q_y(x)/p_0$; $q_{xy}(\tau) = q_{xy}(x)/p_0$; $p_y(\tau) = p_y(x)/p_0$; $p_{xy}(\tau) = p_{xy}(x)/p_0$, где p_0 - силовой фактор.

Преобразуем систему уравнений (11) к форме, удобной для численного решения. Неизвестные функции $p_y(\tau)$ и $p_{xy}(\tau)$ ищем в виде

$$p_y(\tau) = f_1(\tau)\sqrt{1-\tau}, \quad p_{xy}(\tau) = f_2(\tau)\sqrt{1-\tau}. \tag{13}$$

После соответствующих преобразований, умножения обеих частей уравнения на $(\sqrt{1-\tau})/\cos\varphi(\tau)$ и разделения действительных и мнимых частей, найдем

$$B_{ij}(\tau, \sigma) f_j(\tau) + A_0 \int_{1-d/\ell}^1 K_{ij}(\tau, t) f_j(t) dt = D_i(\tau) \quad (i, j = 1, 2), \tag{14}$$

где $B_{ij}(\tau, \sigma) = -(1-\tau) \left[\frac{\pi A_0(1-\lambda)}{2(1+\lambda)} \delta_{ij} \operatorname{tg}\varphi(\tau) - \lambda_{ij} \right];$

$$\lambda_{ij} = (1 - \delta_{ij}) \operatorname{sgn}(i - j); \quad A_0 = \frac{2A}{\pi};$$

$$K_{ij}(\tau, t) = \frac{H(\tau, t)}{\sqrt{1+\tau}} [\tau(2-j) + t(j-1)] (\delta_{ij} + \lambda_{ij} \operatorname{tg}\varphi(\tau));$$

$$H(\tau, t) = \frac{(1-t)\sqrt{1+t}}{t^2 - \tau^2}.$$

$D_i(\tau)$ ($i=1, 2$) представляют действительную и мнимую части, соответственно, правой части уравнения (11).

Для дискретизации уравнения (14) разместим на отрезке, содержащем в контактной концевой зоне трещины, M узловых точек с координатами:

$$\begin{aligned}
 \tau_n &= \xi + h_0(n-1) & (n=1, 2, \dots, M). \\
 M &= 2N+1, \quad N \geq 1, & \xi = 1 - \frac{d}{\ell}, \quad h_0 = \frac{d}{(M-1)\ell}.
 \end{aligned} \tag{15}$$

На отрезке $\xi \leq \tau \leq 1$ каждые последовательные три узла с номера $2k-1$, $2k$, $2k+1$ ($k=1, 2, \dots, N$) рассматриваются как одномерный квадратичный изопараметрический конечный элемент с параметрическими координатами в пределах элемента ($|\eta| \leq 1$):

$$\eta(\tau) = -1 + \frac{\tau - \tau_{2k-1}}{h_0}.$$

Неизвестные функции $f_j(\tau)$ аппроксимировали разложением по кусочно-непрерывным квадратичным полиномам. Вычисление интегралов в дискретном представлении уравнения (14) выполнялось также в параметрических координатах элемента $|\eta| \leq 1$ с учетом особенностей подынтегральной функции (14).

В результате получаем систему алгебраических уравнений для определения неизвестных значений функции $f_j(\tau_n)$ ($j=1, 2; n=1, 2, \dots, M$) в узловых точках.

Из-за неизвестного размера контактной зоны полученная алгебраическая система оказалась нелинейной. Для ее решения использовали метод последовательных приближений, суть которого состоит в следующем. Решаем систему алгебраических уравнений при некотором определенном значении d_* относительно M неизвестных $f_j(\tau_n)$ ($n=1, 2, \dots, M$). Значение d_* и найденные величины $f_j(\tau_n)$ подставляются в дополнительное условие (12), записанное в дискретной форме. Взятое значение параметра d_* и соответствующие ему значения $f_j(\tau_n)$ не будут, вообще говоря, удовлетворять уравнению (12). Поэтому, подбирая значения параметра d_* , будем многократно повторять вычисления до тех пор, пока последнее уравнение (12) не будет удовлетворять с заданной точностью.

Ниже в таблице приводятся значения параметра d/h в зависимости от длины трещины ℓ/h для асфальтобетонного покрытия

ℓ/h	0,025	0,05	0,10	0,15	0,20
d/h	0,011	0,023	0,038	0,047	0,061

Заметим, что хотя решение имеет осциллирующие особенности вблизи концов трещины, это не мешает иметь содержательные соотношения между параметрами концевой контактной зоны, длиной трещины и внешней нагрузкой. Для применения рассматриваемой модели необходимо, чтобы размер концевой контактной зоны был намного больше зоны осцилляции, т.е. $d \gg \varepsilon(\beta, d)$. Для реальных адгезионных соединений с трещинами на границе раздела сред это условие хорошо выполняется [5].

Для полученного решения в худшем случае $\beta = 0,175$ осцилляций нет, по крайней мере $|x| \leq 0,9999$, причем амплитуда осцилляций перемещений стремится к нулю при $x \rightarrow \pm \ell$. Следовательно, для любой пары упругих материалов (покрытие и основание) размер области осцилляций перемещений и напряжений в окрестности точки $x = \pm \ell$ очень мал, практически менее 0,01% от полудлины трещины ℓ .

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабков, В.Ф. Проектирование автомобильных дорог [Текст] Часть 1. / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев – Изд. 2-е. – М.: Транспорт, 1987. – 368 с.
2. Пирийев У.М., Нясянов Ш.Ш., Гараисайев Н.М. Автомобил йолларынын няглийят – истисмар эюстяриьиларинин йцксялмилмяси. – Баку: Азърбайъан няшриййаты, 2000. – 240 с.
3. Уфлянд, Я.С. Интегральные преобразования в задачах теории упругости [Текст] –М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1963. – 367 с.
4. Rice J.R., Sih G.C. Plane problem of cracks in dissimilar media // Trans. ASME. J. Appl. Mech. 1965. V. 32. P. 218 – 224.
5. Malyshev V.M., Salganik R.L. The strength of adhesive joints using the theory of cracks // Intern. J. Fract. Mech. 1965. V. 1, No 2, P. 114-128.

Гасанов Шахин Гумбат оглы

Бакинский филиал Московского государственного открытого университета, г. Баку
Кандидат технических наук, доцент
Адрес: AZ1129, г. Баку, ул. Н. Туси, д. 14, кв. 63
Тел.: (+99450) 3270725
E-mail: irakon63@hotmail.com

УДК 531.13

Л.С. ЕКИМОВА

ПРОЦЕСС ДВИЖЕНИЯ ТЕЛ ЭЛЛИПСОИДНОЙ И ШАРООБРАЗНОЙ ФОРМЫ ПО НАКЛОННЫМ ПЛОСКОСТЯМ ПРИ НАЛИЧИИ ТОРМОЗЯЩЕГО СЛОЯ ПРИМЕСЕЙ

В статье разработана математическая модель процесса движения деформированных эллипсоидных тел по наклонным плоскостям, которые являются основными элементами грузочно-разгрузочных устройств. Выполнено аналитическое решение этой модели и получены обобщенные теоретические зависимости для расчета углов наклона плоскостей, при которых наступает самопроизвольное скатывание тел. Полученные теоретические зависимости позволяют установить оптимальные кинематические и конструктивные параметры грузочно-разгрузочных устройств и могут быть использованы при проектировании этих устройств.

This paper presents the description of the process of the movement of globe-shaped and elliptical solids downhill and results of theoretical solution which exclude the additional damages of the solids when they movement with available of the breaking layer of the admixture. These analytical equations have not only theoretical but and practical means because they may be use for designing machines and conditions of their works.

В машиностроительной, строительной и металлургической промышленности имеют место движения тел эллипсоидной и шарообразной формы по наклонным плоскостям.

В процессе движения таких тел имеют место два случая: характеризующиеся наличием количества примесей (окалина, песок, формовочная смесь) и отсутствием их.

Рассмотрим процесс качения тела эллипсоидной формы по наклонной плоскости при наличии тормозящего слоя примесей, рисунок 1. Начало системы координат $O'XYZ$ принято в центре масс эллипсоида.

Рассмотрим бесконечно малую поверхность тела, ограниченную углом $d\theta$ и площадкой dS . На эту площадку поверхности действует сила нормального давления $d\vec{N}_p$ и сила трения $d\vec{F}$.

Соппротивление примесей смятию от глубины колеи имеет линейную зависимость:

$$q_{\max} = k_{o.c.n.} \cdot h, \quad (1)$$

где q_{\max} - максимальное удельное давление примесей на тело;

$k_{o.c.n.}$ - коэффициент сопротивления примесей смятию;

h - глубина колеи.

Принимаем, что давление примесей на тело в зоне контакта изменяется по закону косинуса, т.е. в точке P_V тела действует максимальное давление q_{\max} , то в точке A оно определится:

$$q = q_{\max} \cdot \cos \theta. \quad (2)$$

Из рисунка 1 получим:

$$h = R \cdot (1 - \cos \theta_{\max}). \quad (3)$$

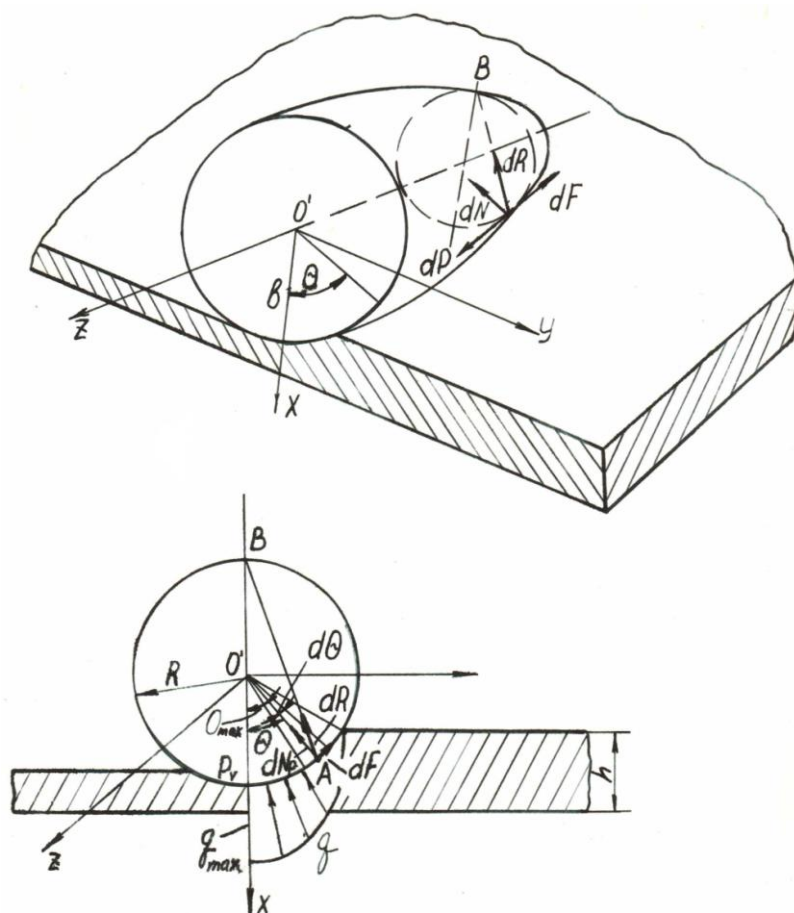


Рисунок 1 – Процесс качения тела при наличии тормозящего слоя примесей

Положим:

$$R = b \cdot \sin t. \quad (4)$$

После подстановки (3) в (1) и с учетом (4) получим:

$$q_{\max} = b \cdot k_{o.c.n.} \cdot \sin t \cdot (1 - \cos \theta_{\max}) \quad (5)$$

После подстановки (5) в (2) получим:

$$q = b \cdot k_{o.c.n.} \cdot \sin t \cdot (1 - \cos \theta_{\max}) \cdot \cos \theta. \quad (6)$$

Вектор внутренней нормали к эллипсоиду:

$$\vec{N} = \left\{ -\frac{X}{b^2}, -\frac{Y}{b^2}, -\frac{Z}{a^2} \right\}. \quad (7)$$

Единичный вектор \vec{n}_N , параллельный вектору \vec{N} :

$$\vec{n}_N = \frac{\vec{N}}{|\vec{N}|}. \quad (8)$$

С учетом (8) выражение (6) запишется:

$$d\vec{N} = b \cdot k_{o.c.n.} \cdot \sin t \cdot (1 - \cos \theta_{\max}) \cdot \cos \theta dS. \quad (9)$$

Единичный вектор \vec{n}_R , параллельный вектору $d\vec{R}$:

$$\vec{n}_R = \left\{ -\cos \frac{\theta}{2}, -\sin \frac{\theta}{2}, 0 \right\}. \quad (10)$$

Так как $d\vec{R}$ равнодействующая сила, то:

$$dR = \frac{|dN|}{(\vec{n}_N \cdot \vec{n}_R)} \cdot n_R. \quad (11)$$

Сопротивление примесей качению тела определяется:

$$Q = \int_S (\vec{n}_R \cdot \vec{j}) \cdot \frac{dN}{(\vec{n}_R \cdot \vec{n}_N)}. \quad (12)$$

Переходим от поверхностного интеграла к двойному по плоскости ($O'YZ$):

$$Q = \iint_{\sigma} (\vec{n}_R \cdot \vec{j}) \cdot (\vec{n}_N \cdot \vec{i}) \cdot \frac{dN}{(\vec{n}_N \cdot \vec{n}_R)}. \quad (13)$$

После преобразования (13) получим:

$$Q = b \cdot k_{o.c.n.} \cdot (1 - \cos \theta_{\max}) \cdot \iint_{\sigma} \cos^2 \theta \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \cdot \sin t dYdZ. \quad (14)$$

Для определения интеграла (14) используем функциональный определитель Якоби и после преобразования получим:

$$Q = a \cdot b^2 \cdot k_{o.c.n.} \cdot (1 - \cos \theta_{\max}) \cdot \int_0^{\pi} \sin^3 t dt \cdot \int_0^{\theta_{\max}} \cos^3 \theta \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} d\theta. \quad (15)$$

Сила сопротивления примесей качению тела:

$$Q = \frac{4}{3} a \cdot b^2 \cdot k_{o.c.n.} \cdot (1 - \cos \theta_{\max}) \cdot \left[\frac{8}{3} - \ln 2 + \ln(1 + \cos \theta_{\max}) - \right. \\ \left. - 3(1 + \cos \theta_{\max}) + \frac{3}{2}(1 + \cos \theta_{\max})^2 - \frac{1}{3}(1 + \cos \theta_{\max})^3 \right]. \quad (16)$$

Полученные аналитические зависимости имеют не только теоретическое, но и практическое значение, так как могут быть использованы для определения движения тел при их динамическом взаимодействии с рабочими органами машин с целью обоснования параметров и режимов работы их органов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бермант, А.Ф. Краткий курс математического анализа [Текст] / А.Ф. Бермант, И.Г. Араманович – М.: Наука, 1973. – 720 с.
2. Савельев, И.В. Курс общей физики [Текст]: В 3 т / И.В. Савельев – М.: Наука: Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 432 с.
3. Яблонский, А.А. Курс теоретической механики [Текст] / А.А. Яблонский, В.М. Никифорова – М.: Высшая школа, 1987. – 430 с.
4. Безухов, Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести [Текст] / Н.И. Безухов – М.: Высшая школа, 1961. – 536 с.
5. Екимова, Л.С. К расчёту скорости движения тел эллипсоидной формы по наклонной плоскости [Текст] / Л.С. Екимова – Депонированные научные труды (ВИНИТИ), М., 1984, № 4, 118 с.

Екимова Людмила Сергеевна

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика»

Тел.: (4862) 419889

E-mail: physics@ostu.ru

ПРИЛОЖЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ АДДИТИВНЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ НА МНОЖЕСТВЕ ПЕРЕСТАНОВОК В ЗАДАЧАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ

В данной статье рассматривается задача оптимизации очередности при последовательном выполнении группы взаимосвязанных работ, заданий или проектов. Различные задачи подобного рода широко известны, хорошо изучены и часто востребованы на практике. В их числе задача о двух и более станках, задача о коммивояжере и др. В каждой из таких задач требуется найти перестановку работ, обладающую заданными свойствами и доставляющую экстремум по некоторым критериям. Подобные задачи могут быть детерминированными и стохастическими, с заданными и динамически меняющимися параметрами

Queue optimization problem at sequential execution of interrelated tasks, jobs or projects is discussed in this paper. Different tasks of similar type are widely famous, well-examined and often essential in practice. The tasks are two and more machines problem, traveling salesman problem (TSP) and other. In such tasks it is required to find jobs permutation, which has given attributes and makes extremum by some criterions. Mathematical model and applications of the problem are suggested in this paper.

Опыт разработки и внедрения в производство систем, основанных на решении этих задач, показывает, что, как правило, их математические модели представляют собой многокритериальную оптимизационную задачу.

Пусть задано некоторое множество работ, занумерованных индексами $1..n$. Для каждой из них $k \in 1..n$ определены продолжительность работы, заданная положительным числом $b_k = b[k]$, и неотрицательная функция штрафов $c_k(t)$ вещественного неотрицательного аргумента $t \geq 0$, называемого далее временем. Продолжительности работ b_k образуют вектор $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)$.

Положим $P = P_n$ – множеству перестановок из n элементов,

$$p \in P = (p_1, p_2, \dots, p_n).$$

Свяжем с этой перестановкой вектор моментов начала работ

$$t_p = (t_1^p, t_2^p, \dots, t_n^p),$$

$$t_j^p = t_{j-1}^p + b[p_{j-1}] = \sum_{i=1}^{j-1} b[p_i], j \geq 2, \quad (1)$$

где $t_1^p = 0$ для каждого $p \in P$ и введем на множестве P функционал

$$z^p = z(t_p) = \sum_{j=1}^n c_{p_j}(t_j^p). \quad (2)$$

Тогда рассматриваемая задача минимизации аддитивного функционала на множестве перестановок сводится к поиску наименьшего значения $z(t_p)$ на множестве P :

$$\min_{p \in P} z(t_p). \quad (3)$$

Название задачи определяется аддитивностью как значения функционала для перестановки (2), так и формулы для вычисления компонент вектора моментов начала работ (1).

Предположим, что для каждой работы, если она начата в момент времени t , также задана функция сроков завершения $u_k(t)$, которая связана с функцией штрафов $c_k(t)$ следующим образом

$$c_k(t) = b_k - (u_k(t) - t), u_k(t) > t \tag{4}$$

для любого $t \geq 0$. Условно, штраф есть остаток невыполненной работы к моменту времени $u_k(t)$, если работа была начата в момент времени t , то есть $c_k(t) < b_k$. Тогда соотношение (1) переписывается в виде

$$t_p = (t_1^p, t_2^p, \dots, t_n^p), t_j^p = u_{p_{j-1}}(t_{j-1}^p), j \geq 2, \tag{1^*}$$

где $t_1^p = 0$ для каждого $p \in P$. Формула (1^{*}) задает рекуррентность вычисления сроков завершения работ, при которой последующий зависит от предыдущего.

Очевидно, что

$$t_1^p < t_2^p < \dots < t_j^p < \dots < t_{n-1}^p < t_n^p.$$

Понятие времени в этой задаче условное. Роль времени может выполнять любой скалярный параметр, например, длина кроймого полотна бумаги, затраты финансовых средств, время начала работы станка и пр. Как следствие, функции $c_k(t)$ и $u_k(t)$ могут быть как непрерывными, так и кусочно-непрерывными при наличии моментов времени, в которых значение этих функций неопределено, поскольку работа в них не может быть начата.

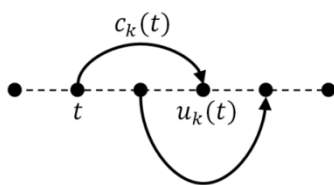


Рисунок 1 – Переход из состояния t в состояние $u_k(t)$

Пусть t – дискретный параметр, соответствующий значениям промежутка времени $[a, b]$. Тогда каждая из функций $u_k(t)$ будет описывать множество переходов от начала одной работы к другой, а $c_k(t)$ – увеличивать тем самым функционал z^p при переходе из состояния t в состояние $u_k(t)$.

Таким образом, введенное конечное множество состояний ставит в соответствие поставленной дискретную задачу управления, которая заключается в поиске наименьшего значения аддитивного функционала $z(t_p)$ на множестве P' перестановок длины меньшей или равной n на заданном отрезке $[a, b]$,

$$t_p = (t_1^p, t_2^p, \dots, t_{\dim p}^p), t_j^p = u_{p_{j-1}}(t_{j-1}^p), j \geq 2, \tag{1'}$$

$$z(t_p) = \sum_{j=1}^{\dim p} c_{p_j}(t_j^p), \tag{2'}$$

$$\min_{p \in P'} z(t_p), \tag{3'}$$

где $t_1^p = a < t_2^p < \dots < t_{\dim p-1}^p < t_{\dim p}^p < b$.

В данной задаче поиск осуществляется на новом множестве P' по причине того, что суммарное время выполнения работ теперь ограничено отрезком $[a, b]$.

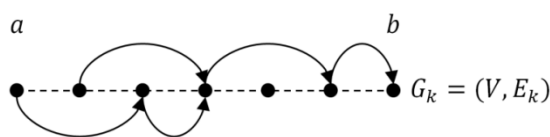


Рисунок 2 – Граф, построенный для работы b_k

Опишем задачу, характеризуемую соотношениями (1')-(3'), (4), в терминах теории графов. Если предположить, что каждое из значений t представляет собой отдельно взятую вершину из конечного непустого множества V , а функции $u_k(t)$ порождают конечные множества E_k ориентированных ребер-переходов с соответствующими весами $c_k(t)$ из вершины-состояния t в вершину-состояние $u_k(t)$,

$$t \in V, a \leq t \leq b, \tag{5.1}$$

$$e_{k,t} = (t, u_k(t)), e_{k,t} \in E_k, \tag{5.2}$$

$$l(e_{k,t}) = c_{t, u_k(t)} = c_k(t), \tag{5.3}$$

то каждая из пар $G_k = (V, E_k)$ будет являться ориентированным графом (рисунок).

В свою очередь, пара (V, E) также будет являться ориентированным графом (рисунок 3),

$$G = (V, E) \quad E = \bigcup_{k=1}^n E_k. \quad (5.4)$$

, где

На рисунок 3 видно, что множества вершин для каждого из графов G_1, G_2, \dots, G_n одинаковы, и, таким образом, граф G получается путем стягивания соответствующих вершин.

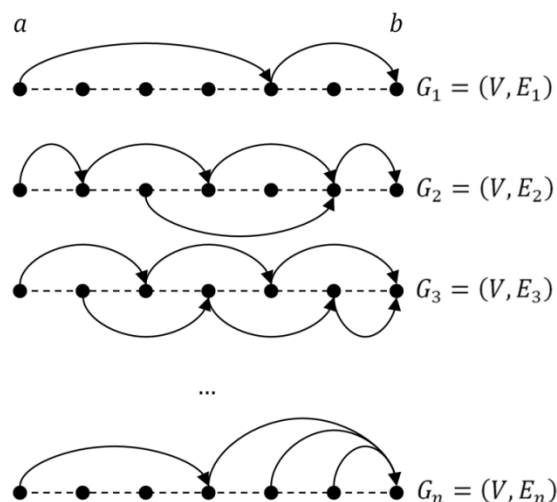


Рисунок 3 – Графы переходов, построенные для каждой из работ

В построенном графе G_k ребра могут иметь нулевые веса, если существует такое t , для которого $c_k(t) = 0$, а, следовательно, и в графе G тоже.

Из каждой вершины графа G_k выходит не более, чем одно ребро, поскольку любому значению t соответствует единственное значение $u_k(t)$, таким образом, в графе G_k возможны висячие и изолированные вершины, а в графе G и кратные дуги.

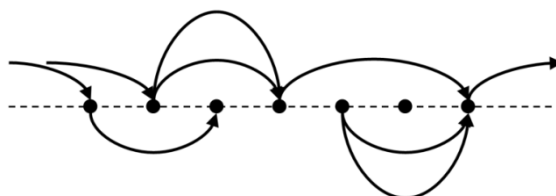


Рисунок 4 – Висячие и изолированные вершины и кратные дуги в графе G

Построенный ориентированный граф G является ациклическим, в котором преемники любой вершины линейно упорядочены, то есть возможно так расположить вершины на одной прямой, что все выходящие из них ребра будут указывать в одном направлении, или занумеровать вершины индексами так, что

$$\text{beg } e = t, \text{ end } e = u_k(t), t < u_k(t) \text{ для } \forall e \in E_k,$$

то есть дуга $(t, u_k(t))$ всегда ориентирована от вершины t к вершине $u_k(t)$, имеющей больший номер. Это справедливо в силу того, что $u_k(t)$ строго больше t на всей области определения. Из этого следует, что в графе не содержится петель и циклов. Более того, данный граф с выделенными начальной $s = a$ и конечной $t = b$ вершинами является управляющим или графом переходов.

С учетом вышеизложенного задача сводится к поиску кратчайшего пути μ из вершины a в вершину b , который состоял бы не более, чем из одной дуги каждого множества E_k , то есть

$$\mu = (e_1, e_2, e_3, \dots, e_m), \quad \text{beg } e_1 = a, \text{ end } e_m = b, \quad (6)$$

$$l(\mu) = \min_{p=(e_1, \dots, e_m)} l(p), \quad (7)$$

$$e_i \in E_k, \quad (8.1)$$

$$e_j \notin E_k, \quad (8.2)$$

где $1 \leq i, j \leq m$ такие, что $i \neq j$, и $1 \leq k \leq n$.

Другими словами, при построении кратчайшего пути необходимо выбрать такие дуги, из которых любые две не входят в одно и то же множество переходов. Такая постановка задачи удобна, поскольку позволит обобщить ее на всю область определения параметра t и находить решение для любых вершин i и j . Очевидно, что кратчайший путь между любыми двумя вершинами в ациклическом графе, содержащем дуги только положительного веса, будет простой цепью.

Нетрудно заметить, что вектор моментов начала работ t_p представляет собой не что иное, как кратчайший путь по вершинам графа G при соответствующей топологической сортировке вершин.

Задача, определяемая соотношениями (4), (5.1)-(5.4), (6), (7), (8.1), без учета множеств E_k в соотношении (8.2) является задачей поиска кратчайшего пути между двумя заданными вершинами в ориентированном ациклическом графе [3]. При нумерации вершин топологически отсортированного графа такая задача решается путем последовательного применения соотношения

$$l(v_j) = \min_{v_i \in \Gamma^-(v_j)} [l(v_i) + c_{ij}], \quad (9)$$

для всех вершин от a до b , где $l(v_j)$ – пометка, равная длине самого короткого пути от вершины a до вершины v_j , а $\Gamma^-(v_j)$ – множество вершин v_i , для которых в графе G существует дуга (v_i, v_j) . В соотношении (9) величина $l(a)$ полагается равной нулю. Дуги, образующие путь, могут быть найдены обратным ходом динамического процесса. Аналогичным способом решается задача поиска самого длинного пути.

Если каждому множеству ребер E_k сопоставить некоторый цвет, то описываемая соотношениями (4), (5.1)-(5.4), (6), (7), (8.1), (8.2) задача будет заключаться в поиске кратчайшего пути, состоящего из ребер различного цвета.

Рассматриваемая задача имеет множество приложений, различающихся устройством функций $c_k(t)$ и $u_k(t)$. Приведем некоторые из них.

- Задача поиска оптимальной перестановки нестандартных съемов тамбуров [1, 2, 4, 5] будет получена, если задать место расположения тамбура k в потоке накатов в виде функции от длины всей последовательности накатов $u_k(t)$, а количества образующихся остатков бумаги от раскроя тамбура k в точке t в виде функции $c_k(t)$.

- Задача поиска оптимального значения аддитивного функционала пары перестановок.

- Задача определения оптимальной очередности выполнения работ.

- Задача о коммивояжере с зависимостью времени движения по дуге от момента начала перемещения.

- Задача выбора оптимальной схемы настила в комнате нестандартной формы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dapcevic D. Paper machine reel optimization – analysis and a case study // 86th PAPТАС (Pulp and Paper Technical Association of Canada) Annual Meeting. 2000. P. 37-45.
2. Williamson M. Reel turn-up, winder controls reduce tear-off losses at Abitibi // Pulp and Paper. 1998. Vol. 9. P. 75-80.
3. Кристофидес, Н. Теория графов. Алгоритмический подход [Текст] / Н. Кристофидес – М.: Мир, 1978. С. 198.
4. Кузнецов, В.А. Решение задачи поиска оптимальной последовательности раскроя тамбуров методом ветвей и границ [Текст] / В.А. Кузнецов, А.М. Смолий / Информационные технологии моделирования и управления. 2007. Вып. 39. С. 593-602.
5. Смолий, А.М. Задача поиска оптимальной последовательности раскроя тамбуров [Текст] / А.М. Смолий / Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2007. Вып. 181. С. 140-145.

Смолий Алексей Михайлович

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск

Аспирант кафедры прикладной математики и кибернетики

Адрес: 185002, Россия, Карелия, Петрозаводск, ул. С. Ковалевской, д. 3, кв. 104.

Тел.: (8-814-2) 72-17-97



УДК 631.171(075.32)

В.А. ЧЕРНЫХ, Н.И. КОРСУНОВ

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

В статье рассмотрена методика создания и возможность использования нейронной сети в качестве адаптивного регулятора.

In clause the technique of creation and an opportunity of use of a neural network as an adaptive regulator is considered.

ВВЕДЕНИЕ

Технологии **адаптивного регулирования** позволяют полностью **автоматизировать** процесс настройки контуров регулирования широкого класса промышленных объектов управления с различными видами и величинами запаздывания. Они позволяют полностью отказаться от использования обычных методов идентификации динамики объекта и расчета оптимальных параметров настройки регуляторов.

Это значит, что потребитель, использующий адаптивное регулирование, получает возможность:

- **сократить время** настройки контуров регулирования и требования к **квалификации персонала**;
- гарантировать **наилучшее качество управления** в любой момент времени для широкого класса стационарных и нестационарных автоматизируемых объектов;
- обеспечить **непрерывный процесс подстройки** параметров регулятора под изменяющиеся динамические свойства объекта управления;
- **увеличить ресурс** работы исполнительного механизма за счет использования двухуровневого пробного сигнала.

Как показывает практика [<http://www.adastra.ru>], адаптивные регуляторы позволяют экономить до 15% сырья и энергоресурсов по сравнению с ручным управлением или порядка 5% по сравнению с не оптимально настроенным классическим ПИД регулятором. Кроме того, применение адаптивного регулирования ведет к сокращению сроков и стоимости пуско-наладочных работ.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

В современных условиях актуальность создания высокосоввершенных адаптивных регуляторов не только не уменьшается, но возрастает. Несмотря на полувековую историю развития, проблема адаптации регулятора не имеет практического решения на уровне современных требований. То, что это действительно так, показывает полное отсутствие на мировом рынке адаптивных регуляторов, удовлетворяющих современным требованиям и возможностям микропроцессоров и контроллеров.

Известно значительное число работ, посвященных проблеме разработки регуляторов на основе нейронных сетей для АСУ. Стимулом к разработке нейрорегуляторов служат результаты сравнительного анализа их эффективности в сопоставлении с классическими линейными регуляторами, демонстрирующие существенное превосходство первых в плане показателей качества переходных процессов. В то же время, одним из основных факторов,

сдерживающих широкое практическое использование нейрорегуляторов в АСУ, является отсутствие четко систематизированной методологии их проектирования. В частности, в

большинстве известных работ нейрорегуляторы синтезируются исключительно на основе априорного описания, требуется только, чтобы в процессе синтеза был предоставлен достаточно большой объем информации. Однако, используя разработанные математические модели АСУ, возможна систематизация и формализация процесса синтеза нейрорегуляторов АСУ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Параметры электропривода в процессе функционирования имеют тенденцию к вариации. Причем ряд параметров, таких как нагрузка или напряжение источника энергии, как правило, варьируются в широком диапазоне по условиям эксплуатации. Вариация параметров неизбежно нарушает условия оптимальности для регуляторов всех уровней иерархии управления электропривода, что приводит к ухудшению показателей качества переходных и стационарных процессов в работе электропривода.

Решение указанной проблемы должно лежать в плоскости повышения робастности за счет адаптации процессов управления. Использование классических методов теории адаптивного управления в управлении электроприводом не всегда является оправданным, поскольку предполагает, в первую очередь, существенное усложнение системы управления за счет отказа от структуры подчиненного регулирования и переходу к управлению на уровне состояния с идентификацией состояния объекта с помощью наблюдателей. Кроме того, подобный подход специализирует систему управления электроприводом под конкретные условия эксплуатации. В то же время зачастую добиться приемлемой для практики робастности возможно значительно более простыми средствами.

В частности, для многих электроприводов вариация параметров управления обуславливает ухудшение показателей качества только стационарного или только переходных процессов. При этом задача адаптации формулируется более узко и может быть решена без идентификации состояния объекта путем формирования нелинейных характеристик регуляторов, функционально зависящих от величины и скорости изменения ошибки регулирования или путем введения дополнительного контура регулирования.

Для обеспечения наилучшего хода технологических процессов электропривод должен иметь возможность изменять соответствующим образом характер своей работы.

Электропривод, функционирование системы управления которого автоматически и целенаправленно изменяется с целью осуществления наилучшего протекания технологического процесса, называется ЭП с адаптивным или самоприспосабливающимся управлением. Другими словами, ЭП с адаптивным управлением обеспечивает оптимальный ход технологического процесса по заданному показателю качества при изменяющихся возмущениях и условиях работы. Автоматическое изменение функционирования системы управления ЭП называется адаптацией, или самоприспособлением.

Если в электроприводе с адаптивным управлением целенаправленно изменяются параметры системы управления, то привод называется самонастраивающимся, если изменяются параметры и структура системы управления, - самоорганизующимся, если изменяются параметры, структура и закон управления с использованием опыта функционирования электропривода, - самообучающимся.

Для осуществления адаптивного управления электроприводом служит устройство адаптивного управления, которое формирует сигналы управления, обеспечивающие заданный показатель качества технологических процессов, например, наивысшую производительность рабочей машины, минимальную стоимость обрабатываемой детали и др.

В общем случае устройство адаптивного управления должно обеспечивать или поддержание этого показателя качества на заданном уровне (системы стабилизации), или получение его экстремального значения (экстремальные системы).

Системы стабилизации чаще всего основываются на использовании модели технологического процесса, с помощью которой обеспечивается близость характеристик реального и целесообразного (оптимального) технологического процесса.

В экстремальных адаптивных системах параметры системы управления настраиваются на экстремальное значение заданного показателя качества технологического процесса.

По способу получения информации о текущем значении показателя качества экстремальные системы подразделяются на поисковые и беспоисковые. В поисковых системах показатель качества достигается за счет введения в систему дополнительных поисковых сигналов. В беспоисковых (аналитических) системах он рассчитывается аналитически с помощью специального вычислительного устройства. Если поисковые сигналы генерируются самой системой управления, то такая система называется экстремальной системой с автоколебательным поиском экстремума. При использовании специального дополнительного источника поисковых сигналов реализуется система с принудительным поиском экстремума.

По количеству переменных, от которых зависит показатель качества, экстремальные системы подразделяются на одномерные и многомерные, также они классифицируются по методам поиска алгоритма нахождения экстремума (например, Гаусса-Зайделя, градиента, наискорейшего спуска и др).

Примером поисковой адаптивной системы управления ЭП может служить система поиска минимального значения тока статора АД, при котором потери в двигателе оказываются минимальными. Регулируемой координатой АД как объекта управления в этом случае является ток статора, управляющей координатой - напряжение питания двигателя, а возмущающим воздействием - момент нагрузки на валу двигателя.

АДАПТИВНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ АСУ

Для АСУ с нестационарностью объекта управления, обуславливающей существенную вариацию показателей качества переходных процессов, повышение робастности может быть достигнуто за счет формирования нелинейных характеристик регуляторов. Причем эффективная реализация АСУ с нелинейными адаптивными характеристиками может быть достигнута за счет использования аппарата нейронных сетей.

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ С МНОГОСЛОЙНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ

Рассмотрим пример синтеза адаптивной нейросетевой системы управления с нелинейным аффинным по управлению объектом

$$x = f(x, \theta) + G(x) \quad u, x \in X, u \in U, \quad (1)$$

где x – вектор состояния с размерностью $(n \times 1)$;

u – вектор входа с размерностью $(m \times 1)$, $m < n$;

$G(x) = [g_1(x), \dots, g_m(x)] \geq 0$, $f(\cdot)$, $g_i(\cdot)$;

$i = 1, m$ – гладкие векторные поля в пространстве R^n , заданные на X . Поведение объекта управления (1) зависит от вектора неизвестных параметров θ , задано также множество Ω_θ возможных значений θ , определяющее класс адаптивности.

Желаемые динамические характеристики синтезируемой адаптивной системы с эталонной моделью определяются системой линейных дифференциальных уравнений

$$\dot{x}^M = A^M x^M + B^M r, \quad (2)$$

где $x^M \in R^n$ – вектор состояния эталонной модели;

A^M, B^M – матрицы соответствующих размерностей, коэффициенты которых известны и тем самым определяют желаемый вектор состояния модели x^M при входном воздействии r .

В соответствии с этапами синтеза адаптивных систем управления для заданной системы уравнений объекта (1) и его эталонной модели (2) определяются структура и алгоритм регулятора основного контура системы, функциональная схема контура и алгоритм адаптации.

Алгоритм адаптации изменяет вектор настраиваемых параметров $w_i^{(l)}$ таким образом, чтобы обеспечить достижение цели управления при любом векторе неизвестных параметров θ , принадлежащих заданному классу Ω_θ . Выберем в качестве такого алгоритма адаптации для настройки МНС алгоритм обратного распространения ошибки.

Как уже было показано ранее, цель управления достигается путем минимизации алгоритмом адаптации ВР квадратичного функционала обучения $J = 0,5 \sigma^T \sigma$. При этом обобщенная ошибка управления σ выбирается как левая часть однородной системы уравнений, решению которой удовлетворяют искомые управляющие воздействия:

$$x^M - x = 0. \quad (3)$$

Подставляя в (3) значение производной вектора состояния модели (2) и заменяя вектор состояния модели x^M измеряемым вектором состояния x объекта управления (1), получаем выражение для функции обобщенной ошибки в виде

$$\sigma = A^M x + B^M r - x, \quad (4)$$

при $G(x) \Rightarrow 0$ условие (6) будет выполнено и, следовательно, выполнены пункты 1 и 2 из п. 9.2.3. Управляющее воздействие u , соответствующее (4), можно получить из условия $\sigma = 0$ с учетом уравнений объекта (1):

$$u = (G(x)^T G(x))^{-1} G(x)^T (A^M x + B^M r - f(x)).$$

Как уже отмечалось, отсутствие регулярной процедуры выбора параметров сети, таких, как число слоев, число нейронов в слое, начальные условия весовых коэффициентов сети, а также коэффициент настройки сети Γ , определяющих устойчивость и качество переходных процессов в адаптивной системе управления, приводит к необходимости предварительного моделирования синтезированной системы адаптивного управления. В ходе моделирования осуществляется подбор параметров сети, удовлетворяющих требуемому качеству переходных процессов в такой системе для любого вектора неизвестных параметров θ , принадлежащих заданному классу Ω_θ .

Эталонная модель реализуется также в виде динамической нейросети типа "прямая модель обучения".

Рассмотрим пример синтеза адаптивной системы с нелинейным объектом, описываемым неавтономным уравнением Ван-дер-Поля:

$$\dot{x}_1 = x_2; \dot{x}_2 = -x_1 + x_2(1 - x_1^2)\varepsilon + u, \quad (5)$$

здесь x_1, x_2 – скаляры;

$\varepsilon > 0$ – малый параметр;

$\omega^2 = 1 + \varepsilon\beta, \beta \neq 0$.

Значение параметра ε не известно, но принадлежит области допустимых значений Ω_ε , заданной интервалом $0,5 \leq \varepsilon \leq 1$.

Эталонную модель поведения обобщенного объекта зададим в классе линейных моделей

$$\dot{x}^M = A^M x^M; A^M = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -T_1^{-1}p & -T_1^{-1} - p \end{bmatrix}, T_1, p > 0. \quad (6)$$

Исходя из равенства желаемой динамики обобщенного объекта и объекта управления (5), найдем требуемое управляющее воздействие.

Покажем связь параметров заданной эталонной модели и синтезированного управляющего воздействия (6) с управлением, полученным для объекта (5) по методу АКАР.

Разобьем уравнения объекта (5), как это уже выполнялось неоднократно ранее, на внутренние и внешние. Тогда первое уравнение будет являться "внутренним" для системы (5), и оно описывает динамику редуцированного объекта управления. Второе уравнение системы (5) будет "внешним", так как в его правую часть в явном виде входит управляющее воздействие u .

Координата x_2 есть внутреннее управление. Его определение основано на использовании функции Ляпунова $V = x^2$ для редуцированной системы. Производная по времени от функции Ляпунова будет отрицательна, если принять $\dot{x}_2 = -px_1$. Тогда синтезируемое желаемое многообразие будет $Y = x_2 + px_1$.

Подчиним выход объекта управления на это многообразие вспомогательному критерию (5.3), экстремаль которого согласно (5.4) удовлетворяет дифференциальному уравнению $T_1\dot{\Psi}_1 + \Psi_1 = 0$. Решив это уравнение с учетом уравнений объекта (5) относительно управляющего воздействия u , получим оптимальный закон управления (6). Недостатком закона управления (6), полученного по методу АКАР или иным аналитическим путем, является зависимость в явном виде от значений параметров объекта управления, в том числе от значения не доопределенного параметра ε .

Используем для поиска управления (6) МНС. Для данной задачи функция обобщенной ошибки примет вид

$$x_2 + \frac{p}{T_1} x_1 + \left(p + \frac{1}{T_1} \right) x_2 = 0. \quad (7)$$

Раскрывая выражение (7) в соответствии с уравнениями объекта управления (5), получаем аналог уравнения (3). Пусть параметры нейросети выбраны такими же, как и в предыдущих примерах. Значение параметра $\varepsilon \in \Omega_\varepsilon$ выберем изменяющимся в процессе моделирования по синусоидальному закону: $\varepsilon(t) = 0,75 + 0,25\sin(t)$.

ПРОВЕРКА НА АДЕКВАТНОСТЬ

Хорошее совпадение управляющих воздействий на существенном интервале времени говорит об эффективности нейросетевой системы управления, ее адаптивности, проявляющейся в нечувствительности к возмущению параметра $\varepsilon(t) = 0,75 + 0,25\sin(t)$.

ВЫВОД О ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ

В работе представлена методика синтеза адаптивной нейросетевой системы управления объектом. Однако эта методика не является единственной методикой расчета параметров адаптивной системы управления электроприводом - существует также множество других способов, таких как:

- рекурсивный метод наименьших квадратов (RLS);
- переменный во времени рекурсивный метод (TRLS);
- расширенный рекурсивный метод (RELS);
- рекурсивный метод со вспомогательной переменной (RIV).

На практике, применительно к управлению приводами, оправдали себя следующие комбинации приведенных выше методов:

- При сильно меняющихся параметрах процесса целесообразно объединение метода LS в фазе разгона с алгоритмом TRLS в рабочей фазе.

- При достаточно постоянных к началу оценки известных параметрах процесса целесообразно в фазе разгона использовать метод RIV, а в рабочей фазе — метод RLS. Момент переключения не должен совпадать с окончанием разгона, и его следует выбирать таким, чтобы метод RIV обеспечил надежные результаты.

- Постоянные к началу процесса неизвестные параметры оцениваются вызовом LS-метода для периода разгона и RELS для нормального режима работы. Эта же процедура используется и при возникновении нарушений в измерительных сигналах.

Черных Виктор Александрович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Аспирант, старший преподаватель

Адрес: г. Губкин, ул. Фрунзе д.12 кв.65

Тел.: (47241)21316,

E-mail: blackviktor@bk.ru

Корсунов Николай Иванович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Доктор технических наук, профессор

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА – ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ БАЗИС ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ КУЛЬТУРЫ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА, РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Рассматривается теоретическая информатика, как фундаментальный базис формирования информационной культуры современного общества, которое сегодня является информационным, а также развитие информационной науки и новых информационных технологий. Важным практическим инструментарием в реализации такого формирования и развития является предложенная частная концепция единой учебной дисциплины «Теоретическая информатика», входящей в естественнонаучный блок дисциплин современных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования для ряда технических и других специальностей, основным объектом деятельности которых является информация, обрабатываемая в информационных системах различных классов.

The concept of theoretical computer science formation and development, as fundamental basis of information culture of a modern society which today is information formation, and also developments of an information science and new information technologies is considered in article. The important practical toolkit in realization of such formation and development is the offered private concept of a uniform subject matter of "Theoretical computer science", entering in the natural-science block of disciplines of modern state educational standards of the maximum vocational training for some technical and other specialities, basic which object of activity is the information processable in information systems of various classes.

Концепция формирования и развития содержания теоретической информатики основана на выявлении закономерностей в теоретической и практической областях информатики, информатизации, комплексной защиты информации, безопасности информации и информационной безопасности систем и процессов, которые являются неотъемлемой частью всех сфер и видов деятельности личности, общества и государства, и в целом оказывают влияние на формирование и развитие информационной культуры современного информационного общества.

Формирование содержания искомого понятия «информационная культура» (ИК) и ее других составляющих, в том числе и «информационная культура преподавания» (ИКП), неразрывно связаны с особенностями, характерными признаками, развитием и становлением информационного общества (ИО), которое различными учеными и специалистами рассматривается как общество знаний, постиндустриальное общество, информационная сфера (ИСф), общество, представляющее результат третьей, информационной революции (по Тоффлеру; как известно первые две – это аграрная и индустриальная).

С учетом известного содержания базового понятия «культура» (определение 1), ИО (определение 2), а также его признаков (таблица 1) очевидно, что содержание нового, ИО, представляет новую качественную ступень развития и уровень развития цивилизации, новую, в широком смысле, информационную культуру (определение 3), содержание которой фактически адекватно базовому понятию культуры (определение 1).

Определение 1. Культура (Cultura – возделывание воспитание образование развитие) – исторически определенный уровень развития общества, творческих сил и способностей человека, выраженный в типах и формах организации жизни, деятельности людей, их взаимоотношениях, в создаваемых ими материальных и духовных ценностях

Определение 2. Информационное общество – концепция постиндустриального общества; новая историческая фаза развития цивилизации, в которой главными продуктами производства являются информация и знания.

Определение 3. Информационная культура (Information culture) - способность общества:

- эффективно использовать информационные ресурсы и средства информационных коммуникаций;
- применять передовые достижения в области развития средств информатизации, информационных телекоммуникационных технологий.

Возникновение и развитие такого ИО и его информационной культуры неразрывно связано с пониманием содержания и фундаментальной роли в нем основного объекта – информации, который является центральным понятием постоянно развивающейся теоретической и прикладной информатики. Ее содержание является предметом активных научных исследований и использования во всех сферах и видах деятельности личности, общества, государства, его эргатических системах, в том числе научной и образовательной сферах.

Таблица 1 – Отличительные признаки информационного общества

Признак	Содержание признака
1	Наличие информационного взрыва, представляющего увеличение потока информации (I) в зависимости от времени (T) развития цивилизации, по закону $I \equiv e^T$
2	Увеличение роли информации и знаний во всех сферах и видах деятельности личности, общества и государства
3	Возрастание доли информационных коммуникаций, продуктов и услуг в валовом внутреннем продукте и, в целом, материально-энергетическом производстве, всех сферах и видах деятельности личности общества и государства
4	Создание глобального информационного пространства, обеспечивающего: - эффективное информационное взаимодействие людей; - их доступ к мировым информационным ресурсам; - удовлетворение их потребностей в информационных продуктах и услугах (ИР, ИР)
5	Изобилие информации (полнота)
6	Высокое качество информации, в том числе обеспечение таких ее свойств, как своевременность, безопасность, достоверность, релевантность, других
7	Наличие развитых информационных технологий хранения, распределения, использования информации
8	Быстрое распределение информации пользователям, наличие эффективных информационных телекоммуникационных систем (ИТКС), обеспечивающих заданные качества информации
9	Выдача информации в привычной, доступной для понимания форме
10	Минимальная стоимость информации, информационных ресурсов и продуктов, обеспечивающая максимальную доступность их каждому члену общества

В силу этого, формирование ИК можно рассматривать через призму содержания теоретической информатики, ее фундаментальных основ, для которых центральным понятием является один и тот же объект заданного качества – *информация*.

С учетом известной информационной природы материально-энергетического мира и кибернетического подхода к рассмотрению сущности информации, как меры деятельности, управления, развития, совершенствования этого мира, становится возможным представить процесс формирования ИК, как процесс переноса законов наследственности качественных свойств информации, информационных систем и методов управления ими, а также

использовать аксиомы, постулаты, гипотезы информатики, имеющие общие утверждения для формирования содержания ИК.

Так, предложенная концепция формирования теоретической информатики, как естественнонаучного базиса для подготовки специалистов информационной сферы, основана на необходимости развития содержания естественнонаучной дисциплины информатики, как единой учебной дисциплины, входящей в естественнонаучный блок дисциплин современных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования для ряда технических специальностей, объектом которых являются информационные системы (ИС) различных классов, в том числе информационные ИТКС, АСОИУ, информационно-вычислительные системы (ИВС), системы обеспечения информационной безопасности (СИБ), другие технические средства обработки информации (ТСОИ), являющиеся материальной основой современных систем управления (СУ).

С учетом этого, предлагаемое содержание концепции формирования ИК связано с разработкой и развитием теоретической информатики, как фундаментального теоретического базиса, позволяющего специалистам системно решать проблемы и задачи информационной сферы (ИСф), лежащие в плоскости векторов, отражающих знания об основном объекте информатики – информации и знания о технологиях ее обработки в условиях широкого использования новых информационных технологий (НИТ), рисунок 1.

ОБЛАСТЬ ПРОБЛЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ СФЕРЫ

Informatique → Information ⊕ automatique

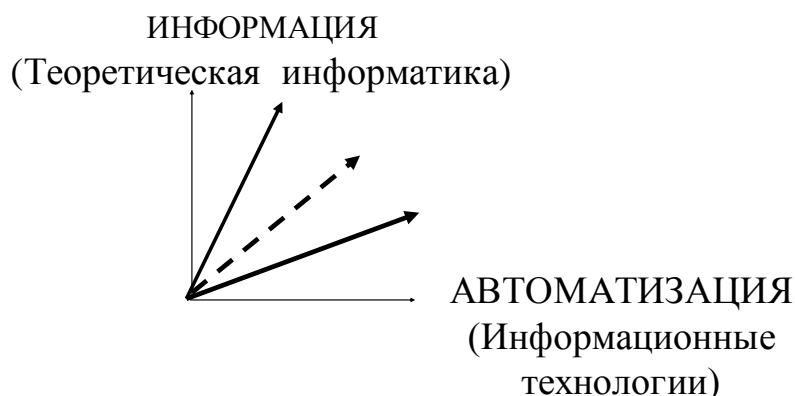


Рисунок 1 – Область проблем и задач информационной сферы

При этом формирование содержания теоретической информатики обусловлено рядом закономерностей в теоретической и практической области информатики, информатизации, комплексной защиты информации (КЗИ), безопасности информации (БИ) и информационной безопасности (ИБ) систем и процессов [1, 2, 3], рисунки 2, 3.

С учетом рассмотренных положений разработка содержания теоретической информатики может осуществляться как направление сформировавшихся фундаментальных основ информатики, которые связаны:

1) с раскрытием неоднозначной сущности и природы возникновения феномена информации;

2) неоднозначностью оценки степени влияния информации на жизнь общества, человека и отдельной личности, на автоматизацию процессов ее обработки, на формирование нового информационного общества и бурное развитие материально-энергетической базы мирового сообщества.

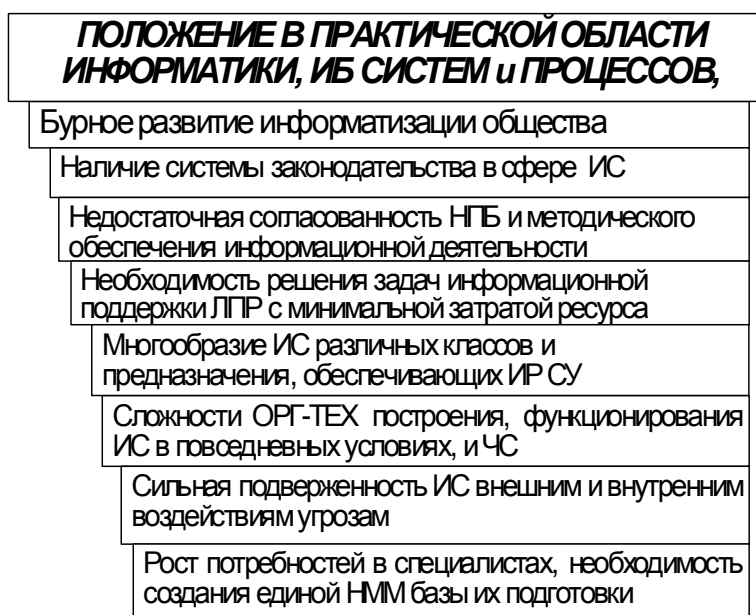


Рисунок 2 – Положения практической сферы информатики



Рисунок 3 – Положение в теоретической области информатики

С учетом рассмотренных факторов и принципов (рисунки 2, 3) формируются содержание понятия, цели и задачи теоретической информатики, представляющей интегрированную *систему* взглядов, идей, *знаний (Зн)* в информационной сфере:

характеризующую логическую зависимость элементов этой сферы, дающую целостное представление о содержании феномена информации *i* в ИС, закономерностях их создания, существования, развития, существенных связях с другими отраслями знаний;

формирующуюся по определенным методологическим правилам на основе некоторой совокупности утверждений, суждений, понятий, опыта практического решения задач обработки информации;

определяющую направления совершенствования и повышения эффективности практики обработки информации, обеспечивающей заданный уровень ее качества.

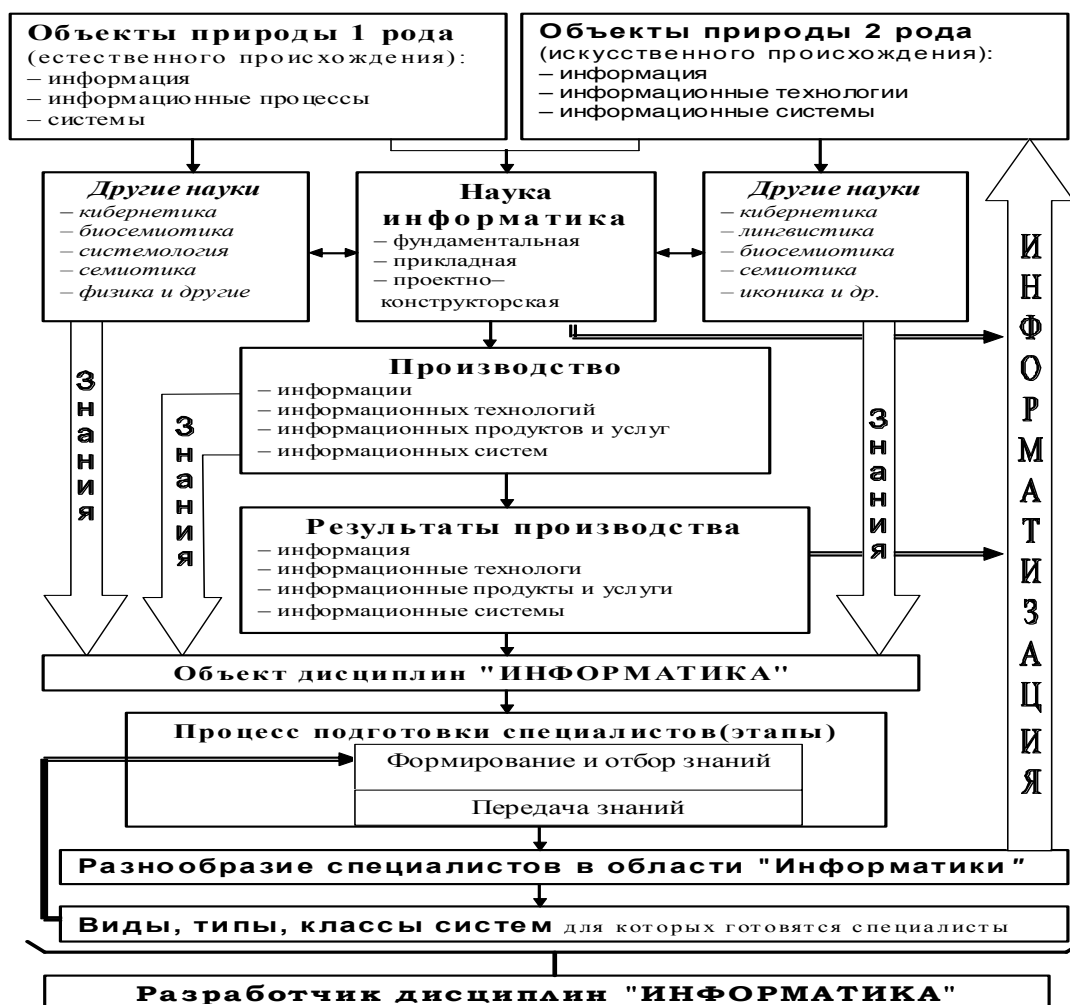


Рисунок 4 – Логическая схема формирования содержания объекта теоретической информатики

С учетом уточненных целей, задач, функций и ряда утверждений информатики [1, 2, 3], (определения 4, 5, 6) разработана логическая схема формирования содержания объекта теоретической информатики, рисунок 4, а также выделены ряд первоочередных направлений развития информационной науки, рисунок 4.

Определение 4. Теоретическая информатика:

- интегрированная система взглядов, идей, знаний в информационной сфере;
- одна из фундаментальных областей научного знания, формирующая системно-информационный подход к анализу окружающего мира, изучающая информационные процессы, методы, средства получения, преобразования, передачи, хранения, использования информации и связанная с использованием НИТ;

Определение 5. Теоретическая информатика – одна из фундаментальных областей науки, интегрированная система взглядов, идей, знаний в информационной сфере:

- характеризующая логическую зависимость элементов этой сферы;
- дающая целостное представление о содержании феномена информации и ИС, закономерностях их создания, существования, развития, существенных связях с другими отраслями знаний;

- создаваемая по определенным методологическим правилам на основе некоторой совокупности утверждений, суждений, понятий, опыта практического решения задач обработки информации;

- формирующая системно-информационный подход к анализу окружающего мира;
- изучающая информационные процессы, методы и средства получения, преобразования, передачи, хранения и использования информации, связанные с использованием НИТ;

– определяющая направления совершенствования и повышения эффективности практики обработки информации, обеспечивающей заданный уровень ее качества.

Определение 6. Цели (задачи) теоретической информатики:

– формирование полных и адекватных сведений о происхождении, сущности и развитии проблем обработки информации и обеспечения ее качества;

– полное и адекватное отображение структуры и содержания взаимосвязей с различными областями знаний;

– накопление и систематизация опыта исследований, разработок и практического решения задач обработки информации;

– определение, выбор направлений эффективного решения задач обеспечения качества информации и предоставление для этого научно-методологических и инструментальных средств;

– формирование научно обоснованных перспективных направлений развития фундаментальных и прикладных основ информатики.

Предложен вариант практического инструментария в виде сформированного содержания учебной дисциплины информатики, которая включает фундаментальные знания, составляющие методологический базис, лежащий в основе подготовки специалистов ИСф и ее видов деятельности, и прикладной базис. Фундаментальность подготовки включает достаточную общность понятий и конструкций информатики, обеспечивающих широкий спектр их применимости, точность формулировок свойств изучаемых информационных объектов, логическую строгость изложения материала, а также глубокую семантическую содержательность теоретических основ информатики.

Содержание разрабатываемой информатики должно обеспечивать формирование знаний ИСф, основу которой составляют интегрированные с НИТ информационные системы эргатического типа (социотехнические системы - СТС), формирующие информационные отношения в развивающемся информационном обществе, а также обеспечивать успешное изучение общепрофессиональных и специальных дисциплин.

С учетом этого предложен вариант структуры содержания информатики, включающей разделы: "Информатика – учебная и научная дисциплина: понятийный базис, концепции, взгляды, направления, проблемы, перспективы развития", "Информация – объект информатики и информационной безопасности", "Математические основы представления информации в цифровых автоматах: двоичная арифметика", "Информационные процессы в информационных системах", "Алгоритмы, программирование и программные средства информационных технологий", "Технические средства информационных систем и технологий", "Основные положения систем с базами данных", "Основы оперативной обработки информации на персональной ЭВМ", "Информационная безопасность информационных систем".

Формирование информационной грамотности в процессе изучения предложенного содержания информатики обеспечивает, в свою очередь, создание практического инструментария для формирования информационной культуры и предполагает:

– выбор оптимальных способов обращения со знаками, моделями, данными, информацией при решении теоретических и практических задач;

– реализацию механизмов развития НИТ обработки информации;

– развитие системы обучения эффективного использования НИТ, ИТКС;

– расширение направлений формирования информационной грамотности в ходе процесса обучения;

– обеспечение процесса глубокого и сознательного овладения обучаемыми знаниями теоретической и практической информатики, процессов обработки информации;

– раскрытие фундаментальной роли информатики в формировании современной естественнонаучной картины мира, значения НИТ в развитии ИО;

– привитие обучаемым навыков осознанного и рационального использования НИТ, ИС, ИР в учебном процессе и профессиональной деятельности по предназначению.

При этом необходимо отличать содержание и особенности информационной культуры и информационной грамотности (определения 6, 7).

Определение 6. Информационная грамотность – предполагает умение работать с НИТ как со средством ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ.

Определение 7. Информационная культура – предполагает умение работать с самой информацией, структурировать её, выделять значимое, анализировать информацию с целью создания НОВОЙ ИНФОРМАЦИИ, НОВЫХ ЗНАНИЙ.

При формировании ИК важное место, безусловно, отводится образовательному и научному сообществу, направлениями деятельности членов которого являются:

- 1) формирование фундаментальных, теоретических основ информатики;
- 2) привитие умений: производить, представить информацию заданного качества в любой форме с учетом ее целевого предназначения; владения способами уточнения содержания информации, ее сравнения, описания, определения, характеристик; соблюдать логическую последовательность в рассуждениях при предъявлении информации; владения способами аргументации дополнительной информации для подтверждения истинности уже имеющейся информации; определения объема и содержания необходимых источников информации для решения поставленной задачи; умения осуществлять поиск информации в различных ИС; однозначной формулировки целей обработки информации; выделять центральные понятия любого текста (устного, письменного), несущие наиболее важную информацию; определять контекст, в котором находится информация; сформулировать ведущую идею, замысел, мысль в тексте, высказывании; сжимать информацию, формируя вторичные ее источники; отделять факт от мнения, отстаивать позиции автора; вычленять определенные направления в ряде различных источников информации; оценивать свойства полученной информации; преобразовывать различные форматы представления информации (визуальные, графические, текстовые, символические и другие виды) и др.

С учетом этих направлений важными условиями формирования содержания ИК личности и общества является обеспечение следующих требований:

1) сфера ИК должна включать культуру работы с информацией, охватывающей все сферы, виды и формы деятельности личности общества и государства, в том числе субъектов системы образования и науки;

2) целями ИК должно быть обеспечение эффективного динамичного всестороннего, творческого развития личности, общества и государства, в том числе научного и образовательного сообщества как в целом, так и состоящего из групповых и индивидуальных пользователей информации.

С учетом этого, содержание информационной культуры современного общества можно представить – совокупностью информационного мировоззрения, системы знаний и умений, обеспечивающих деятельность общества по оптимальному удовлетворению его информационных потребностей в информационных услугах и продуктах с использованием как традиционных, так и НИТ в целях эффективного и свободного развития личности и общества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фисун, А.П. Теоретические основы информатики и информационная безопасности [Текст]: монография / А.П. Фисун, В.А. Минаев, В.Н. Саблин, Е.Г. Геннадиева и др. – М.: Радио и связь, 2000. – 468 с.
2. Фисун, А.П. Роль и место теоретических основ информатики и ИБ личности, общества и государства в системе подготовки специалистов гуманитарной и социально-экономической сфер деятельности [Текст] / А.П. Фисун // Материалы НПК межвузовской конференции 11-13 апреля 2002 года. – Орел, ОФСГИ, 2002. С.1–8
3. Фисун, А.П. Новая модель подготовки специалиста в сфере информационной безопасности [Текст] / А.П. Фисун // Вестник РАЕН «Безопасность: от науки к практике», № 3, том 4, 2004.

Фисун Александр Павлович

Доктор технических наук, академик РАЕН,
Профессор кафедры административного и финансового права,
Орловская региональная академия государственной службы, г. Орел
E-mail: fisun@orel.ru, fisun01@pisem.net

Л.И. КОЛТУНОВ, А.Н. ПОТАПЕНКО, А.В. БЕЛОУСОВ

СТРУКТУРА И ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ И ИОНИЗАЦИИ ВОЗДУХА

В работе представлены структура и особенности комплекса программных средств для численного моделирования электростатических систем с возможностью определения рациональных или квазиоптимальных параметров этих систем. Разработанные программные средства реализуют комплексный подход при проектировании различного типа электростатических систем на основе определения полной картины исследуемого поля (распределения потенциала, электрической функции потока поля и напряженности электростатического поля) и расчета максимальной эффективной площади ионизации.

The paper presents the structure and features of the software complex for numerical modeling of electrostatic systems with the possibility to determine the efficient and quasi-optimal system parameters. The software we developed features the complex approach to designing various types of electrostatic systems based on determining the complete picture of the researched field (potential distribution, electric flux function and electric field intensity) and calculating the maximum effective ionization area.

В настоящее время интенсивно развиваются электростатические системы, использующие различные эффекты электростатической очистки, ионизации и озонирования воздуха с возможностью одновременного применения дополнительных технологий по удалению запахов в процессе обработки воздуха. Основное развитие электростатических систем происходило по нескольким направлениям. Первое направление было основано на открытии эффекта ионизации воздуха и связано с развитием простейших электростатических систем в виде «люстр Чижевского» для генерации отрицательных аэроионов [1]. Второе направление возникло в связи с созданием электрофильтров для систем пылеулавливания и очистки газов на основе зарядки частиц в высоковольтном электрическом поле в виде однозонных и двухзонных электростатических систем. При этом электрофильтры для очистки дымовых и других запыленных газов энергетических и технологических объектов промышленного назначения, как правило, однозонные [2], тогда как в системах вентиляции и кондиционирования получили распространение двухзонные электрофильтры [3]. Третье направление появилось в результате объединения нескольких эффектов, связанных с электростатической очисткой, ионизацией и озонированием воздуха, что привело к развитию современных воздухоочистителей-ионизаторов [4]. Это направление возникло в конце XX столетия практически одновременно в нескольких высокоразвитых странах и получило развитие в виде воздухоочистителей-ионизаторов для различных сфер применения: персонального использования (например, модель XJ-888 фирмы AirComfort, Италия); для транспорта (например, модель CP-3 фирмы Chung Pung, Южная Корея); для жилых домов и офисов (например, модели CV-N63CX фирмы Sharp, Япония и XJ 3500 фирмы AirComfort, Италия); для промышленных предприятий (модель Eagle 5000 американской компании «EcoQuest International»); для встраивания в системы вентиляции и кондиционирования (модель DuctwoRx компании «EcoQuest International») и др. Интенсивное развитие электростатических систем связано с защитой окружающей среды и заботой о здоровье человека, особенно в условиях крупных городов и мегаполисов с учетом сложной экологической обстановки в них.

В [5-7] были разработаны оценка степени ионизации воздуха электростатическими системами для процессов фильтрации и ионизации воздуха, основа математического аппарата и методика компьютерного моделирования этих систем с возможностью определения максимальной эффективной площади ионизации и с учетом скорости воздушных потоков в межэлектродных пространствах этих систем. Проведенные исследования на разработанной базе позволили выявить основные зависимости, необходимые для проектирования электростатических систем, с учетом краевых эффектов камер и принципа суперпозиции полей при применении многокамерных блоков, а также определить основные соотношения рациональных параметров этих систем, позволяющих без увеличения высоковольтного потенциала на коронирующих электродах существенно повысить их эффективность.

1 СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И УСТРОЙСТВ

Существует достаточно большое количество стандартного программного обеспечения для решения краевых задач с дифференциальными уравнениями в частных производных (MatLab, ELCUT, FemLab, ROSTWERK и др.). Однако применение стандартного программного обеспечения существенно ограничено для решения краевых задач, связанных с исследованиями электростатических систем для фильтрации и ионизации воздуха. На основе математического моделирования электростатических систем для процессов фильтрации и ионизации воздуха были разработаны алгоритмы и структура комплекса программ для численного расчета этих типов электростатических систем с учетом адаптированного метода конечных разностей. Разработанные программы объединены в один программный комплекс под общим названием «ЭлектроСтат» в виде структуры, показанный на рисунке 1.

Комплекс программных средств численного моделирования электростатических систем и устройств (КПС «ЭлектроСтат») состоит из следующего набора программ:

1. Программа моделирования процессов, описываемых уравнениями эллиптического типа («ИМПУЛЬС»).
2. Программа расчета эмпирического коэффициента с учетом применения экстраполяционного метода Либмана («ЭлектроСтат Коэффициент»).
3. Программа определения эффективного значения площади ионизации F_e^* исследуемых систем на основе вычислительного эксперимента («ЭлектроСтат Площадь»).
4. Программа определения квазиоптимальных параметров электростатических систем процессов фильтрации и ионизации воздуха («ЭлектроСтат Квазиоптимум»).
5. Программа определения рациональных параметров электростатических систем для фильтрации и ионизации воздуха («ЭлектроСтат Рационал»).

За основу комплекса программных средств «ЭлектроСтат» принята программа моделирования «ИМПУЛЬС» (свидетельство №980135), предназначенная для расчета каналов пробоя между электродами в камерах электрогидравлических установок, а также в других устройствах и системах. При этом в качестве языка программирования в программе «ИМПУЛЬС» был использован объектно-ориентированный язык Си++ с учетом реализации методологии объектно-ориентированного проектирования.

Программа «ИМПУЛЬС» в данном комплексе программных средств используется для создания геометрических конфигураций моделируемых электростатических устройств и для расчета уравнений эллиптического типа [8, 9]. При этом построенные геометрические конфигурации этих систем сохраняются в специально разработанном формате и в дальнейшем загружаются в других программах КПС «ЭлектроСтат».



Рисунок 1 – Структура комплекса программных средств численного моделирования электростатических систем «ЭлектроСтат»

2 ОСОБЕННОСТИ КПС «ЭЛЕКТРОСТАТ» ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И УСТРОЙСТВ

Программа «ЭлектроСтат Коэффициент» предназначена для определения рационального коэффициента α , используемого при численных расчетах уравнений эллиптического типа с помощью экстраполяционного метода Либмана, для существенного ускорения итерационных процессов. При этом за основу вычислений принят экстраполяционный метод Либмана, который широко применяется в прикладных задачах электротехники и имеет определенные преимущества в сравнении с другими итерационными методами [10]. Эта программа получает исходные данные для расчета из основного файла, подготовленного в программе «ИМПУЛЬС», в виде следующих схем:

- модель для численного определения поля электрического потенциала электростатических систем и устройств;
- модель для численного расчета электрической функции потока напряженности поля электростатических систем и устройств.

С учетом типа исследуемой системы проводятся следующие вычислительные эксперименты на основе применения экстраполяционного метода Либмана, связанные с изменением эмпирического коэффициента α от 1 до 2 с заданным шагом, для определения рационального коэффициента α с учетом конкретной схемы математического моделирования:

- 1) расчет поля электрического потенциала с учетом исследуемой модели;
- 2) расчет электрической функции потока напряженности поля с учетом исследуемой модели;
- 3) определение полной картины электростатической системы с учетом распределения эквипотенциальных поверхностей электростатического поля с шагом $\Delta\varphi^*$,

поверхностей равных напряженностей электростатического поля с шагом ΔE^* и силовых поверхностей потока напряженности поля с шагом $\Delta \chi^*$.

После выполнения расчетов с учетом программы «ЭлектроСтат Коэффициент» программа моделирования «ИМПУЛЬС» выводит следующие картины полей: эквипотенциальных поверхностей электростатического поля с шагом $\Delta \varphi^*$, поверхностей равных напряженностей электростатического поля с шагом ΔE^* и силовых поверхностей потока напряженности поля с шагом $\Delta \chi^*$ с учетом вычисленного коэффициента α , позволяющего выполнить расчеты по 2-м моделям за минимальное количество итераций.

Программа «ЭлектроСтат Площадь» предназначена для определения максимальной эффективной площади ионизации, одной из основных характеристик, необходимых при проектировании различного типа электростатических систем и устройств. При этом эффективная площадь ионизации F_e в отличие от [6] определяется следующим образом. Вычисляется электрическая функция потока напряженности поля для электростатических систем и поле распределения функции χ . На основе полученных результатов рассчитывается распределение силовых поверхностей потока напряженности поля с заданным шагом $\Delta \chi$. Определяется область $B_m(x,y)$ с величиной E_{max} , ограниченная 2-мя силовыми поверхностями потока напряженности поля (E_{max} вычисляется на основе поля потенциала φ). Затем с учетом области $B_m(x,y)$ выбирается относительно этой области соответствующее количество силовых поверхностей потока напряженности поля (от 4 до 8 силовых поверхностей) с учетом шага $\Delta \chi$, причем фиксированного при исследованиях этих объектов. В новой выделенной области $B_k(x,y)$, ограниченной силовыми поверхностями потока напряженности поля (от $\chi_1 = \text{const}$ до $\chi_k = \text{const}$), вычисляется эффективное значение площади ионизации F_e с учетом расчета поля потенциала φ и соответственно распределения поверхностей равных напряженностей поля с шагом ΔE . Эта программа также получает данные для расчета из файла, подготовленного в программе «ИМПУЛЬС», в виде двух схем, применявшихся ранее в программе «ЭлектроСтат Коэффициент». После выполнения расчетов с учетом программы «ЭлектроСтат Площадь» программа «ИМПУЛЬС» выводит данные для моделируемого типа электростатической системы, например, в виде, как на рисунке 2, с учетом эквипотенциальных поверхностей и равных напряженностей поля.

Программа «ЭлектроСтат Квазиоптимум» предназначена для определения квазиоптимальных параметров электростатических систем и устройств для фильтрации и ионизации воздуха. Программа также представлена отдельным исполняемым модулем, который получает данные для расчета из файла, подготовленного в программе «ИМПУЛЬС», в виде двух схем с возможностью изменения параметров конкретного электростатического устройства для процессов фильтрации и ионизации воздуха. При этом расчет проводится следующим образом:

1) определяется максимум эффективной площади ионизации $F_{e(m)}$ при изменениях соотношений размеров длин пластинчатых электродов к расстоянию между этими электродами в камерах, в которых расположены коронирующие электроды, а также с учетом возможного изменения положения коронирующего электрода в камере, причем с учетом некоторого соотношения потенциалов исследуемой электростатической системы;

2) для многокамерных электростатических систем корректируется вычисленный максимум эффективной площади ионизации $F_{e(m)}^*$ с учетом изменения зазоров между камерами и расстояний между плоскими электродами в осадительной камере (эти размеры определяются соответствующим количеством электродов в этой камере);

3) дополнительно корректируется вычисленный максимум эффективной площади ионизации $F_{e(m)}^*$ с учетом изменения соотношения потенциалов исследуемой системы или устройства;

4) уточняются допустимые параметры структуры межэлектродного пространства электростатической системы с учетом известных характеристик в виде «ионного ветра».

Последний пункт учитывает особенности протекающих процессов в исследуемых электростатических системах. В случае применения принудительной вентиляции в отличие от «ионного ветра», тогда на основе данных о скорости газо-воздушного потока оценивается время нахождения частиц в ионизационной камере межэлектродной системы

электростатического устройства с учетом определенного значения эффективной площади ионизации F_e^* , т.е. уточняется допустимая длина L_1 электродов электростатического устройства с учетом определения, достаточно или нет время нахождения частиц в ионизационной камере электростатического устройства для их зарядки.

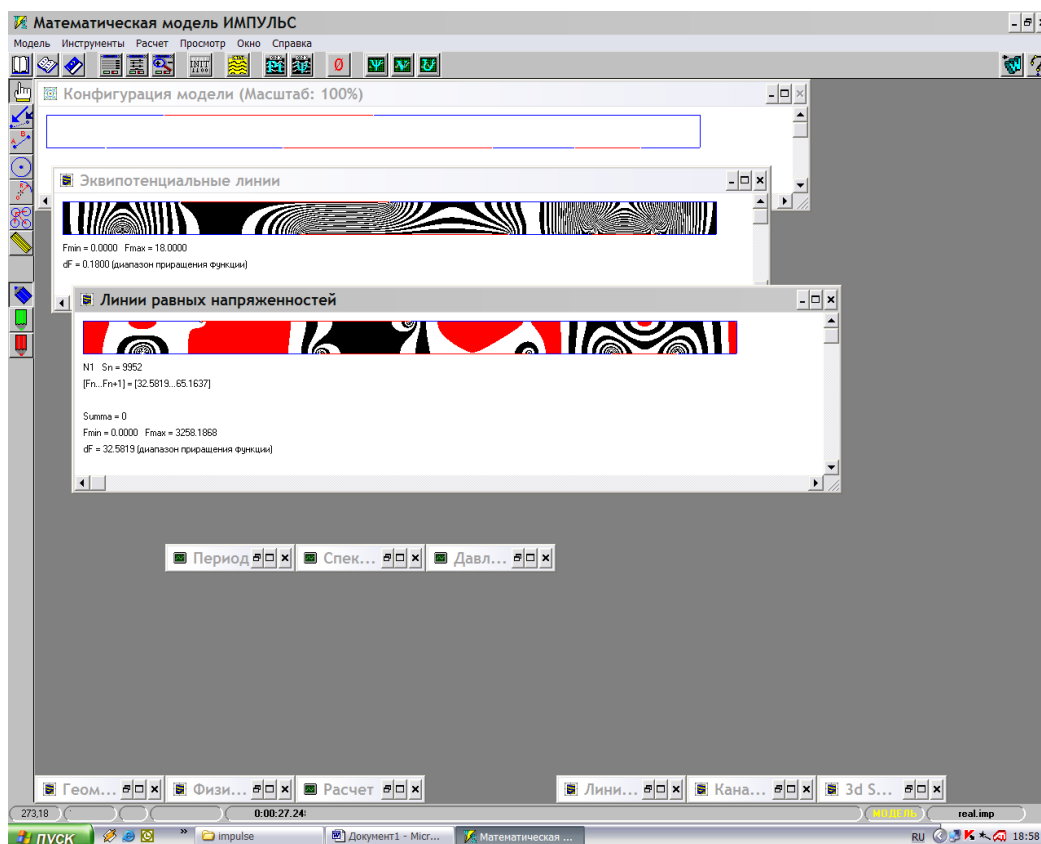


Рисунок 2 – Пример возможности вывода данных для воздухоочистителей-ионизаторов многокамерного типа

После выполнения расчетов с учетом программы «ЭлектроСтат Квазиоптимум» программа «ИМПУЛЬС» выводит данные, аналогичные предыдущим программам с учетом вычисленного значения максимальной эффективной площади ионизации F_e^* для моделируемого типа электростатической системы.

Программа «ЭлектроСтат Рационал» применяется для определения рациональных параметров электростатических систем в случае, если достаточно этих параметров для проектирования этого типа систем. Программа также представлена отдельным исполняемым модулем, который получает данные для расчета из файла, подготовленного в программе «ИМПУЛЬС», также эта программа осуществляет вывод данных, аналогичных предыдущим программам. При этом под рациональной структурой электростатических систем (однокамерных или многокамерных) понимается структура, позволяющая получить максимальное эффективное значение площади ионизации как при определенных соотношения размеров этих систем, так и при соответствующем расположении коронирующих электродов.

В заключение необходимо отметить, что разработанные программные средства под общим названием «ЭлектроСтат» позволяют реализовать комплексный подход для проектирования различного типа электростатических систем и устройств на основе определения полной картины исследуемого поля с учетом построения распределения эквипотенциальных поверхностей электростатического поля, силовых поверхностей потока напряженности поля и поверхностей равных напряженностей электростатического поля, а также определения максимальной эффективной площади ионизации. На основе применения этого подхода возможно определение рациональных или квазиоптимальных параметров

электростатических систем и устройств для процессов фильтрации и ионизации воздуха, которые в настоящее время определяются эмпирическим способом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чижевский, А.Л. Проблемы аэроионизации в народном хозяйстве [Текст] / А.Л. Чижевский. – М.: Госпланиздат, 1960, 750 с.
2. Очистка промышленных газов от пыли [Текст] / В.Н. Ужов, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков, И.К. Решидов. – М.: Химия, 1981. – 392 с.
3. Патент №2145910 (Россия). Двухзонный электрофильтр для очистки газов [Текст] / А.Е. Гоник, Н.Н. Жуков, А.Н. Потапенко, А.В. Белоусов, А.И. Штифанов – Оpubл. в Бюл. №6, 2000 г.
4. Коззи, К. Автономные воздухоочистители [Текст] / Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). – 2002. № 5. – С. 56-59.
5. Потапенко, А.Н. Оценка степени ионизации воздуха двухзонными электрофильтрами и особенности автоматизированных систем вентиляции на базе электростатических устройств [Текст] / А.Н. Потапенко, А.В. Белоусов, Л.И. Колтунов// Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2006. – Прил. № 8. – С. 119-126.
6. Основы математического моделирования двухзонных электрофильтров и некоторые особенности их применения в энергоэффективных вентиляционных системах [Текст] /А.Н. Потапенко, А.В. Белоусов, Л.И. Колтунов, Е.А. Потапенко// Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2006. – № 5-6. – С. 69-84.
7. Потапенко, А.Н. Электростатические устройства для процессов фильтрации и особенности их математического моделирования [Текст] / А.Н. Потапенко, Л.И. Колтунов// Вестник БГТУ им В.Г. Шухова. – 2007. – №1 – С. 61-66.
8. Свидетельство №980135 от 26.02.1998 г. (Российского агентства по правовой охране программ и баз данных). Программа для ЭВМ моделирования волновых процессов при детонации газовых смесей и электроразрядах в жидкости (ИМПУЛЬС) / А.И. Штифанов, А.Н. Потапенко. 1998. – 14 с.
9. Штифанов, А.И. Численное моделирование волновых процессов в жидкости при электроразрядах и детонациях газовых смесей [Текст]: дисс. канд. техн. наук: 05.13.16/ Штифанов Андрей Иванович. – БелГТАСМ, Белгород, 1998. – 235 с.
10. Сипайлов, Г.А. Электрические машины (специальный курс) [Текст] / Г.А. Сипайлов, Е.В. Кононенко, К.А. Хорьков – М.: Высш. шк., 1987.– 287 с.

Колтунов Леонид Иванович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Руководитель центра информационных технологий при БГТУ им. В.Г. Шухова
Адрес: 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46
Тел.: (0722) 54-93-10,
E-mail: koltunov@intbel.ru.

Потапенко Анатолий Николаевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры электротехники и автоматики
Адрес: 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46
Тел.: (0722) 30-99-65
E-mail: potapenko@intbel.ru.

Белоусов Александр Владимирович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Кандидат технических наук, доцент кафедры технической кибернетики
Адрес: 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46
Тел.: 8-915-52-27-660
E-mail: ntk@intbel.ru.

Е.П. ДОЛГОВ

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ПРОГРАММНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ АСНИ ПРИВОДА СЦЕПЛЕНИЯ

В статье рассматриваются проблемы, стоящие при проектировании приводов сцепления тракторов. Предлагается использование автоматизированной системы научных исследований для эффективного решения математических и организационных задач. Предлагается структура программного обеспечения автоматизированной системы, использующей математическую модель привода сцепления

In clause the problems costing at designing of drives of coupling of tractors are considered. Use of the automated system of scientific researches for the effective decision of mathematical and organizational problems is offered. The structure of the software of the automated system using mathematical model of a drive of coupling is offered.

Проектирование привода сцепления представляет собой трудоемкий итерационный процесс, в котором особенно важна точность принятия решений. Немаловажным фактором является также и время, затраченное на поиск подходящего технического решения. Вследствие проведения ряда экспериментов время разработки каждого узла значительно увеличивается. Поэтому целесообразным в данном случае является проведение численного моделирования, результаты которого позволят на ранней стадии отказаться от заведомо ошибочных решений.

Программный комплекс проведения численного моделирования в совокупности с экспериментальной установкой образуют автоматизированную систему научных исследований привода сцепления, которая является основным инструментом конструктора.

Привод сцепления трактора представляет собой сложное устройство, состоящее из нескольких укрупненных узлов: собственно привода, состоящего из комплекса фрикционных дисков, системы рычагов и возвратного механизма, гидравлического усилителя и ограничителя привода. Важной характеристикой всех этих деталей является их повышенная изнашиваемость в процессе эксплуатации.

Основными решаемыми задачами соответственно являются повышение износостойкости отдельных узлов и уменьшение энергозатрат оператора по управлению приводом [1]. Задачи эти зачастую являются взаимоисключающими, что и обуславливает сложность принятия технических решений.

Для решения описанных задач применяется математическая модель привода сцепления с гидравлическим усилителем, описываемая последовательными сериями систем дифференциальных уравнений [2]. Состав уравнений каждой такой системы определяется типом сцепления, номером протекающего этапа, а также моделируемым процессом – включением или выключением.

Решение данных систем уравнений позволяет определить положение фрикционных дисков сцепления в любой момент времени. Основываясь на полученных результатах, можно рассчитать действующие на диски нагрузки. Схема определения нагрузок, используемая при численном моделировании, приведена на рисунке 1.

Как видно из приведенной схемы, процедура расчета представляет собой полностью итерационный процесс, легко поддающийся автоматизации. Однако проведение только одной процедуры расчета при заданных параметрах не позволяет сделать вывод об эффективности того или иного решения. Для этого необходимо провести несколько расчетов с различными исходными данными и сравнить их результаты.

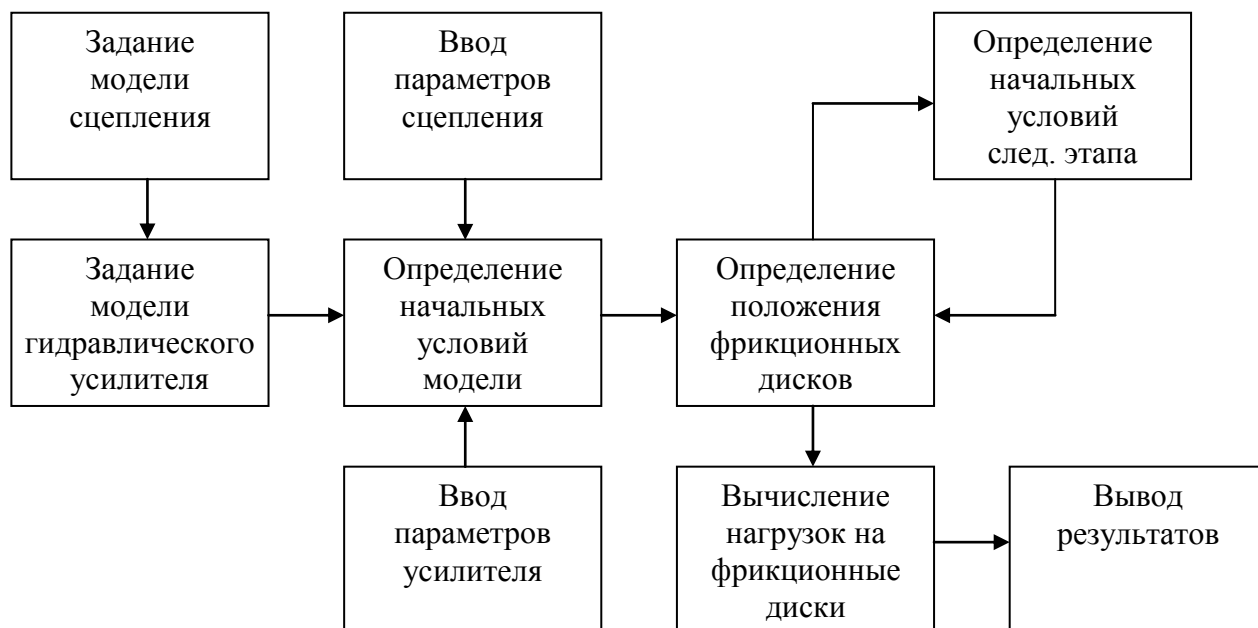


Рисунок 1 – Последовательность действий для вычисления нагрузок на фрикционные диски сцепления

Основываясь на схеме проведения численного моделирования, а также учитывая тот факт, что вычислительный комплекс является составной частью автоматизированной системы проведения научных исследований, для него можно предположить структуру, изображенную на рисунке 2 [3,4].

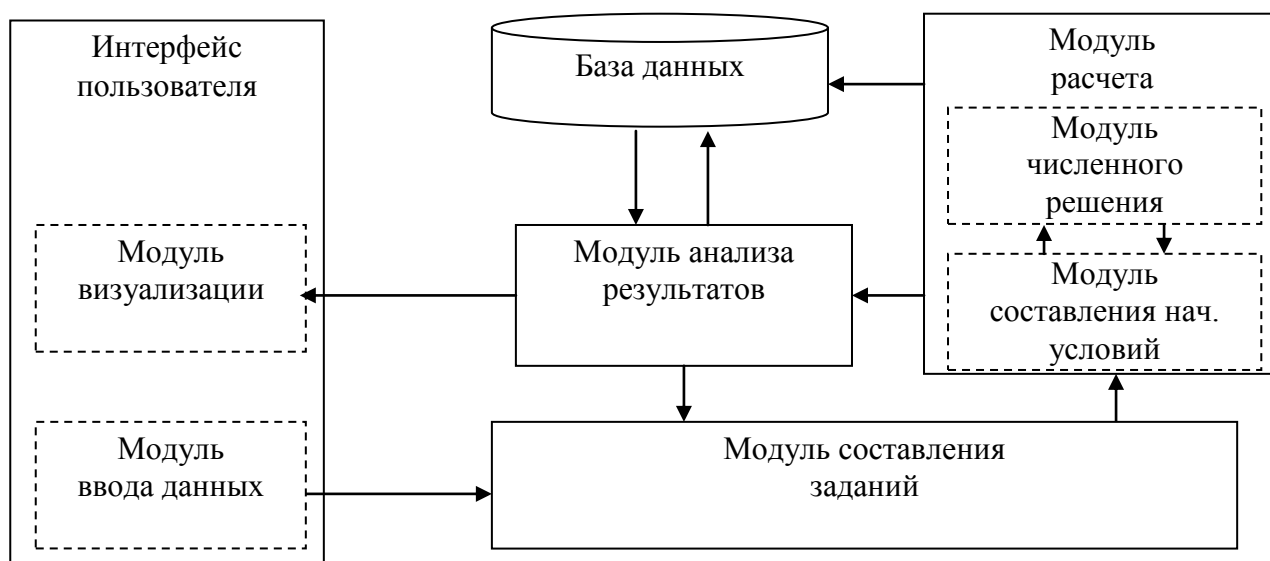


Рисунок 2 – Структура программного комплекса АСНИ

В предложенной структуре обособленно можно выделить подсистему пользовательского интерфейса, а также вычислительную подсистему, состоящую из модуля расчета, базы данных, модуля составления заданий, а также модуля анализа.

Подсистема пользовательского интерфейса предназначена для формирования потоков входных данных, в качестве которых выступают математические модели фрикционного сцепления и гидравлического усилителя, конкретные значения характеристик моделей и их начальные условия, а также параметры для расчета. Формирование этих данных может формироваться как оператором, так и поступать от внешних устройств сбора информации.

Такая схема функционирования позволяет делать выводы о правильности той или иной модели привода сцепления.

Помимо ввода данных и взаимодействия с внешними устройствами подсистема интерфейса ответственна за диалог пользователя. Именно она определяет простоту и эффективность применения вычислительной системы.

Модуль составления заданий выполняет роль транслятора: задачи, поступающие на его вход от пользователя, преобразуются к внутреннему представлению данных и передаются расчетному модулю. Модуль на основе полученных данных разрабатывает схему численного эксперимента, отдельные элементы которого передаются в модуль расчета.

Модуль анализа результатов позволяет решить две важнейшие задачи, стоящие перед конструктором: синтез моделей сцепления и их анализ. На основе получаемых данных, а также на основе накопленного опыта этот модуль позволяет найти оптимальное по какому-либо критерию решение поставленной задачи. Введение данной подсистемы как раз и обуславливает автоматизацию труда проектировщика, существенно сокращая затрачиваемое им время на поиск наилучшего набора параметров из диапазона возможных.

Модуль расчета является довольно специфическим для каждой задачи и определяется математической моделью, описывающей моделируемый процесс или устройство, а также возможными методами решения модели. Возможность составления заданий позволяет конкретизировать задачу, а также указать наиболее подходящий метод решения, отталкиваясь либо от времени расчета, либо от точности получаемых результатов.

Его декомпозиция на два подмодуля обусловлена требованиями предметной области: начальные условия каждой последующей системы уравнений получаются из решения предыдущей.

Еще одним важным компонентом программной системы является информационная база, которая содержит в себе характеристики всех протекающих процессов: используемые математические модели различных узлов, используемые методики расчета, наборы входных и выходных данных. Кроме того, информационная база должна позволять обрабатывать в реальном масштабе времени и хранить экспериментальные данные для верификации предложенных моделей. Только в этом случае предложенная программная система интегрируется в АСНИ привода сцепления.

Предложенная структура программного комплекса позволяет проводить оценки различных параметров привода сцепления. Однако же расширение круга решаемых проблем также легко допускается данной системой за счет основных принципов построения – модульности и расширяемости [4]. Программные компоненты могут быть легко модифицированы и заменены на наиболее подходящие.

С помощью программного обеспечения, построенного по предложенной структуре, были проведены серии вычислительных экспериментов. В качестве примера был использован четырехдисковый привод сцепления трактора Т-130 с различными гидравлическими усилителями (по положению, по усилию, комбинированный). Описывающая его математическая модель имеет девять этапов для процесса включения и семь этапов для процесса выключения привода сцепления.

Особенностью проведения натурных экспериментов с приводом сцепления является очень малый размер зазоров между фрикционными дисками, что накладывает существенный отпечаток на получаемые данные. В эксперименте для оценки качества принимаемых решений используется коэффициент динамичности K_d , равный отношению силы, возникающей в момент резкого включения привода, к силе возвратного механизма.

На рисунке 3 изображены зависимости, полученные в результате проведения численного эксперимента. Эти данные полностью подтверждаются результатами натурального эксперимента, что позволяет говорить об адекватности модели, а также предложенной в программном комплексе методики расчета.

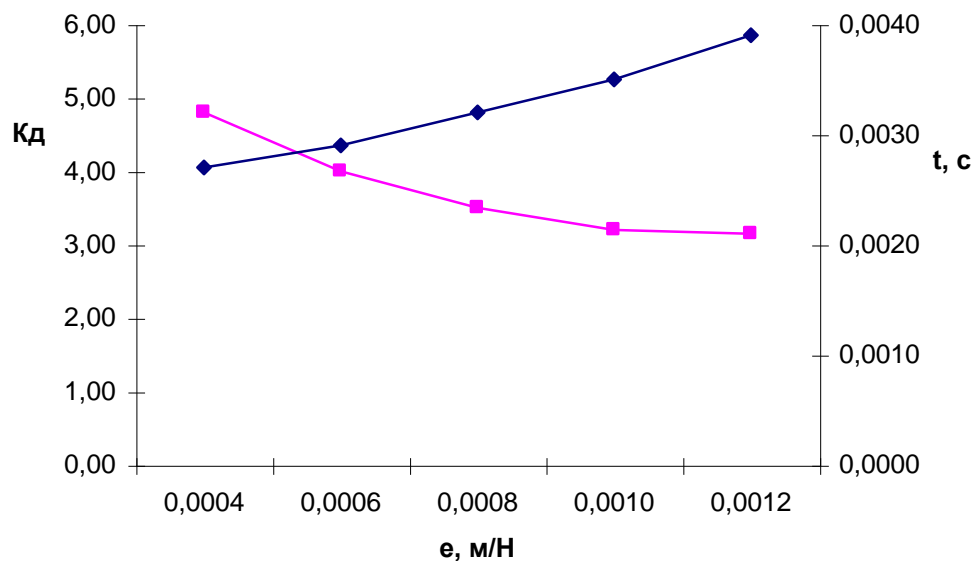


Рисунок 3 – Зависимость значения коэффициента динамичности и времени перемещения нажимного диска от осевой податливости ведомых дисков

Предложенный программный комплекс моделирования фрикционного сцепления с гидравлическим усилителем удовлетворяет выдвигаемым к нему требованиям. Круг решаемых на нем задач всецело охватывает рассмотренную область, что подтверждается результатами проведенных экспериментов. Рассмотренная структура отвечает предъявляемым к АСНИ требованиям и может быть интегрирована в автоматизированную систему

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимов, М.А. Направления снижения энергозатрат оператора при управлении фрикционными узлами трактора [Текст] / М.А. Ефимов, Ю.Н. Рыжов / Энерго- и ресурсосбережение – XXI век. / Материалы Второй международной научно-практической интернет-конференции./ Орловский региональный центр энергосбережения (ОрелРЦЭ). Орел, 2004. – 358 с.
2. Константинов, И.С. Численное моделирование динамических нагрузок в приводе сцепления с гидравлическим усилителем [Текст]/ И.С. Константинов, Е.П. Долгов, Ю.Н. Рыжов / Вестник компьютерных и информационных технологий, №11, 2007. – С.3-8.
3. Египко, В.М. Методология проектирования инструментальных средств поддержки автоматизированных технологий сложных научно-технических экспериментов [Текст] / В.М. Египко, В.П. Зинченко – 18 с. ил. – Киев: ИК, 1991
4. Египко, В.М. Организация и проектирование систем автоматизации научно-технических экспериментов [Текст] / В.М. Египко – Киев: Наук. Думка, 1978 - 232 с. ил.

Долгов Евгений Петрович

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Аспирант кафедры «Информационные системы»

Тел.: + 7(4862)43-26-19

E-mail: dolgov@ostu.ru

МЕТОДИКА ВОЗВРАТА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ В РЕЖИМ ШТАТНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОСЛЕ НАРУШЕНИЯ РАБОТЫ ЕЕ КОМПОНЕНТОВ

В процессе работы вычислительной сети могут возникать нарушения функционирования сетевых устройств. В статье описана методика локализации проблемы функционирования вычислительной сети и поиска обоснованного комплекса организационно-технических мероприятий, способных вернуть сеть в режим штатного функционирования.

During the work of computational network the disturbances of the functioning of net devices can appear. In the article describes the procedure of localization of the problem of the functioning of computational network and search for the substantiated complex of the organizational and technical measures, capable for returning a network to the regular functioning mode.

Производительность вычислительной сети может снижаться в результате нарушения работы входящих в нее сетевых устройств. Незамедлительное проведение комплекса организационно-технических мероприятий для возвращения сети в режим штатного функционирования усложняется с ростом размеров сети.

Анализ подходов к построению, моделированию, диагностике сетей, восстановления их после сбоев выявил недостаточную степень их формализации [1]. То есть существует потребность в разработке группы методик, позволяющих выявить компоненты сети, нарушающие ее функционирование, а также выделить комплексы организационно-технических мероприятий, позволяющих вернуть сеть в режим штатного функционирования.

Центральной частью анализа текущего состояния сети является понятие ситуационного правила, позволяющее представить его логические элементы. Ситуационное правило – выражение, элементами которого являются логические функции и логические выражения. Введём обозначения для отображения функций и операторов правила: « \rightarrow » (импликация), « \wedge » (логическое «и»). Добавим к операторам знак принадлежности переменной множеству значений « \in ».

Формат правила представлен в формуле 1:

$$P_{11} \in P_{11} \wedge \dots \wedge P_{1n} \in P_{1n} \wedge P_{21} \in P_{21} \wedge \dots \wedge P_{2m} \in P_{2m} \wedge \dots \wedge P_{w1} \in P_{w1} \wedge \dots \wedge P_{wv} \in P_{wv} \rightarrow CP \wedge U, \quad (1)$$

где CP – имя текущего состояния сети;

U – множество компонентов, нарушающих функционирование сети;

p_{ij} – j-й признак i-го типа составляющей сети, исследуемый при нахождении сети в данном состоянии;

P_{ij} – множество значений j-го контролируемого признака i-го типа составляющей сети;

w – количество проверяемых типов составляющих сети ($i = \overline{1, w}$).

Правило выбора организационно-технических мероприятий – выражение, в левой части которого содержится условие в виде наименований текущего состояния сети и группы составляющих, вызывающих нарушение ее функционирования, а в правой – действия, которые являются реакцией на это условие. Под реакцией понимается проведение того или иного комплекса организационно-технических мероприятий. Используем те же обозначения для отображения функций и операторов правила выбора организационно-технических мероприятий, что и для ситуационных правил.

Общий вид правила выбора организационно-технических мероприятий представлен в формулах 2 и 3:

$$CP, T \rightarrow A_1 / A_2 / \dots / A_m, \quad (2)$$

$$A_i = a_{i1}(t_1) \wedge \dots \wedge a_{iv}(t_{v_i}), t_j \in T, \quad (3)$$

где CP – имя проблемы;

T – множество компонентов сети с нарушенным функционированием, для которых явно определены организационно-технические мероприятия;

A_j – конкретный комплекс организационно-технических мероприятий над компонентами T , способный привести сеть в режим штатного функционирования;
 $a_{jk}(t_j)$ – конкретное организационно-техническое мероприятие комплекса j над компонентом сети, относящимся к типу сетевой составляющей t ;
 v_i – количество мероприятий в комплексе i ;
 t – тип конкретного сетевого компонента.

Методика локализации проблемы функционирования вычислительной сети представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 - Методика локализации проблемы функционирования вычислительной сети

Методика локализации проблемы функционирования вычислительной сети заключается в следующем:

1. Представить вычислительную сеть с точки зрения магистрального уровня абстракции.

2. Провести анализ значений контролируемых признаков сетевых устройств для поиска ситуационного правила, способного описать текущее состояние сети. Если такое правило отсутствует, то зафиксировать текущее состояние сети для его дальнейшего исследования и описания экспертами и выдать его в качестве выходных данных, завершив процесс локализации проблемы. Если таковое правило найдено, то добавить наименование состояния сети к выходным данным процесса локализации проблемы.

3. Используя найденное ситуационное правило, провести поиск компонентов вычислительной сети, нарушающих ее функционирование.

4. В качестве выходных данных выдать группу составляющих сети, нарушающих ее функционирование. В случае невозможности доступа к детализируемым составляющим выдать эти составляющие в качестве выходных данных процесса локализации проблемы, пометив их как компоненты сети, к которым отсутствует доступ.

Методика поиска обоснованного комплекса организационно-технических мероприятий, способных вернуть сеть в режим штатного функционирования, представлена на рисунке 2.

Она заключается в следующем:

1. Если среди входных данных существуют компоненты сети, к которым отсутствует доступ, то произвести их детализацию по модели представления вычислительной сети.

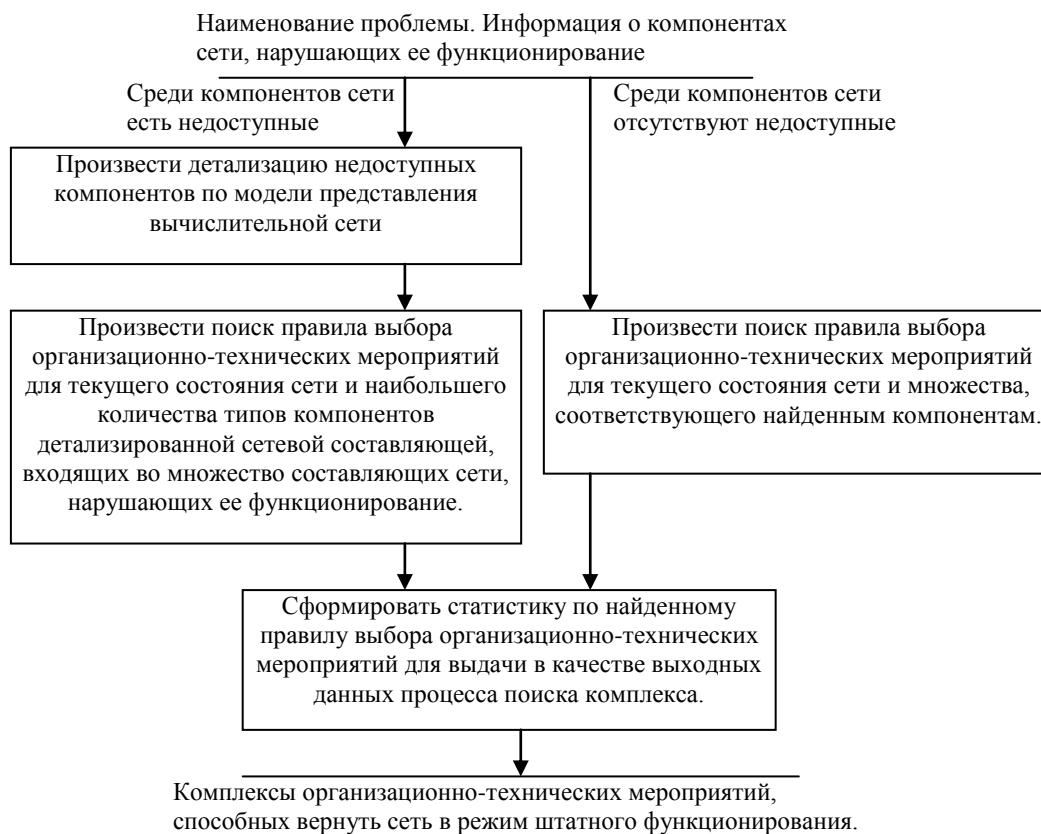


Рисунок 2 - Методика поиска обоснованного комплекса организационно-технических мероприятий, способных вернуть сеть в режим штатного функционирования

2. Если имела место детализация компонентов сети, к которым отсутствует доступ, то произвести поиск правила выбора организационно-технических мероприятий для текущего состояния сети и наибольшего количества типов компонентов детализированной сетевой составляющей, входящих во множество составляющих сети, нарушающих ее функционирование.

3. Если явно определены все компоненты сети, нарушающие ее функционирование, то произвести поиск правила выбора организационно-технических мероприятий для текущего состояния сети и множества, соответствующего найденным компонентам.

4. Сформировать статистику по найденному правилу выбора организационно-технических мероприятий для выдачи в качестве выходных данных процесса поиска комплекса.

Реализовать группу методик сопровождения сети и выбора обоснованного комплекса организационно-технических мероприятий, позволяющих вернуть сеть в работоспособное состояние, рационально на базе системы поддержки принятия решений (СППР) [2]. Приведённые методики легли в основу алгоритмов работы СППР, поддерживающей корректное функционирование сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лысков, О.Э. Методы оснащения предприятий вычислительной техникой и телекоммуникационными услугами [Текст] / О.Э. Лысков // Известия ОрёлГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии: информационные системы и технологии». – 2007. - №4/268(535). – С. 160 – 166.

2. Лысков, О.Э. Архитектура СУБД как части системы, поддерживающей процесс оснащения и модернизации объектов ЕОИС средствами вычислительной техники и телекоммуникационными услугами [Текст] / О.Э. Лысков // Известия ОрёлГТУ. Сер. Информационные системы и технологии. – Орёл: ОрёлГТУ, 2005. - №1(7). – С. 122 – 125.

Лысков Олег Эдуардович

Орловский государственный технический университет, г. Орёл

Ассистент кафедры «Информационные системы»

Тел: (0862) 40-96-14.

E-mail: rcfio_loe@mail.ru

УДК 621.787.4

В.А. ГОЛЕНКОВ, С.Ю. РАДЧЕНКО, Д.О. ДОРОХОВ

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ С ГРАДИЕНТНЫМИ СУБМИКРО - И НАНОСТРУКТУРНЫМИ СОСТОЯНИЯМИ ВЕЩЕСТВА НА ОСНОВЕ СПОСОБА ВАЛКОВОЙ ШТАМПОВКИ

В статье рассматриваются вопросы применения метода валковой штамповки для получения градиентного от наружной поверхности субмикро- и наноструктурного состояния материала на полых осесимметричных изделиях. Приведена технологическая схема и описание экспериментальной установки.

Research and development of gradient submicro and nanocrystalline material has been an active area in the materials science and engineering sector. This work will be suggested equipment for new method of processing metal with complex local effort center of deformation for getting production with gradient submicro- and nanocrystalline structures. This construction provides a great opportunity to improve nanotechnology.

Перед современной наукой поставлена задача получения изделий с субмикро - и наноструктурными, в том числе градиентными состояниями вещества. На сегодняшний день основные способы получения подобных изделий: кручение под высоким давлением, равноканальная угловая экструзия (прессование)[1,2]. Данные способы основаны на глобальном нагружении очага деформации, что требует значительных усилий от оборудования. Таким образом, актуальной задачей становится создание оснастки и инструмента, позволяющих без значительных усилий получать в материале субмикро- и наноструктурные области.

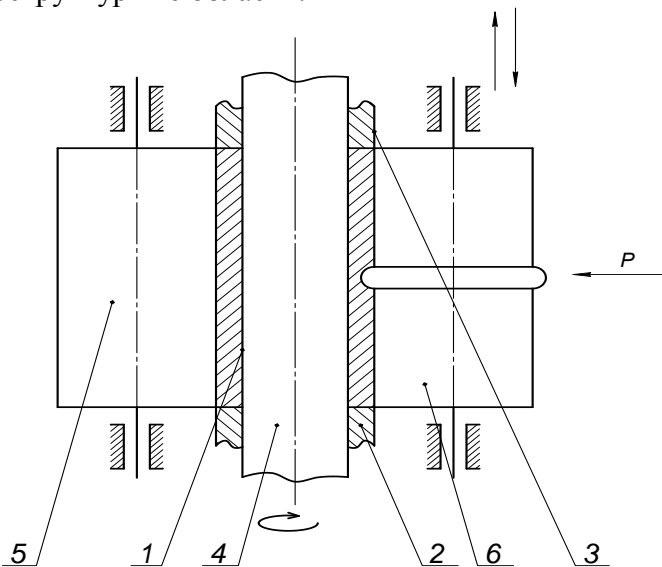


Рисунок 1 - Схема способа получения полых осесимметричных изделий с градиентным от наружной поверхности субмикро - или наноструктурным состоянием материала:

1 – заготовка; 2 – упор; 3 – прижим; 4 – оправка; 5,6 – ролики

Способ реализуется следующим образом: заготовку 1 устанавливают на оправку 4 и фиксируют между упором 2 и прижимом 3, сообщая при этом осевое сжатие, не достигающее предела текучести. Затем подводят ролики 5 и 6, один или более из которых имеет кольцевой деформирующий выступ, после чего заготовке сообщают крутящий момент. Наружную поверхность формируют многократным возвратно-поступательным осевым перемещением роликов, имеющих кольцевые выступы, после чего ролики разводят, отводят прижим и извлекают оправку и готовое изделие.

В качестве одного из вариантов может быть рассмотрен метод валковой штамповки (ВШ)[3, 4, 5], разработанный в Орловском государственном техническом университете (ОрелГТУ). Он позволяет получать изделия с градиентом структуры от наружных слоев (см. рисунок 1).

Данная принципиальная схема была реализована в конструкции установки, созданной авторским коллективом сотрудников ОрелГТУ (см. рисунок 2). Установка (см. рисунок 3) создана, исходя из наибольшей эффективности способа ВШ, минимальности конечного смещения объемов изделия, максимальности возможной степени накопления деформации, создания условий, близких к всестороннему сжатию, доступности оборудования, преимущественным технологическим назначением получаемых изделий.

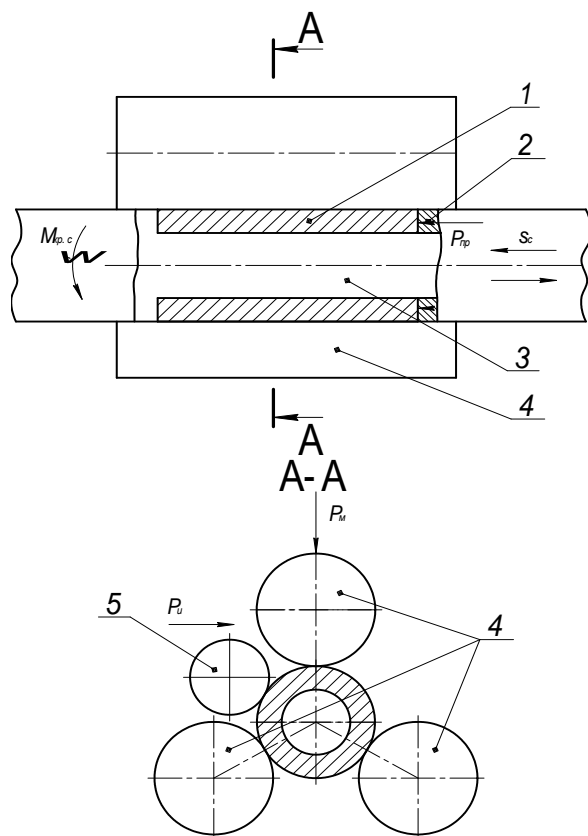


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки для получения полых осесимметричных изделий с градиентным от наружной поверхности субмикро - или наноструктурным состоянием материала:

1 - заготовка; 2 – упоры; 3 – оправка; 4 – валковая матрица; 5 – инструмент; P_n – усилие, создаваемое инструментом; P_m – усилие, прикладываемое к матрице; $P_{пр}$ – усилие, создаваемое прижимами; $M_{н.с}$ – крутящий момент на оправке; ω_c – скорость вращения оправки; s_c – шаг подачи

разводят, отводят прижим, инструмент и извлекают оправку и готовое изделие.

При обработке в заготовке вблизи деформирующего выступа в инструменте 5 формируются локальные зоны знакопеременной деформации в условиях всестороннего сжатия, обеспечивающегося валковой матрицей 4. Происходит градиентное от наружной поверхности измельчение структуры и упрочнение материала. Степень измельчения структуры и упрочнения напрямую зависит от накопленной деформации и, соответственно, от числа циклов обработки. Также существенно влияние характера и величины приложенных усилий P_n , P_m , $P_{пр}$; крутящего момента и шага подачи. Управляя данными параметрами, можно заранее задать необходимые параметры градиентности структуры и механических

Привод заготовки осуществляется от оправки посредством жесткой геометрической связи. Обработка производится в трехвалковой матрице. Форма валков соответствует геометрии заготовки. Ось вращения изделия соответствует оси шпинделя. Формирование субмикро- и наноструктурных градиентных областей происходит от наружных поверхностей посредством специального инструмента типа обкатника. Внутренняя поверхность заготовки жестко посажена на оправку.

Процесс обработки осуществляется на станке 1К62. Заготовку 1 устанавливают на оправку 3 и фиксируют упором 2, сообщая при этом осевое сжатие $P_{пр}$, данную сборку закрепляют в трехулачковом патроне. Валковую матрицу (ролики) 4 устанавливают на суппорте. Инструмент 5 устанавливается в резцедержателе. К заготовке 1 подводят валковую матрицу (ролики) 4 и прикладывают к верхнему ролику усилие P_m , затем к заготовке подводят инструмент 5 с силой P_n , оправку 3 фиксируют задней бабкой. Далее сообщают крутящий момент оправке 3. Наружную поверхность формируют многократным возвратно-поступательным осевым перемещением инструмента 5 и валковой матрицей (роликами) 4 (перемещается суппорт станка), после чего ролики

свойств, что позволит наиболее эффективно применить получаемые изделия как несущие элементы конструкций и детали узлов трения.

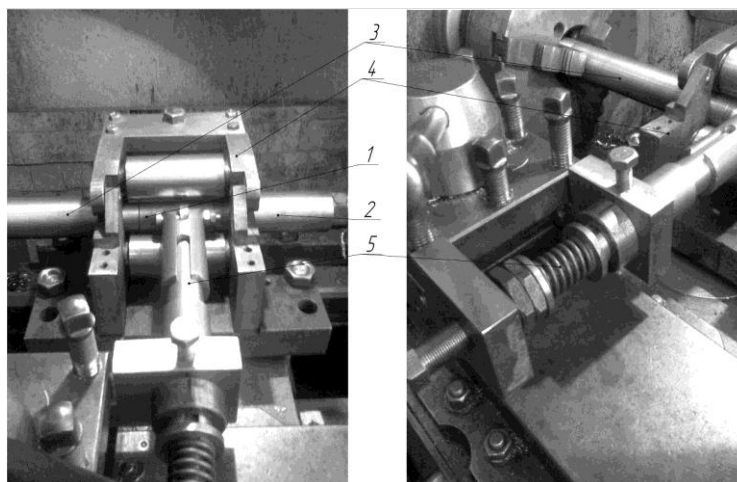


Рисунок 3 – Экспериментальная установка для получения полых осесимметричных изделий с градиентным от наружной поверхности субмикро- или наноструктурным состоянием материала: 1 – заготовка; 2 – упоры; 3 – оправка; 4 – роликовая матрица; 5 – инструмент

Предложенное конструкторское решение позволит получать полые осесимметричные изделия (штулки, трубки) с градиентным от внутренней поверхности субмикро - и наноструктурным состоянием материала с малыми потребными усилиями от оборудования. Установка позволит получить готовую продукцию без дальнейшей обработки. Размер получаемых изделий и полуфабрикатов существенно выше, чем максимально достижимые на сегодняшний день, например, РКУ-прессованием. Значительно ниже будет и себестоимость изнашиваемой технологической оснастки и общая стоимость изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валиев, Р.З. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией [Текст] /Р.З. Валиев, И.В. Александров. – М.: Логос, 2000. – 271 с.
2. Бейгельзимер, Я. Е. Винтовая экструзия – процесс накопления деформации [Текст] / Я.Е. Бейгельзимер, В.Н. Варюхин, Д.В. Орлов, С.Г. Сынков. - Донецк: ТЕАН, 2003. – 87 с.
3. Голенков, В.А. Специальные технологические процессы и оборудование обработки давлением [Текст] /В.А. Голенков, А.М. Дмитриев, В.Д. Кухарь, С.Ю. Радченко, С.П. Яковлев, С.С. Яковлев. – М.: Машиностроение, 2004. – 464 с.
4. Голенков, В.А. Технологические процессы обработки металлов давлением с локальным нагружением заготовки [Текст] /В.А. Голенков, С.Ю. Радченко. – М.: Машиностроение, 1997, – 226 с.: ил.
5. Пат. 2320433 RU, МКИ 4 В21D 51/02 С21D 7/04 С22F 1/00 В82В 3/00 Способ получения металлических втулок с субмикро- и нанокристаллическим состоянием материала/ Голенков В.А., Малинин В.Г., Радченко С.Ю., Короткий Г.П., Малинин В.В. (РФ). - № 2006121277/02; Заявлено 15.06.2006; Опубл. 27.03.2008; Бюл. №9. – 2 с.: ил.

Голенков Вячеслав Александрович

Орловский государственный технический университет, г. Орёл
 Доктор технических наук, ректор, профессор
 Адрес: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
 Тел.: (4862) 420024
 E-mail: admin@ostu.ru

Радченко Сергей Юрьевич

Орловский государственный технический университет, г. Орёл
 Доктор технических наук, проректор, профессор
 Адрес: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
 Тел.: (4862) 437125
 E-mail: sur@ostu.ru

Дорохов Даниил Олегович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
 Аспирант
 Адрес: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
 Тел.: (48646) 25689
 E-mail: olorin84@mail.ru

А.В. КАТУНИН, А.А. КАТУНИН, Н.Н. САМОЙЛОВ, А.М. СИДОРОВ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМЫ И ЗАДАННОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ НЕПОЛНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ГОЛОВОК ШАРОВЫХ ПАЛЬЦЕВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШАРОВЫХ ШАРНИРОВ

В Орловском государственном техническом университете отработана технология получения качественных неполных сферических поверхностей головок шаровых пальцев шаровых шарниров.

The technology of getting incomplete spherical head surfaces of ball fingers of the automobile ball hinges with high quality is worked out in Oryol State Technical University.

Одними из наиболее важных узлов подвески современных автомобилей, определяющих безопасность их эксплуатации, являются шаровые шарниры. Основной деталью шаровых шарниров является шаровый палец. Его неполная сферическая поверхность, охваченная полимерным вкладышем, находится в корпусе шарнира. Постоянные вращательные и качательные движения пальца во время эксплуатации автомобиля вызывают интенсивные относительные перемещения сферы головки пальца и вкладыша шарнира под нагрузкой и износ последнего. Износ вкладыша обуславливает появление зазора в шарнире и люфта пальца, что ведет к увеличению динамических нагрузок, интенсификации дальнейшего износа вкладыша и потере нормальной работоспособности подвески автомобиля.

Основным параметром, определяющим интенсивность износа полимерного вкладыша шарового шарнира, в условиях надежной защиты от попадания влаги и абразива, является шероховатость контактирующей с ним головки шарового пальца. В тех же случаях, когда защита шарнира нарушена (а это случается довольно часто) и это вовремя не устранено, то к факторам, определяющим долговечность шарниров, добавляется износостойкость сферы шарового пальца, которая зависит от ее твердости.

Кроме того, на наш взгляд, фактором, способствующим быстрому появлению начального зазора в шарнире, может явиться отклонение от сферичности головки шарового пальца. Поворот головки пальца неправильной формы вместо скольжения по полимерному вкладышу (скольжения выпуклой сферической поверхности пальца по точно такой же, только вогнутой поверхности вкладыша) будет в этом случае сопровождаться его смятием, а значит, и появлением зазора в шарнире.

Для обеспечения высокой точности шероховатости с параметром R_a в пределах от 0,2 до 0,4 мкм и требуемой твердости неполной сферической поверхности головки пальца (HRC₃ 28...34), в качестве финишной операции ее обработки получила распространение планетарная обкатка.

Планетарная обкатка может быть применена при обработке большой группы конструктивно подобных автомобильным шаровым пальцам деталей: наконечников рулевых тяг автомобилей, шаровых опор мехатронных модулей, шаровых подпятников, шаровых шарниров талрепов, запорных элементов шаровых кранов, наконечников сцепки железнодорожных вагонов, шаровых толкателей и других. Она обладает такими достоинствами, как: высокая производительность, относительная простота реализации (даже на универсальном оборудовании), надежность инструментов, высокое качество обработки. Кроме того, планетарное обкатывание является одним из немногих методов, позволяющих эффективно обрабатывать неполные сферические поверхности, ограниченные торцовыми срезами.

В основе известных способов планетарной обкатки лежит кинематическая схема, согласно которой ось заготовки с неполной сферической поверхностью (шарового пальца)

пресекается с осью инструмента (обкатника) под углом α , а точка их пересечения совпадает с центром обрабатываемой неполной сферы. Обкатнику, находящемуся в соприкосновении с обкатываемой поверхностью сразу всеми деформирующими элементами (шариками или роликами), сообщают вращение по окружности, лежащей в плоскости, перпендикулярной плоскости осей обкатника и заготовки. Плоскость, в которой вращающиеся деформирующие элементы обкатника касаются заготовки, смещена относительно центра обрабатываемой сферической поверхности и проходит через ее полюс и точку пересечения линии торцового среза со сферой (рисунок 1). При этом обкатник охватывает деформирующими телами качения все параллели обрабатываемой неполной сферической поверхности от полюса до торцового среза. Заготовке сообщают вращение вокруг ее оси со скоростью, значительно меньшей скорости вращения обкатника.

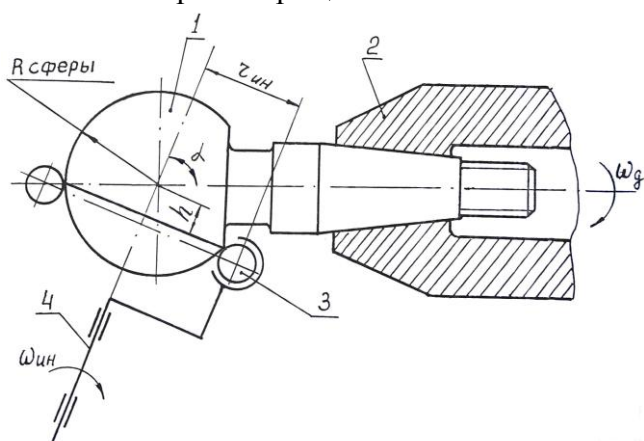


Рисунок 1 - Схема планетарной обкатки неполных сферических поверхностей шариковым обкатником: 1 – заготовка, 2 – шпиндель заготовки, 3 – деформирующие элементы (шарики) обкатника, 4 – шпиндель обкатника

В Орловском государственном техническом университете (ОрелГТУ) на кафедре «Автоматизированные станочные и инструментальные системы» разработано несколько способов планетарной обкатки неполных сферических поверхностей, а также комплект технологической оснастки для их реализации на универсальном оборудовании. В основе разработанных в ОрелГТУ способов лежит описанная выше схема.

В качестве инструмента для реализации ряда способов применяется оригинальный самоцентрирующийся на поверхности сферы бессепараторный шариковый обкатник, позволяющий значительно увеличить число деформирующих тел, производительность и качество процесса обкатки по сравнению с

известными способами.

Окончательной операции обкатывания предшествует операция фрезерования неполной сферы, которая выполняется специально разработанной фрезерной головкой с двумя быстросменными твердосплавными пластинами. Их точная установка позволяет получить на поверхности головки шарового пальца регулярную сетку линий микрорельефа. Схема относительного расположения фрезерной головки и обрабатываемого пальца подобна схеме, показанной на рисунке 1, с той лишь разницей, что здесь образующей линией является окружность вращения вершин режущих пластин.

Выполнение операции обкатки и предшествующей ей операции фрезерования по одной и той же схеме (приведенной выше) является необходимым условием получения качественных неполных сферических поверхностей, в том числе и головок шаровых пальцев.

Это обусловлено следующим обстоятельством. При обкатывании неполных сферических головок шаровых пальцев происходит пластическое деформирование и смятие гребешков микронеровностей, сформировавшихся на предшествующей операции фрезерования. При этом образующая линия (окружность), описываемая деформирующими шариками при вращении накатника, перемещается по предварительно отфрезерованной направляющей поверхности головки пальца без изменения ее геометрической формы. Поэтому только тогда, когда предварительно отфрезерованная поверхность имеет сферическую форму, то есть направляющими для образующей линии накатника будут окружности, можно получить неполную сферическую головку шарового пальца с шероховатостью $R_a=0,2 \dots 0,4$ мкм на экваториальной части.

На рисунке 2а представлен прибор для измерения отклонений формы и расположения поверхностей вращения АБРИС-К10, с помощью которого были измерены сферические головки шаровых пальцев, полученные при обкатке самоустанавливающимся нерегулируемым бессепараторным шариковым обкатником на универсальном оборудовании.



а)



б)

Рисунок 2 – а) Прибор для измерения отклонений формы и расположения поверхностей вращения АБРИС-К10; б) Круглограмма неполной сферической головки шарового пальца

Измерения показали, что отклонение от сферичности обкатанных головок шаровых пальцев не превышает пяти микрометров. На рисунке 2б приведена круглограмма одной из полученных обкаткой неполной сферической головки шарового пальца, отклонение от сферичности которой составляет 3,85 мкм. При этом шероховатость сферической головки на экваториальной части была $R_a=0,2$ мкм.

Анализ большого количества результатов измерений свидетельствует о том, что разработанная технология последовательного выполнения операций фрезерования и планетарной обкатки неполных сферических поверхностей по одной схеме, а также комплект технологической оснастки для их реализации на универсальном оборудовании обеспечивают получение деталей высокого качества.

Катунин Александр Валентинович

Орловский государственный технический университет, г. Орёл
 Кандидат технических наук, доцент
 Адрес: г. Орел, ул. Академическая, д. 17
 Тел.: 54-15-19
 E-mail: kat@ostu.ru.

Катунин Андрей Александрович

Орловский государственный технический университет, г. Орёл
 Аспирант
 Адрес: г. Орел, ул. Академическая, д. 17
 Тел.: +79155080508.

Самойлов Николай Николаевич

Орловский государственный технический университет, г. Орёл
 Доцент
 Адрес: г. Орел, ул. Салтыкова-Щедрина, д. 17а, кв. 43
 Тел.: 76-03-37

Сидоров Алексей Михайлович

Орловский государственный технический университет, г. Орёл
 Аспирант
 Адрес: г. Орел, ул. Раздольная, д. 10, кв. 54
 Тел.: 89208158128

ДИНАМИКА ВИБРОУПРОЧНЯЮЩЕГО СТАНКА ПРИ УПРУГОМ КРЕПЛЕНИИ ДЕТАЛИ В КОНТЕЙНЕРЕ

В работе представлены результаты математического моделирования влияния периодических соударений инструментальной среды, характеризуемой квазиупругой жесткостью и диссипативными свойствами, изменения массы подвижной системы за счет присоединения и отрыва ее от контейнера, на закон периодических перемещение контейнера и упруго закрепленной детали.

In work results of mathematical modelling of influence of periodic impacts of the tool environment characterized by quasi-elastic rigidity and dissipation by properties, changes of weigh t of mobile system are submitted due to connection and flow separation her from the container, on the law periodic moving of the container and is elastic the fixed detail.

При виброударном упрочнении крупногабаритных деталей использование двухмассных динамических схем нецелесообразно из-за большой мощности привода и больших нагрузок на фундамент [1]. Использование трехмассных схем, как показывают исследования, позволяют сократить эти негативные факторы, придать новые положительные результаты в динамике процесса [2, 3 и др.].

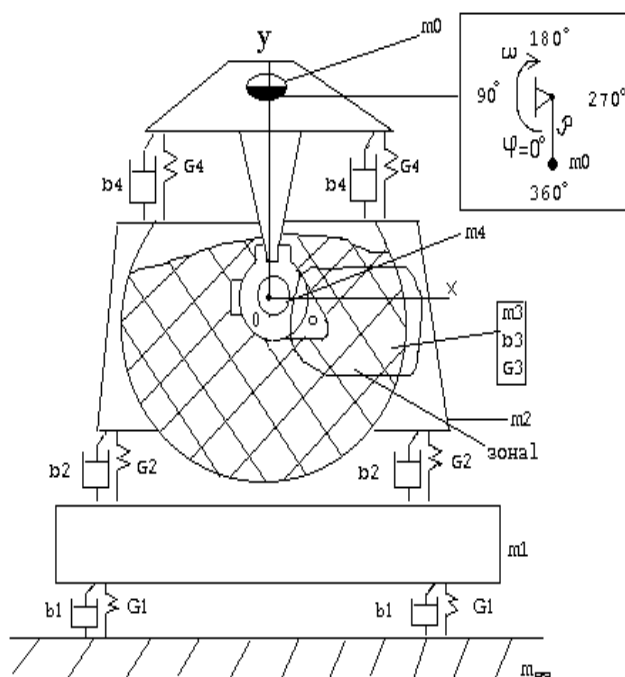


Рисунок 1 - Динамическая схема виброупрочняющей технологической системы с упругим креплением детали и инерционным вибратором [1, 3]

установлен на подвижной системе детали, а контейнер совершает вибрационные перемещения под действием реакций упругих связей, соединяющих подвижные системы детали и контейнера. Здесь $m_1 = 10$ - масса рамы; $m_2 = 0,5$ - масса контейнера; $m_3 = 0,25$ - масса инструментальной среды; $m_4 = 0,5$ - масса детали. Массу основания примем бесконечно большой. Коэффициенты сопротивления $b_1 = 0,05$; $b_2 = 0,01$; $b_3 = 0,001$;

Экспериментальные исследования показывают, что инструментальная среда приобретает оптимальную вибропластичность, циркуляционную и вибрационную подвижность уже при амплитуде виброускорения $A\omega^2 = 3-4g$. При более значительных виброускорениях инструментальная среда интенсивно разрыхляется, что ухудшает ее массовые характеристики, не улучшая существенно обрабатываемые свойства. Вместе с этим для достижения необходимых значений энергии периодических соударений детали с инструментальной средой необходимо повышение скорости колебаний до 70-100 см/с, что потребует более интенсивных амплитуд колебаний, чем $(2-3)g$.

Динамическая схема виброударной машины с упругим креплением детали (рисунок 1) представлена в виде системы дискретных масс, соединенных упругими связями и диссипативными элементами. При этом вибратор

$b_4 = 0,02$. Жесткость упругих элементов $G_1 = 200 \text{ кг/см}$; $G_2 = 500$; $G_3 = 1,2$; $G_4 = 400$. Исследуется динамика системы при следующих начальных параметрах. В третьем теоретическом эксперименте частота собственных колебаний детали $\omega_{04} \ll \omega$, частота собственных колебаний контейнера $\omega_{02} \ll \omega$, частота собственных колебаний рамы и инструмента значительно меньше частоты вынуждающей силы вибратора и меньше собственных частот колебаний контейнера и детали. Соотношение масс станка для третьего эксперимента $m_1 \gg m_2, m_3, m_4$, $m_2 = m_4$, $m_3 = 0,5m_4$, обеспечивает вышеуказанное соотношение частот. При исследованиях параметры станка (жесткость упругих элементов, коэффициенты вязкого сопротивления и др.) оставались фиксированными.

Исследование амплитудных, фазовых и частотных характеристик элементов технологической системы и периодических соударений инструментальной среды с обрабатываемой деталью и контейнером выполнялось с учетом присоединения и отрыва массы инструментальной среды от детали и контейнера. Инструментальная среда состоит из множества стальных шариков, лишенных кинематической связи с контейнером и деталью. Расчет перемещений производится методом интегрирования уравнений, с использованием условий периодичности, на этапах отрывного и совместного движений инструментальной среды с деталью и контейнером.

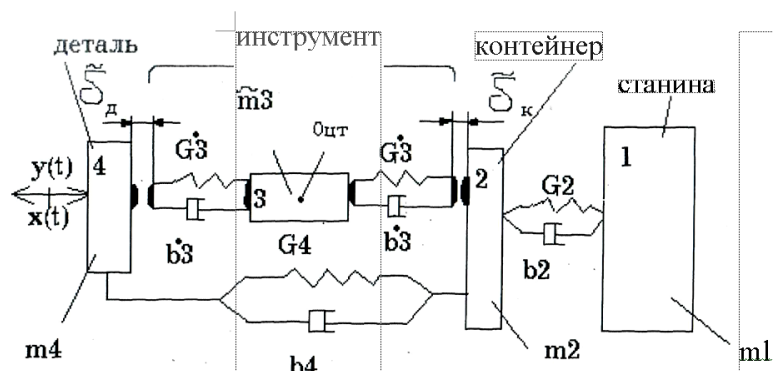


Рисунок 2 – Динамическая схема однокоординатной системы вибростанка

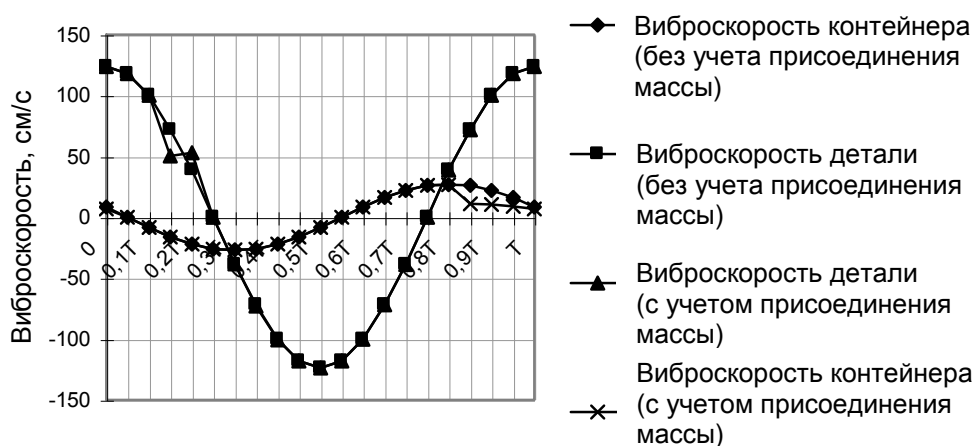


Рисунок 3 – Изменение виброскорости контейнера и детали за период колебаний T вынуждающей силы без учета и с учетом присоединения эквивалентной массы инструментальной среды [3]

Расчетные значения динамики перемещений. Коэффициент динамического усиления амплитуд колебаний $k_1 = 4,2$; $k_2 = 216$; $k_3 = 0,006$; $k_4 = 4,8$. Амплитуда скорости колебаний: $\dot{x}_1 = 4,2 \text{ см/с}$; $\dot{x}_2 = 39,4$; $\dot{x}_3 = 16,8$; $\dot{x}_4 = 85,4$. Частоты собственных колебаний $\omega_{01} = 8 \text{ с}^{-1}$; $\omega_{02} = 42$; $\omega_{03} = 2$; $\omega_{04} = 28$. Частоты вынужденных колебаний вибратора $\omega = 140 \text{ с}^{-1}$.

Анализ показывает, что соударение инструмента и этап его совместного движения с обрабатываемой деталью возможен, когда положение возмущающей силы $x_0(t) = m_0 \rho \omega^2 \cos(\omega t)$ $0^\circ < \varphi < 180^\circ$, а соударение и этап совместного движения инструмента с контейнером (станком) возможен, когда $180^\circ < \varphi < 360^\circ$, где φ - фазовый угол положения возмущающей силы вибратора. Эффект периодических соударений инструментальной среды с деталью оценивается коэффициентом $R^* = (0,25 - 0,4)R$, где R - коэффициент восстановления скорости единичной ее частицы. При этом считается, что время соударений мало по сравнению с периодом движения и значение R не зависит от скорости удара. Эквивалентная масса инструментальной среды $\tilde{m}_3 = m_3^* \cdot K_m$, где значение коэффициента K_m определяется как отношение квадрата резонансных частот колебаний подвижной системы станка для случая полностью поджатого инструмента и для случая свободно вибрирующего инструмента, которые представлены в [1].

При жестком креплении детали к контейнеру на 1 кг обрабатываемой детали в среднем приходится 15-20 кг подвижной системы контейнера, что приводит к значительной мощности привода вибратора. В зарезонансном режиме колебаний затрачивается 1,5-2,0 кВт мощности на 100 кг массы подвижной системы, при амплитуде виброперемещений 0,5-0,7 см.

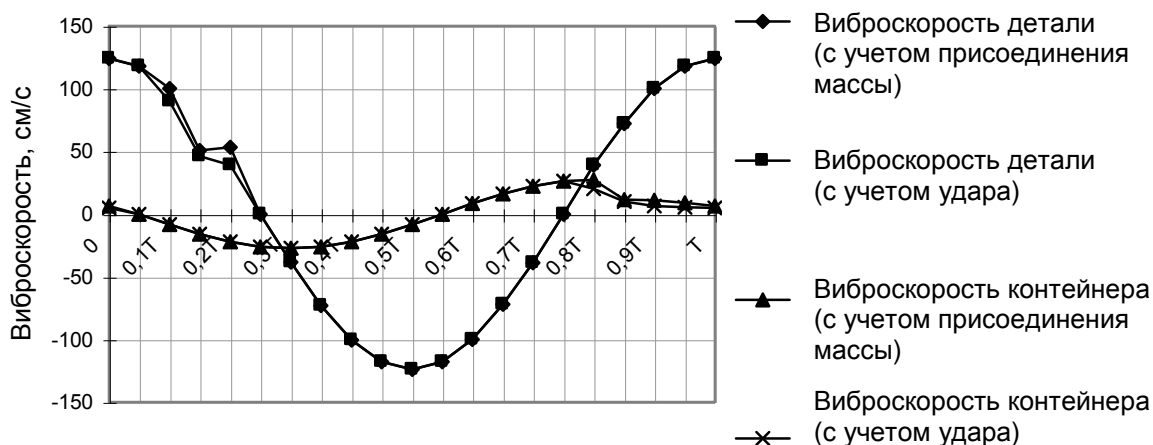


Рисунок 4 – Изменение виброскорости контейнера и детали за период колебаний T вынуждающей силы с учетом присоединения эквивалентной массы инструментальной среды и с учетом потери скорости движения за счет периодических соударений ее с контейнером и деталью [3]

При упругом креплении детали представляется возможным снизить до полутора – двух раз амплитуду виброускорений колебаний контейнера с инструментальной средой, уменьшить вредное вибрационное воздействие вибростанка на фундамент в близко-резонансных режимах обработки, снизить в два – три раза потребляемую мощность электропривода вибратора. Основной проблемой при реализации динамической схемы с упругим креплением детали является обеспечение динамической устойчивости близко-резонансных режимов колебаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копылов, Ю.Р. Виброударное упрочнение [Текст] / Ю.Р. Копылов – Воронеж. ВГУМВД. 1999. 386 с.
2. Субач, А.П. Динамика процессов и машин объемной вибрационной и центробежной обработки насыпных деталей [Текст] / А.П. Субач – Рига. Зинатне. 1991. 400 с.
3. Гордиенко, Е.П. Исследование процесса виброударного упрочнения при упругом креплении детали. Текст] / Е.П. Гордиенко // Автореф. дис. канд. техн. наук. Воронеж 2000.

Копылов Юрий Романович

Воронежский государственный технический университет, Воронеж,
 Доктор технических наук, профессор
 Тел.: (8732) 930929, факс (8732) 702720
 E-mail: urkopulov@mail.ru

МОРОЗОВА А.В.

МУЛЬТИПЛИКАТИВНАЯ МОДЕЛЬ КОНКУРЕНТНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ СПЕЦИАЛИСТА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

В статье анализируется социально-профессиональная конкурентоспособность специалиста как интегративный показатель, посредством которого можно сформировать как статическую характеристику специалиста (в данный момент времени в системе сложившейся системе социально-профессионального взаимодействия с определенными субъектами рынка труда), так и динамическую характеристику специалиста (изменение структуры конкурентных преимуществ, позиция в отношении различных субъектов рынка труда, зона потенциального развития и т.д.).

In article social - professional competitiveness of the expert as integrativ a parameter by means of which it is possible to generate as the static characteristic of the expert (at present time in system developed systems of social - professional interaction with the certain subjects of a labour market), and a dynamic characteristic of the expert (change of structure of competitive advantages, a position is analyzed concerning various subjects of a labour market, a zone of potential development, etc.).

Конкурентоспособность как «способность выдержать конкуренцию, противостоять конкурентам» [4] в отношении специалиста как субъекта рынка труда зависит от двух групп факторов. Одни факторы отражают внутренние, присущие этому специалисту характеристики, другие являются внешними по отношению к нему и зависят от уровня и тенденций развития социально-экономического комплекса региона. Для системы профессионального образования как социального института наиболее актуальной является задача подготовки специалистов, обладающих такой системой конкурентных преимуществ, которая позволила бы им быть востребованными на региональном рынке труда.

В этой связи возникает необходимость наличия и использования совокупной комплексной интегративной характеристики для оценки позиции специалиста в динамической системе субъектов социально-профессиональной группы определенного профиля на региональном рынке труда. Такой характеристикой, по нашему мнению, может служить социально-профессиональная конкурентоспособность специалиста, устойчивость которой на протяжении всей профессиональной жизни специалиста является его главным приоритетным качеством.

В этой связи интересна позиция профессора Гарвардского университет Майкла Портера [1, с. 193], известного специалиста по проблемам конкурентоспособности, который выделяет два самых значительных конкурентных преимущества: более низкие издержки и специализацию. Применительно к субъекту «специалист», по нашему мнению, под данными категориями следует понимать следующее.

«Более низкие издержки» представляют не просто меньшие суммы затрат на подготовку специалиста и освоение им определенного уровня сформированности профессиональных навыков, а способность специалиста к инициации самообразовательной деятельности, позволяющей ему выполнять определенные профессиональные функции в максимально сжатые сроки и с наилучшим результатом по сравнению с его конкурентами. Иными словами, чтобы достичь такого уровня конкурентного преимущества, специалист должен уметь организовать свою работу так, чтобы он постоянно был готов сделать сегодня то, что его конкурент может сделать только завтра. Для этого специалисту потребуются высокий уровень сформированности базовых профессионально-квалификационных характеристик, высокий уровень информационной и коммуникативной культуры, а также

оптимальная профессионально-ориентированная система социально-психологических характеристик личности.

Неоднозначной для понимания сути конкурентного преимущества является «специализация». По нашему мнению, это понятие применительно к категории «специалист» вовсе не означает концентрацию знаний, умений и навыков только на одном направлении. Оно подразумевает наличие способности специалиста удовлетворить нестандартные (в некоторых случаях – сверхсложные и межпрофессионально интегрированные) запросы работодателей и получение при этом значительно большего дохода от своей профессиональной деятельности по сравнению с конкурентами. При этом «специализация» как конкурентное преимущество в своей основе опирается на уровень, выходящий за пределы среднестатистического, как в плане сформированности профессиональных навыков специалиста, так и в области его личной тектологии (самоорганизации).

Здесь можно рассмотреть несколько схем возможных действий, используя принцип специализации.

1. Достижение специалистом такого уровня сформированности профессиональных навыков, который гарантирует высокое качество выполняемой им работы, в том числе экспериментальной. Как следствие, профессиональная деятельность такого специалиста отличается высокими потребительскими свойствами на рынке труда, и он сориентирован на работу у взыскательных и состоятельных работодателей. Нанимая такого специалиста на работу, такие работодатели (как индивидуальные, так и коллективные, например, организации, НИИ, КБ и т.д.) подтверждают или завоевывают определенную стратификационную позицию в социально-профессиональной среде; при этом, выплачивая такому работнику столь высокую заработную плату, довольствуются результатами его высокопрофессионального, порой эксклюзивного труда.

2. Освоение принципиально новых профессиональных навыков, которые имеют перспективу многовариантности, постепенного роста востребованности. При сохранении первоначально высокого уровня оплаты такого труда этот вариант позволит специалисту в короткий срок получить высокий уровень доходов от профессиональной деятельности. Однако, в силу постепенного расширения сегментов применимости и доходной привлекательности этого вида деятельности, будет наблюдаться интенсивный приток лиц, осваивающих его, вследствие чего в перспективе будет происходить интенсивное падение доходов от профессиональной деятельности такого типа.

3. Освоение специалистом такого вида профессиональной деятельности, который требует минимальных затрат на освоение и непрестижен среди значительной части работников, однако имеет большой уровень востребованности среди массового работодателя.

Выбор наиболее подходящей стратегии зависит от тех возможностей, которыми располагает специалист. Естественно, что, выбрав один из вариантов, специалист по мере роста своего дохода от профессиональной деятельности может перейти к реализации другого варианта, хотя на практике это происходит довольно редко.

Оценивая конкурентоспособность специалиста, по нашему мнению, следует все виды конкурентных преимуществ [2, с. 74] разделить на две группы: преимущества низкого порядка и преимущества высокого порядка.

Преимущества низкого порядка основаны на характеристиках, которые имеет специалист «априорно». Такую систему преимуществ формирует, в основном, установленный набор квалификационных характеристик, приобретаемый специалистом в соответствии со стандартом определенного уровня профессионального образования, а также социальные и психологические характеристики специалиста, на формирование которых специалист не затрачивает интеллектуальных, финансовых или временных ресурсов. Такие характеристики достаточно устойчивы, составляют основу личности специалиста, влияют на

результативность профессиональной деятельности как в зависимости от выбранного им профиля специальности, так и в зависимости от конкретной занимаемой им должности.

К преимуществам высокого уровня относятся уникальные профессиональные навыки, освоение только начинающих внедряться технологий, высокая профессиональная репутация, опыт работы в экстремальных условиях или по разработке и внедрению инновационных технологий.

К такому типу конкурентных преимуществ, по нашему мнению, следует отнести и **индивидуальную профессионально-конкурентную ориентацию специалиста** на рынке труда, при которой личная тектология специалиста подчинена достижению высоких результатов в своей деятельности на протяжении всей профессиональной жизни.

Особое место в этой связи следует отвести вопросу самоуправления социально-профессиональной конкурентоспособностью специалиста [6], [7] в основу которой, по нашему мнению, должны быть положены следующие принципы:

- специализация позволяет сокращать число направлений для саморазвития, на которые должно быть направлено внимание и ресурсы (материальные, финансовые, интеллектуальные, временные);
- власть – это не возможность подчинять себе других, а право идти впереди других и увлекать их за собой вперед для достижения совместных целей;
- дисциплина – это средство сделать свою деятельность результативной;
- единство цели – цель должна быть одна, способов ее достичь и задач, решаемых для ее достижения – много;
- приоритет стратегических интересов над тактическими – каждодневные интересы должны быть сориентированы на достижение долговременных целей;
- вознаграждение – каждое крупный этап в реализации цели должен быть памятен; форма самоощущения должна быть адекватна личным интересам специалиста;
- централизация – сведение профессионально-ориентированной информации и действий в единое целое;
- иерархия – повышение конкурентоспособности, сопровождающееся социально-профессиональной мобильностью; она при этом может реализовываться как по горизонтали (рост квалификации), так и по вертикали (повышение в должности и изменение статуса в социально-профессиональной группе); кроме того целесообразна профессионально-миграционная мобильность (переход в организации или на предприятия, нуждающиеся в специалистах, имеющих более высокий уровень профессиональных достижений);
- порядок – форма самоорганизации, позволяющая специалисту оптимизировать свое социально-профессиональное (материально-техническое и информационно-коммуникативное) пространство;
- справедливость – инструмент формирования уверенности в целесообразности концентрации значительных ресурсов, направленных на повышение своей конкурентоспособности, посредством оптимального достижения планируемого результата; в общечеловеческом плане – это результат сочетания благожелательности с правосудием;
- стабильность окружения – наиболее рациональное сочетание устойчивости своего социально-профессионального окружения (рабочей команды), и лишь при необходимости – смена части его как по объективным (возраст, болезнь, отставка), так и по субъективным причинам;
- инициатива – создание и разработка плана достижения высокого результата в профессиональной сфере, первопричина, обеспечивающая профессиональный успех;
- единение рабочей команды – инструмент объединения и оптимального сопряжения индивидуальных социально-профессиональных потенциалов специалистов в

единое целое, обеспечивающее достижение и поддержание высокого уровня коллективной конкурентоспособности всей рабочей группы.

В этой связи, по-нашему мнению, особую актуальность приобретает вопрос о разработке комплексной модели оценки социально-профессиональной конкурентоспособности специалиста, которая основывается на квалиметрии специалиста. По нашему мнению, в основе такой модели должны лежать две составляющие, которые определяют «внутреннюю» и «внешнюю» сторону индивидуальной социально-профессиональной конкурентоспособности специалиста.

«Внутрисистемные» преимущества [2, с. 76] формируют его внутренний индивидуальный потенциал конкурентоспособности и представляют собой совокупность показателей, отражающих уровень квалификационных (теоретические знания, практикоориентированные умения и навыки, инфомационно-технологическая подготовка), социально-психологических (психологический тип личности [5, с. 38], информационная культура, коммуникативная культура, личная тектология и т.д.), и социально-экономических (имущественный, образовательный и властный статус членов семьи) характеристик специалиста. Внутренний индивидуальный потенциал социально-профессиональной конкурентоспособности специалиста можно представить в форме вектора-столбца

$$\bar{Z} = \begin{pmatrix} x_{i1} \cdot y_{11} + x_{i2} \cdot y_{12} + \dots + x_{im} \cdot y_{1m} \\ x_{i1} \cdot y_{21} + x_{i2} \cdot y_{22} + \dots + x_{im} \cdot y_{2m} \\ \dots \\ x_{i1} \cdot y_{n1} + x_{i2} \cdot y_{n2} + \dots + x_{im} \cdot y_{nm} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \dots \\ z_n \end{pmatrix}.$$

Его координатами являются числа z_j , характеризующие уровень социально-профессиональной конкурентоспособности конкретного специалиста при условии осуществления им своей профессиональной деятельности на различных должностях определенных типов производства, $\bar{X}_i = (x_{i1}; x_{i2}; \dots; x_{im})$ - долевые значения каждого из компонентов социально-профессиональной конкурентоспособности, определяемые

статистическими методами; а $\bar{Y} = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nm} \end{pmatrix}$ - матрица социально-

профессиональных характеристик специалистов для различных типов производства (ее строки формируются экспертными методами из координат векторов приоритетов социально-профессиональных характеристик специалистов, занимающего различные должности на определенном типе производства). Определение максимального значения индивидуального профессионально-должностного рейтинга специалиста как функции $I = r_i = \max(z_j)$ позволяет выработать рекомендации для специалиста по оптимальному выбору сферы его дальнейшей профессиональной деятельности [3].

«Внесистемные» преимущества специалиста формируются посредством как показателя, характеризующего рейтинг вуза I_{W_j} , выпускником которого является специалист, так и показателя $I_{F_k} = \frac{1}{R_{F_k}}$, представляющего обратную величину рейтинга предприятия (организации, фирмы), которое является потенциальным работодателем

специалиста. Обобщенный показатель уровня «внесистемных» преимуществ специалиста можно представить мультипликативной моделью вида: $S = I_{W_j} \cdot I_{F_k}$

Таким образом, мультипликативной моделью социально-профессиональной конкурентоспособности специалиста, имеющего определенный уровень сформированности социально-профессиональных характеристик, являющегося выпускником конкретного вуза и претендующего на получение конкретного рабочего места в фирме, может быть представлена в форме интегративного показателя социально-профессиональной конкурентоспособности специалиста (СПКС), в основу которой положена технология квалиметрического оценивания: $K = I \cdot S$.

Таким образом, социально-профессиональная конкурентоспособность специалиста может быть описана интегративным показателем СПКС, посредством которого можно сформировать как статическую, так и динамическую характеристику специалиста. При этом статическая характеристика специалиста позволяет анализировать конкурентоспособность специалиста в данный момент времени в системе сложившейся системы социально-профессионального взаимодействия с определенными субъектами рынка труда. Динамическая характеристика специалиста позволяет анализировать изменения в структуре конкурентных преимуществ, позиции в отношении различных субъектов рынка труда, зоны потенциального развития и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванченко, Л.А. Основы успеха: теория и практика менеджмента [Текст] / Л.А. Иванченко – М.: Мысль, 2003. – 286 с.
2. Морозова, А.В. Управление процессом профессиональной социализации студентов вузов в условиях модернизации институтов образования. Монография [Текст] / А.В. Морозова, Н.А. Фролова – Орел: Издательство ОРАГС, 2005. – 200 с.
3. Морозова, А.В. Квалиметрическая оценка уровня социально-профессиональной конкурентоспособности выпускников на региональном рынке труда [Текст] / А.В. Морозова // Известия ОрелГТУ. Серия Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. / Материалы VIII Международной научно-технической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы в машиностроительном комплексе» - «Технология – 2007» / Орел – Хельсинки, 30 июня – 8 июля 2007 г. – 2007. - № 1/265(531). – С. 147-155.
4. Ожегов, С.И. Словарь русского языка [Текст] / С.И. Ожегов – М., Русский язык, 1990.
5. Тайгер, П. Делай то, для чего ты рожден / Пол Д. Тайгер, Барбара Бэррон-Тайгер; пер. с англ. А.Г. Абилюсинова. – М.: АСТ: Апрель, 2005. – 683 с.
6. Фатхутдинов, Р.А. Управление конкурентоспособностью [Текст] / Р.А. Фатхутдинов // Стандарты и качество – 2000. - № 10. – С. 10-13.
7. Адлер, Ю.П. Лидерство как механизм постоянного обеспечения конкурентоспособности [Текст] / Ю.П. Адлер // Стандарты и качество – 2000. - № 10. – С. 14-22.

Морозова Анна Валентиновна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
К.с.н., заместитель директора по НИР Технологического института ОрелГТУ, доцент
Адрес: г. Орел, ул. Московская, д.34,
Тел./факс (4862) 555524
E-mail: ti@ostu.ru, anna_mor@orel.ru

Р.Н. ПОЛЯКОВ, А.В. КОРНАЕВ

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ С ДВУЦЕНТРОВОЙ РАСТОЧКОЙ ВТУЛКИ В КАЧЕСТВЕ ОПОР ТЯЖЕЛО НАГРУЖЕННЫХ МАШИН

В статье рассмотрен гидродинамический подшипник скольжения с двуцентровой расточкой, применяемый в качестве опор тяжело нагруженных машин. Представлена методика определения гидродинамических сил с учетом сложной геометрии и температурного изменения свойств смазочного материала.

In this article we considered mechanism of functioning of a heavy-loaded machine support with double-centered fluid-film bearing. Methodology of calculation of flow force considering geometry and fluid thermal properties is described.

Процесс течения смазочного материала является трехмерным. Однако динамика и колебательные процессы валов на масляной пленке обычно рассматриваются в плоскости поперечного сечения цапфы, а поле давлений и реакция гидродинамического подшипника скольжения находятся в плоскости развертки цилиндрической поверхности подшипника (рисунок 1) [1]:

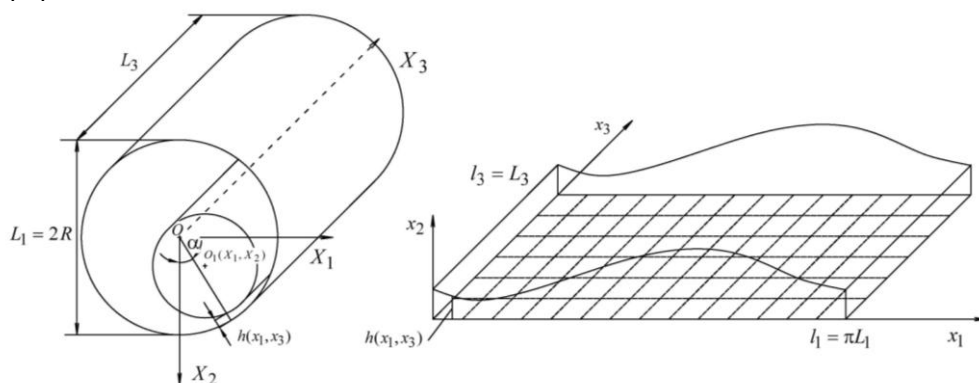


Рисунок 1 – Геометрические параметры гидродинамического подшипника скольжения

Учет сложной геометрии опорной поверхности подшипника скольжения производится заданием соответствующей функции зазора $h(x_i)$. Подшипники скольжения, имеющие двуцентровую расточку втулки, получили преимущественное распространение в тяжелом машиностроении. Опорная поверхность такого подшипника показана на рисунке 2. Геометрия втулки определяется значениями радиусов расточки R_1 , R_2 и смещением центров m_2 следующим образом:

$$h = h_0(\alpha) - X_1 \sin \alpha - X_2 \cos \alpha, \quad (1)$$

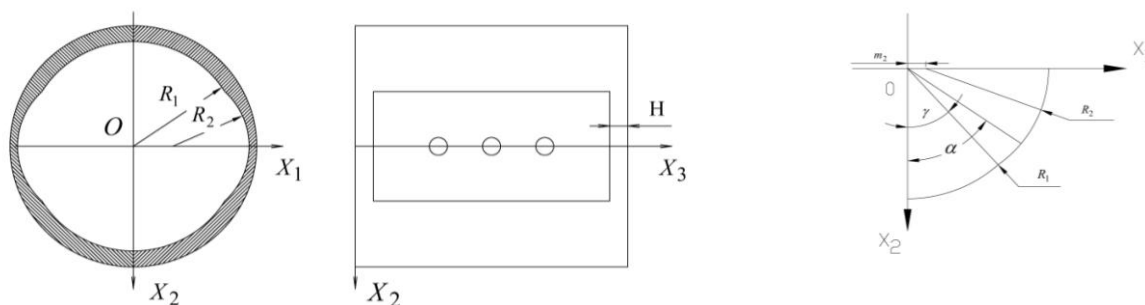


Рисунок 2 – Геометрия опорной поверхности гидродинамического подшипника скольжения с двуцентровой расточкой (масляными карманами)

$$h_0(\alpha) = \begin{cases} h_0, \text{ при } \alpha \leq \gamma = \arcsin\left(\frac{R_2^2 - m_2^2 - R_1^2}{2m_2R_2}\right) \\ h_0 + \sqrt{m_2^2 \sin^2 \alpha - (R_2^2 - m_2^2)} + m_2 \sin \alpha - R_1, \text{ при } \alpha > \gamma \end{cases}, \quad (2)$$

где $\alpha = \frac{x_1}{R}$ – угловая координата (рисунок 1);

γ – угол пересечения дуг окружностей радиусами R_1 и R_2 . В местах резкого изменения профиля функции $h(x_i)$, следует применять сглаживание с помощью аппроксимирования кривой Безье (рисунок 3).

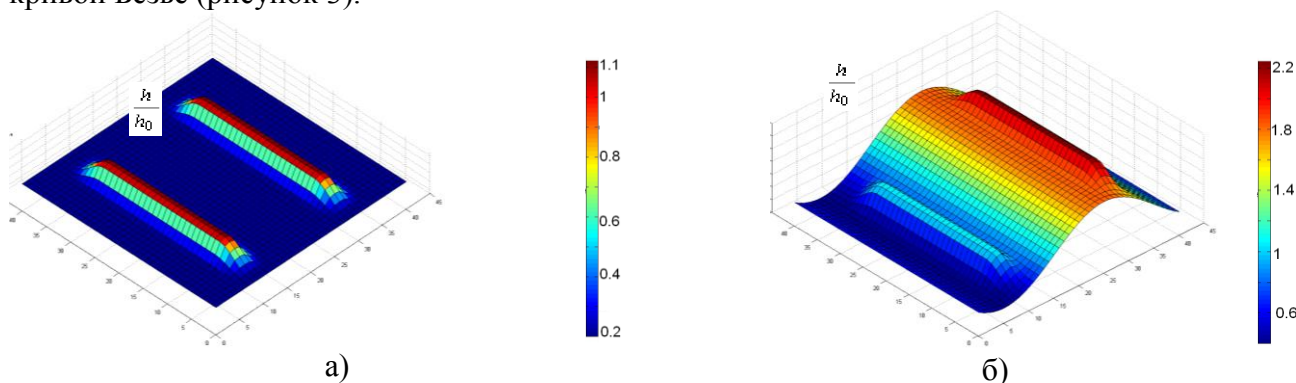


Рисунок 3 – Функция зазора подшипника с масляными карманами: (а) – для соосного положения цапфы и втулки, (б) – для несоосного положения цапфы и втулки

Поле давлений $p(x_i)$ в конкретный момент времени определяется решением уравнения Рейнольдса (рисунок 6) ¹:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{h^3 \rho}{\mu K_i} \frac{\partial p}{\partial x_i} \right] = 6 \frac{\partial}{\partial x_1} (\rho U_1 h) - 12 \rho U_2 + 12 h \frac{\partial \rho}{\partial t}, \quad (3)$$

где K_i – коэффициенты турбулентности ($i = 1, 3$); U_1, U_2 – касательная и нормальная компоненты скорости на поверхности цапфы;

ρ, μ – плотность и динамическая вязкость жидкости. Скорости U_i в точках на поверхности цапфы составляют:

$$U_1 = \omega R + \frac{dX_1}{dt} \cos \alpha - \frac{dX_2}{dt} \sin \alpha; \quad U_2 = \frac{dX_1}{dt} \sin \alpha + \frac{dX_2}{dt} \cos \alpha; \quad U_3 = 0. \quad (4)$$

При расчете реакций смазочного слоя используются следующие безразмерные параметры:

$$\bar{x}_i = \frac{x_i}{L_i}; \bar{t} = \frac{t}{t_0}; \bar{h} = \frac{h}{h_0}; \bar{\psi}_0 = \frac{h_0}{R}; \bar{p} = \frac{p}{p_0}; \bar{U}_i = \frac{t_0 U_i}{h_0}; \bar{\rho} = \frac{\rho}{\rho_0}; \bar{\mu} = \frac{\mu}{\mu_0}, \quad (5)$$

$$\bar{\theta} = \frac{\theta}{\theta_0}; \bar{\theta}_a = \frac{\theta_a}{\theta_0}; \bar{C}_p = \frac{C_p}{C_{p0}}; \bar{k} = \frac{k}{k_0}; \bar{R} = \frac{R}{p_0 L_1 L_3};$$

где $t_0 = 2\pi/\omega$ – период одного оборота;

ω – угловая скорость вращения;

ψ_0 – относительный зазор;

θ – температура смазки;

θ_a – температура контактной поверхности (температура цапфы);

$p_0, \mu_0, \rho_0, \theta_0, C_{p0}, k_0$ – базовые постоянные значения давления, вязкости, плотности, температуры, теплоемкости и коэффициента теплоотдачи.

¹ В работе используется правило А. Эйнштейна и исключение из него А.И. Лурье о суммировании по повторяющемуся индексу.

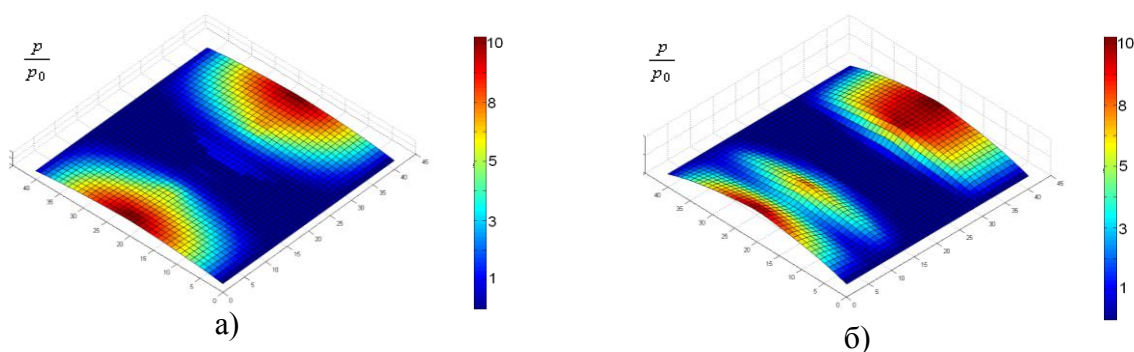


Рисунок 4 – Поле давлений: (а) для гладкого подшипника, (б) для подшипника с двухцентровой расточкой втулки

Реакции смазочного слоя в проекциях на оси координат X_1, X_2 :

$$R_1^{PC} = \int_0^{l_3} \int_0^{l_1} p(x_i) \cdot \cos \alpha dx_1 dx_3, \quad R_2^{PC} = \int_0^{l_3} \int_0^{l_1} p(x_i) \cdot \sin \alpha dx_1 dx_3, \quad (6)$$

Для учета изменения теплофизических свойств смазки, используются приближенные функции зависимости вязкости, плотности и теплоемкости от температуры:

$$\mu = \mu' e^{-\delta(\theta - \theta')}, \quad \rho = \rho' - K_\theta \cdot \theta; \quad C_p = C'_p + K_{1\theta} \cdot \theta \quad (7)$$

где $\delta, K_\theta, K_{1\theta}$ – коэффициенты уравнения регрессии;
 μ' – базовое значения вязкости при соответствующей базовой температуре θ' ;
 ρ', C'_p – плотность и теплоемкость при нуле градусов Цельсия;
 θ – температура в градусах Цельсия.

Учет изменения свойств жидкости требует определения поля температур в области течения, решением уравнение баланса тепла (рисунок 5):

$$\rho C_p \frac{d\theta}{dt} = \frac{dp}{dt} + \nabla \cdot (\lambda \nabla \theta) + T_\sigma \cdot T_\xi, \quad (8)$$

где λ – коэффициент теплопроводности;
 T_σ, T_ξ – тензоры напряжений и скоростей деформации.

Согласно допущениям, сделанным при выводе уравнения Рейнольдса, а также полагая, что температура постоянна по толщине слоя, а теплообмен с окружающими поверхностями описывается законом Ньютона-Рихмана, окончательно уравнение баланса тепла запишется в виде:

$$h\rho C_p \left[\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial \theta}{\partial x_i} \left(-\frac{h^2}{12\mu K_i} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{U_i}{2} \right) \right] = \frac{\partial p}{\partial t} h + k(\theta_a - \theta) + \frac{U_j h}{2\mu} \frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{U_j^2 K_j \mu}{h}. \quad (9)$$

Уравнения (9) и (14) с соответствующими граничными и начальными условиями и дополнительными соотношениями представляют собой замкнутую систему. Для учета характера движения потока используется модель турбулентного потока Константинеску. Определение температуры и давления в питающих камерах осуществляется решением одномерной задачи течения жидкости в канале, а также балансом расходов смазки.

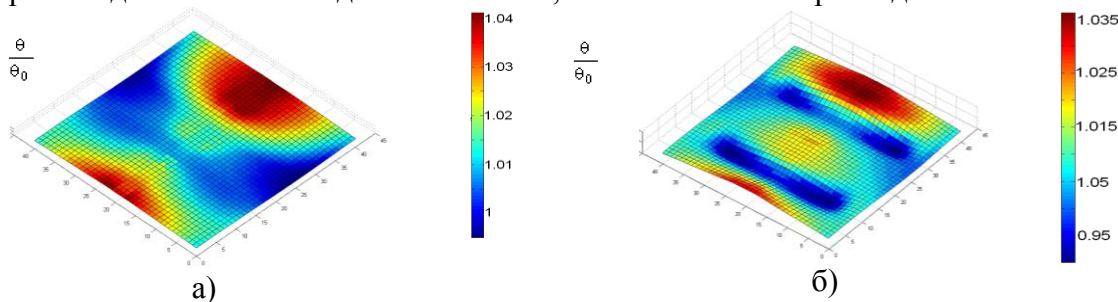
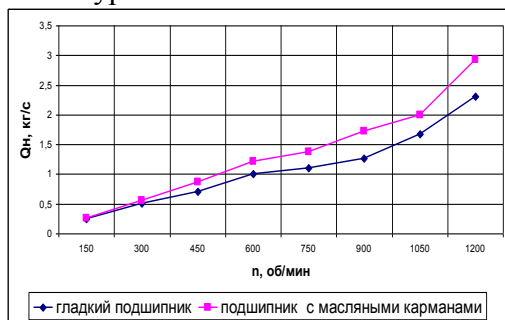
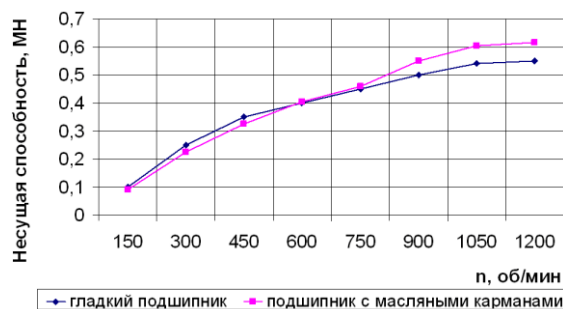


Рисунок 5 – Поле температур, (а) для гладкого подшипника, (б) для подшипника с масляными карманами

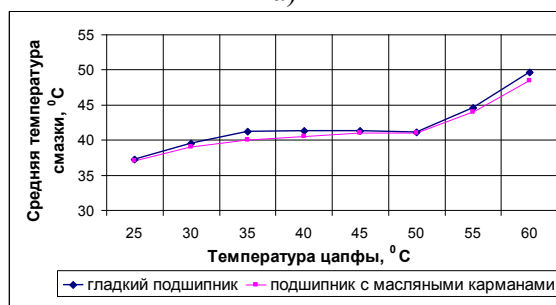
На рисунке 6 представлены результаты расчета подшипников скольжения, применяемых в качестве опор сортопрокатного стана 350 «Оскольского электрометаллургического комбината»



а)



б)



в)

Исходные данные расчета:
гладкий подшипник скольжения: 250х270 мм; подшипник с масляными карманами: $R_1 = 175$ мм, $R_2 = 174$ мм, $m_2 = 1.1$ мм; давление подачи 0.5 МПа; смазочный материал: масло МС20, подача смазки через круглые камеры, температура смазки на подаче 40 0С

Рисунок 6 – Результаты расчета подшипника скольжения стана 350 «ОЭМК» (а) расход смазочного материала, (б) несущая способность, (в) средняя температура смазочного материала

ВЫВОДЫ

Применение двухцентровых гидродинамических подшипников скольжения в качестве опор тяжело нагруженных машин является оправданным. Подшипники такой конструкции с некоторыми уточнениями и применением численных методов решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савин, Л.А. Теоретические основы расчета и динамика подшипников скольжения с парожидкостной смазкой [Текст] / Л.А. Савин - Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Орел, 1998. – 352 с.
2. Михеев, М.А. Основы теплопередачи [Текст] / М.А. Михеев, И.М. Михеева – Изд. 2-е, стереотип. М.: «Энергия», 1977 г. 343 с.
3. Поляков, Р.Н. Повышение динамических качеств и ресурса опорных узлов роторов совмещением подшипников качения и скольжения. [Текст] / Р.Н. Поляков - Дис. кандидата технических наук. – Орел, 2005, – 154 с.
4. Кучеряев, Б.В. Механика сплошных сред (теоретические основы обработки давлением композитных металлов с задачами и решениями, примерами и упражнениями) [Текст]: УЧЕБНИК для вузов / Б.В. Кучеряев – М.: МИСиС, 2006. – 604 с.
5. Снеговский, Ф.П. Опоры скольжения тяжелых машин [Текст] / Ф.П. Снеговский – М.: Машиностроение, 1969. – 223 с.

Корнаев А.В.,

Старооскольский технологический институт, г. Старый Оскол
Аспирант
Тел.: (4725) 32-98-41;
E-mail: rusakor@inbox.ru.

Поляков Р.Н.

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук
Тел.: (4862) 41-98-49
E-mail: pmp1@ostu.ru.

УДК 662.927

К.В. ПОДМАСТЕРЬЕВ, О.С. ПЕТРОВА

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАТИЧЕСКОЙ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ УСТРОЙСТВА
КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА
В ПОМЕЩЕНИИ ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ**

В статье представлены результаты экспериментальных исследований датчика температуры для устройства контроля и регулирования температуры воздуха в помещении лечебно-профилактического учреждения

In this article results of experimental researches of the gauge of temperature for the device of the control and regulation of temperature of air are submitted in treatment-and-prophylactic establishment

ВВЕДЕНИЕ, ПОСТАНОВКА, ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

По СНиП 2.08.02-89 в лечебно-профилактических учреждениях (ЛПУ) необходимо поддерживать определенную температуру воздуха в помещениях в зависимости от их назначения в диапазоне от 18 до 25 °С.

В ОрелГТУ разработано устройство контроля и регулирования температуры (рисунок 1) [1], обеспечивающее решение указанной задачи в автоматическом режиме. Предлагаемое устройство устанавливается согласно СНиП 41-01-2003 у отопительного прибора и предназначено для использования в помещениях, оборудованных однотрубной системой отопления (свыше 80% ЛПУ имеют такую систему отопления). Специфика однотрубных систем отопления заключается в требованиях к применению запорной арматуры с низким значением коэффициента гидравлического сопротивления ξ , которое по ГОСТ 10944-75 не должно превышать 3,5. Выпускаемые промышленностью устройства автоматического регулирования температуры предназначены, как правило, для двухтрубных систем отопления и имеют $\xi \gg 3,5$ [2].

Конструкция предлагаемого устройства (рисунок 1) состоит из двух основных узлов: устройства контроля и устройства регулирования. При отклонении температуры воздуха от заданного при настройке значения датчик температуры, являющийся основным элементом устройства контроля, реагирует на это изменение, шток датчика движется, воздействуя на устройство регулирования, которое в свою очередь запорным устройством (открывая и закрывая проходное отверстие) регулирует поток теплоносителя в отопительный прибор.

Авторами выдвинута и доказана гипотеза о возможности снижения коэффициента гидравлического сопротивления устройства регулирования за счет наклона перегородки регулирующего органа под углом α к движению потока теплоносителя. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили обосновать область рекомендуемых значений угла наклона перегородки $17^\circ < \alpha < 24^\circ$ [3].

Однако для эффективной работы предложенного устройства регулирования необходимо обеспечить увеличенный по сравнению с аналогами ход штока датчика температуры в рабочем диапазоне температур при невысоких его габаритах (устройство устанавливается непосредственно у отопительного прибора) и большое усилие на этом

штоке (шток датчика непосредственно регулирует запорное устройство). Разработке такого датчика и посвящена настоящая работа.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ, ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ЕГО МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Для решения поставленной задачи предложено использовать датчик температуры с твердым наполнителем, отличительной особенностью которого является высокий коэффициент объемного расширения (около 7% на 1°C) его наполнителя – воска (смесь алюминиевой пудры и церезина). За счет этого свойства при незначительных габаритах датчика реализуется наибольший ход штока и максимальное усилие. В качестве конкретной реализации датчика выбран серийно выпускаемый отечественной промышленностью датчик [4], схема которого представлена на рисунке 2 (а).

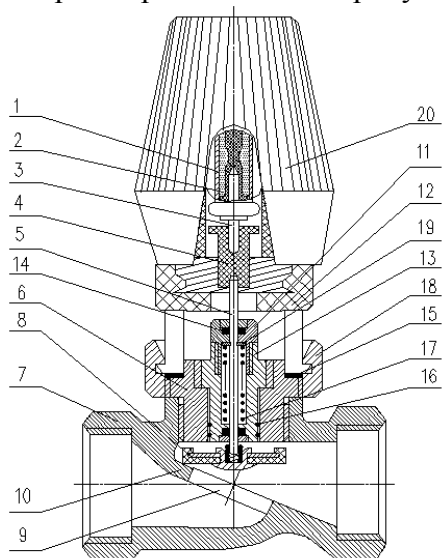


Рисунок 1 - Устройство контроля и регулирования температуры

- 1 – датчик температуры; 2 – термочувствительный элемент;
- 3 – шток датчика температуры; 4 – теплоизолирующая втулка;
- 5 – шток клапана; 6 – клапан; 7 – устройство регулирования;
- 8 – запорное устройство; 9 – проходное отверстие;
- 10 – перегородка; 11, 13 – втулки; 12 – основание;
- 14, 16 – сальниковые уплотнения; 15 – сменная прокладка;
- 17 – возвратная пружина; 18 – накидная гайка; 19 – опорная шайба; 20 – крышка

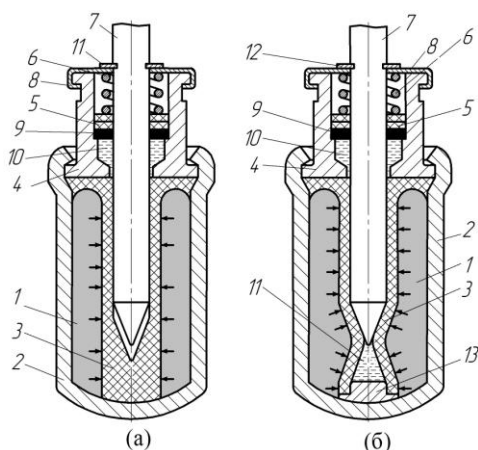


Рисунок 2 - Конструкция прототипа (а) и предлагаемого (б) датчиков температуры

- 1 – наполнитель; 2 – корпус; 3 – втулка из упругого материала;
- 4 – втулка; 5 – прокладка; 6 – пружина; 7 – шток; 8 – защитный колпак;
- 9 – сальник; 10 – переменная емкость; 11 – дополнительная переменная емкость; 12 – стопорная шайба;

При повышении температуры наполнитель 1 изменяет свое агрегатное состояние (плавится), что приводит к его объемному расширению и, соответственно, к увеличению давления на резиновую втулку 3. Вследствие этого эффекта шток 7 выдавливается из втулки, перемещаясь вверх (прямой ход). При понижении температуры происходит обратный процесс, при этом объем воска уменьшается и за счет пружины 6 шток перемещается вниз (обратный ход). Смазывание осуществляется за счет смазочного материала, помещенного в переменную емкость 10 и в зазор между штоком 7 и резиновой втулкой 3.

Согласно имеющемуся теоретическому описанию работы аналогичных датчиков температуры статическая характеристика датчика линейна [4]. В то же время анализ представленной конструкции показывает, что наличие резиновой втулки 3 должно приводить к гистерезису характеристики датчика. Это обусловлено тем, что определенная доля изменения объема наполнителя при изменении температуры будет компенсироваться не перемещением штока, а деформацией резиновой втулки 3. Характерным для известной конструкции является и то, что резиновая втулка 3 в своей нижней части имеет большой объем резины, не участвующей в процессе преобразования температуры в перемещение штока, что наряду с увеличением гистерезиса, очевидно, ограничивает ход штока.

Для увеличения хода штока

13 – заглушка при снижении гистерезиса характеристики предложено изменить конструкцию датчика температуры. С учетом проведенного выше анализа предложено путем введения заглушки 13 (рисунок 2, б) в резиновой втулке 3 выполнить дополнительную полость 11, заполнив ее смазочным материалом, тем самым уменьшить объем резины и улучшить смазку штока датчика.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

Для проверки правильности выдвинутой гипотезы об улучшении метрологических характеристик датчика за счет внесения указанных выше конструктивных изменений проведены сравнительные исследования статических характеристик датчиков. *Объектами исследований* являлись серийно выпускаемые датчики – прототипы (схема представлена на рисунке 2 (а) и макеты разработанных датчиков (рисунок 2 (б)).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Исследования проводились в лаборатории СКБприбор ЗАО «ОРЛЭКС» на специальном стенде, включающем жидкостной термостат, обеспечивающий возможность изменения температуры воды в ванне в заданном диапазоне, и приспособление для крепления исследуемого датчика и измерения хода его штока. Температура перемешиваемой воды измерялась вычислителем СПТ 941 фирмы «Логика» с подключенным термометром сопротивления типа Pt500. Ход штока определялся индикатором часового типа ИЧ 10. Используемое измерительное оборудование обеспечивало определение температуры с погрешностью, не превышающей 0,1 °С, а хода штока – с погрешностью не более 0,01 мм.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Заключалась в следующем:

- температуру воды в ванне перед началом эксперимента охлаждали до 15,5 °С;
- нагревали воду в термостате со скоростью 0,05 °С/мин и регистрировали прямой ход штока датчика температуры $h_{пр.пр.}(t)$ для прототипа или $h_{н.пр.}(t)$ для предложенного датчика через каждые 0,1 °С в диапазоне температур t от 16 до 27 °С;
- охлаждали воду в термостате со скоростью 0,05 °С/мин и регистрировали обратный ход штока датчика температуры $h_{пр.обр.}(t)$ для прототипа или $h_{н.обр.}(t)$ для предложенного датчика через каждые 0,1 °С в диапазоне температур t от 27 до 16 °С.

Эксперимент повторяли трижды для каждого датчика.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате проведенных исследований получены статические характеристики прототипа и датчика температуры предлагаемой конструкции при прямом и обратном ходе (характерные примеры экспериментальных зависимостей представлены на рисунке 3).

Анализ полученных экспериментальных данных проводился по следующим направлениям:

- исследовалась воспроизводимость характеристик прямого и обратного хода;
- исследовалась неравномерность (нелинейность) характеристик прямого и обратного хода;
- исследовались полный и рабочий ходы штока датчика;
- исследовался гистерезис характеристик.

При исследовании воспроизводимости характеристик по результатам трех экспериментов рассчитывалась средняя характеристика прямого хода и средняя характеристика обратного хода для прототипа и предложенного датчика. Затем для каждой из полученных четырех характеристик определялись статистические оценки степени рассеянности экспериментальных значений от средней характеристики:

- среднее значение относительного среднеквадратического отклонения $S_{ср}$:

$$S_{cp} = \sum_{i=1}^{110} \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^3 [h_j(t_i) - h_{cp}(t_i)]^2}{2}} / \sum_{i=1}^{110} h_{cp}(t_i); \quad (1)$$

и приведенное среднеквадратическое отклонение:

$$S_{пр} = \left(\frac{1}{h_{cp}(27^\circ\text{C}) - h_{cp}(16^\circ\text{C})} \right) \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{110} \sum_{j=1}^3 [h_j(t_i) - h_{cp}(t_i)]^2}{329}}, \quad (2)$$

где $h_j(t_i)$ – значение хода штока датчика температуры при температуре t_i в j -том эксперименте;

$h_{cp}(t_i)$ – среднее значение хода штока датчика температуры при температуре t_i ;

$t_1 = 16^\circ\text{C}$.

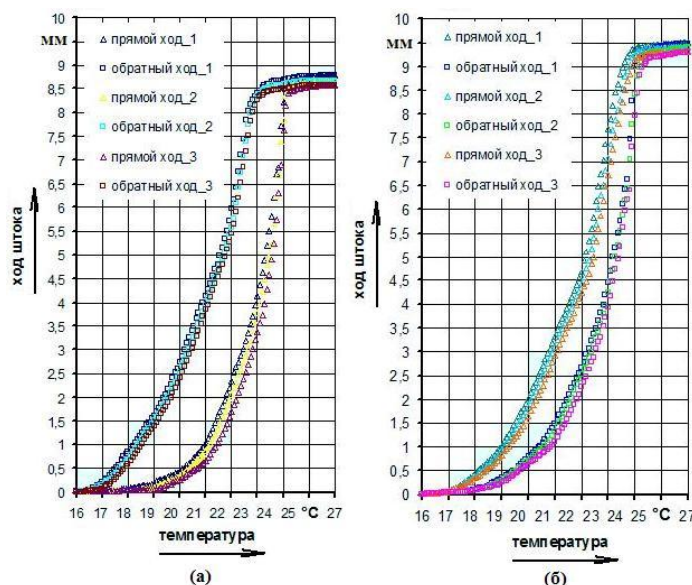


Рисунок 3 – Экспериментальные статические характеристики датчика температуры: (а) прототип; (б) новой конструкции

При исследовании неравномерности (нелинейности) каждой из полученных четырех средних характеристик на рабочем участке этой характеристики определялось $\delta h_{cp \max}$ – наибольшее отклонение хода штока от прямой, проведенной через точки с координатами $h_{cp}(18^\circ\text{C})$ и $h_{cp}(25^\circ\text{C})$. Затем рассчитывалось значение нелинейности:

$$\Delta = \left| \delta h_{cp \max} \right| / \left| h_{cp}(25^\circ\text{C}) - h_{cp}(18^\circ\text{C}) \right|. \quad (3)$$

При исследовании полного $\Delta h_{cp \Pi}$ и рабочего $\Delta h_{cp \text{ раб}}$ хода штока датчика определялись, соответственно, значения:

$$\Delta h_{cp \text{ раб}} = h_{cp}(25^\circ\text{C}) - h_{cp}(18^\circ\text{C}), \quad (4)$$

$$\Delta h_{cp \Pi} = h_{cp}(27^\circ\text{C}) - h_{cp}(16^\circ\text{C}). \quad (5)$$

При исследовании гистерезиса характеристик прототипа и предлагаемого датчика определялась площадь, образованная средними статическими характеристиками прямого и обратного хода соответствующих датчиков. С учетом полученных экспериментальных данных гистерезис F определялся из выражения вида:

$$F = 0,1 \sum_{i=1}^{110} \left| h_{cp \text{ обр}}(t_i) - h_{cp \text{ пр}}(t_i) \right|, \quad (6)$$

где $h_{\text{ср пр}}(t_i)$ и $h_{\text{ср обр}}(t_i)$, соответственно, прямой и обратный ход штока датчика при температуре t_i .

Полученные значения рассчитанных оценок метрологических характеристик исследованных датчиков представлены в таблице 1

Таблица 1 – Оценки метрологических характеристик датчиков температуры

№	Метрологическая характеристика	Прототип		Предлагаемый датчик	
		Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход
1	$S_{\text{ср}}$	0,055	0,028	0,037	0,114
2	$S_{\text{пр}}$	0,020	0,013	0,014	0,050
3	Δ	0,45	0,16	0,39	0,20
4	$\Delta h_{\text{ср раб}}$, мм	8,01	8,01	8,92	8,99
5	$\Delta h_{\text{ср п}}$, мм	8,68	8,68	9,40	9,40
6	F, мм·°C	18,49		11,11	

ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Как прототип, так и предложенный датчик имеют хорошую воспроизводимость характеристик прямого хода, при этом значения параметров $S_{\text{ср}}$ и $S_{\text{пр}}$ у предложенного датчика ниже на, соответственно 32 % и 35 %. Воспроизводимость характеристики обратного хода у предложенного датчика существенно (практически в четыре раза) хуже, хотя значения параметров $S_{\text{ср}}$ и $S_{\text{пр}}$ для него относительно невелики и составляют, соответственно, 11,4 % и 5 %.

2. Как прототип, так и предложенный датчик имеют высокую и практически идентичную неравномерность статических характеристик, при этом для прямого хода характеристика предложенного датчика несколько лучше (39 % против 45 %), а для обратного хода – несколько хуже (20 % против 16 % у прототипа)

3. Полный ход штока предложенного датчика увеличился по сравнению с прототипом на 0,72 мм, что составляет 8 %, средний рабочий ход – на 0,95 мм (12 %);

4. Как прототип, так и предложенный датчик имеют высокий гистерезис статической характеристики, при этом гистерезис характеристики предложенного датчика существенно (на 40 %) ниже.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные экспериментальные исследования по сравнению статических характеристик предложенного датчика температуры и прототипа подтвердили достижение поставленной задачи по улучшению метрологических характеристик датчика. При приблизительно равных прочих характеристиках усовершенствованная контракция датчика обеспечивает увеличение рабочего хода штока порядка 12% и существенное снижение гистерезиса – практически на 40 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 2302031 РФ, МКИ G 05 D 23/02. Регулятор температуры [Текст] / С.А. Чистович, С.П. Петров, А.И. Суздальцев, О.С. Петрова. – Оpubл. 27.06.2007, Бюл. № 18.
2. Современное водяное отопление. Системы отопления. Монтаж. Эксплуатация: Справочник [Текст] / Сост. В.И.Назаров, В.И. Рыженко – М.: Издательство ОНИКС, Литиздат, 2005. – 320 с.
3. Подмастерьев К.В. Моделирование устройства контроля и регулирования температуры воздуха с наклонной перегородкой [Текст] / К.В. Подмастерьев, О.С. Петрова – Известия ОрелГТУ. - 2008. - №1
- 4 Тимошенко К.Д. Датчики температуры с твердым наполнителем. Библиотека приборостроителя [Текст] / К.Д. Тимошенко – М.: Машиностроение, 1975. – 138 с.

Подмастерьев Константин Валентинович

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Доктор технических наук, зав. кафедрой «Приборостроение, метрология и сертификация», профессор

Петрова Ольга Сергеевна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирант кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»
Адрес: Россия, 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: (4862)419876;
E-mail: lavanda777@bk.ru

ПЕТРОВ С. П., СУЗДАЛЬЦЕВ А. И.

ГРАФО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫМ КОНТУРОМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПИКОВОЙ НАГРУЗКОЙ

Предложен графо-параметрический метод оценки эффективности системы управления локальным контуром теплоснабжения с пиковой нагрузкой, основанный на вариации динамических характеристик моделей системы и выборе оптимальной из них. Приведен пример реализации метода.

The graphico-parametrical method for an effectiveness estimation of the control system of a heat supply local circuit with a peak demand based on a dynamic behaviour variation of system models and a choice of an optimal dynamic behaviour is offered. There is shown a sample of method realization.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ автоматизированной системы управления когенерационной системой централизованного теплоснабжения (АСУ КСЦТ) предполагает качественную оценку поведения системы в целом и количественную оценку степени удовлетворения требований к процессам управления. Основными требованиями, предъявляемыми к АСУ КСЦТ, являются: устойчивость системы управления, инвариантность управляемой переменной к возмущающим воздействиям, ковариантность с задающим воздействием и робастность (параметрическая инвариантность), т.е. ограниченная чувствительность системы к вариациям характеристик элементов настройки [1,2].

Известные аналитические и экспериментальные методы математического моделирования, используемые для оценки эффективности АСУ КСЦТ, достаточно трудоемки и требуют много дополнительной информации о динамике объекта управления, которую в большинстве случаев можно определить только экспериментально [3,4].

Для анализа сложных технических систем, к которым относится АСУ КСЦТ, в теории автоматического управления широко применяется операторный метод, в основу которого положен известный метод интегральных преобразований Лапласа [1]. Операторная форма записи и запись передаточной функции по Лапласу при нулевых начальных условиях совпадают, но так как последняя требует учета начальных условий, они должны быть в общем случае обязательно оговорены.

Предлагаемый графо-параметрический метод оценки эффективности системы управления в отличие от операторного позволяет с помощью вычислительной системы «MathCAD» по обобщенной передаточной функции модели АСУ КСЦТ или ее подсистемы, например, автоматизированной системы управления локальным контуром теплоснабжения (АСУ ЛКТ), без проведения трудоемких расчетов получить временную характеристику переходного процесса и определить:

- условия сходимости переходного процесса;
- границы изменения физических параметров модели;
- характер траектории временной характеристики переходного процесса исследуемой модели в границах изменения физических величин;
- оптимальную траекторию временной характеристики и параметры, при которых она обеспечивается.

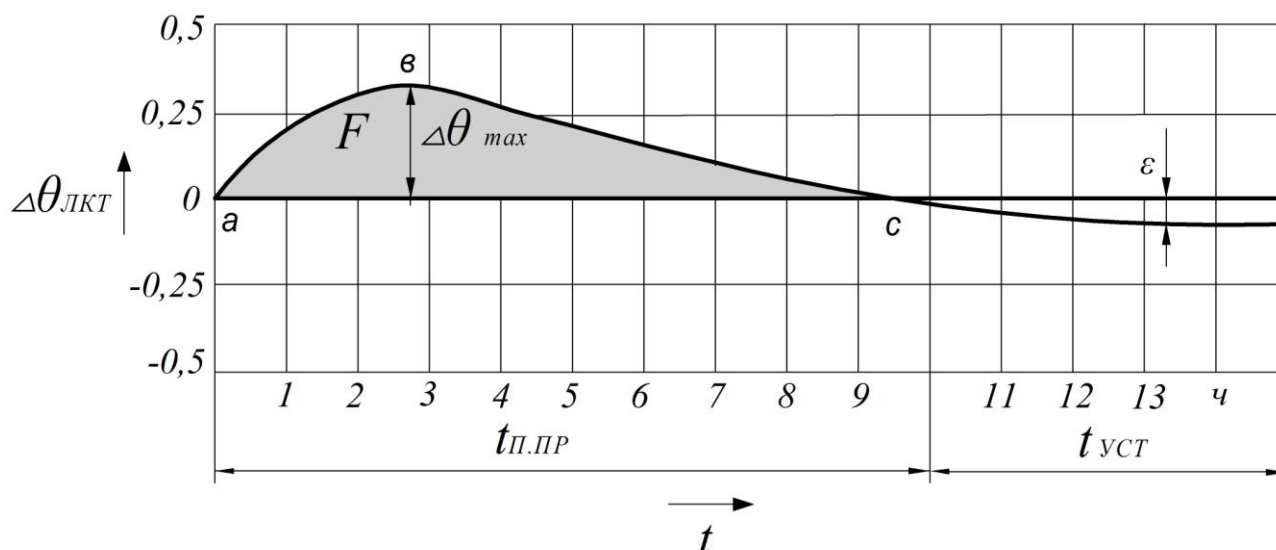


Рисунок 1 – Временная характеристика изменения температуры теплоносителя в локальном контуре теплоснабжения

$\Delta\theta_{ЛКТ}$ – разность температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах локального контура теплоснабжения, выраженная в относительных единицах к заданному диапазону изменения температуры $\Delta\theta_{Т.ГР}$ по температурному графику; $\Delta\theta_{MAX}$ – максимальная разность температур теплоносителя; ε – погрешность отклонения фактической температуры от расчетной (соответствующей температурному графику); $t_{П.ПР}$ – время переходного процесса; $t_{УСТ}$ – время установившегося состояния; F – площадь положительной полуволны

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ

Оценка энергетических затрат производится следующим образом:

- По модели объекта управления, представленной в операторной форме, определяются передаточные функции составляющих ее звеньев и значения коэффициентов, входящих в обобщенную передаточную функцию системы.

- Производится предварительный расчет коэффициентов передачи в передаточных функциях по каналам управления и возмущения (независимо друг от друга) с учетом ограничения: произведение коэффициентов передачи по каналу управления и сумма коэффициентов передачи по каналу возмущения равны единице. Ограничение позволяет обеспечить нулевые начальные условия при построении временной характеристики переходного процесса.

- Для различных значений коэффициента передачи K и времени запаздывания регулятора τ , при различном соотношении быстрых и медленных тепловых потерь, выраженных соответственно через коэффициенты передачи K_B и K_M , строятся графики изменения общей передаточной функции с использованием системы «MathCAD».

- С помощью обратного преобразования Лапласа полученные графики представляются в виде временных характеристик переходного процесса, связывающих изменение температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах в диапазоне температурного графика под воздействием параметров управления, (рисунок 1).

- Из множества полученных графиков выбираются те, у которых погрешность отклонения фактической температуры от расчетной ε равна или меньше заданной, и у них определяют следующие параметры: время переходного процесса $t_{П.ПР}$ и площадь

положительной полуволны F , ограниченную кривой переходного процесса $a - b - c$ и временем переходного процесса, по формуле:

$$F_i = k_0 \cdot \int_0^{t_{П.ПР}} \Delta\theta_{ЛКТ}(t) dt; \quad \varepsilon \leq k_0 \cdot \left| \varepsilon_{P.\max} \right|_{t_{УСТ}}, \quad (1)$$

где $k_0 = \Delta\theta_{Т.ГР}$ - коэффициент перевода температуры из относительных единиц в абсолютные;

$\Delta\theta_{Т.ГР}$ - максимальное (расчетное) значение изменения температуры теплоносителя для температурного графика, в соответствии с которым работает источник тепловой энергии, °С;

• Определяется из выбранных графиков оптимальный вариант - с минимальной величиной площади положительной полуволны $F_{ОПТ}$, используя выражение:

$$F_{ОПТ} \Rightarrow \min k_0 \cdot \int_0^{t_{П.ПР}} \Delta\theta_{ЛКТ}(t) dt. \quad (2)$$

• Используя значение $F_{ОПТ}$, определяются оптимальные энергетические затраты, необходимые для компенсации управляющим воздействием влияния возмущающих факторов, из выражения:

$$Q_{ОПТ} = c \cdot m \cdot \frac{F_{ОПТ}}{t_{П.ПР}}, \quad (3)$$

где $c = 4,187 \cdot 10^3$ - удельная теплоемкость воды, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$;

$m = m_1 \cdot t_{П.ПР}$ - массовый расход в локальном контуре теплоснабжения за время переходного процесса, кг;

m_1 - массовый часовой расход, кг/ч;

$t_{П.ПР}$ - время переходного процесса, ч.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

В качестве иллюстрации предлагаемого метода рассмотрим операторную модель АСУ ЛКТ с пиковой нагрузкой, представленную на рисунке 2.

Обобщенная передаточная функция операторной модели АСУ ЛКТ с пиковой нагрузкой (рис. 2), обеспечивающая условие инвариантности управляющего воздействия к внешним возмущениям, выражается зависимостью:

$$W_1(s) = \frac{K_{P.ПН} \cdot K_{ПН} \cdot K_{К.ТР}}{(T_{ПН} \cdot s + 1) (T_{К.ТР} \cdot s + 1)} \cdot e^{-s(\tau_{P.ПН} + \tau_{К.ТР})} - \left[\frac{K_B}{T_B \cdot s + 1} + \frac{K_M}{(T_M \cdot s + 1)^2} \cdot e^{-s\tau_M} \right]. \quad (4)$$

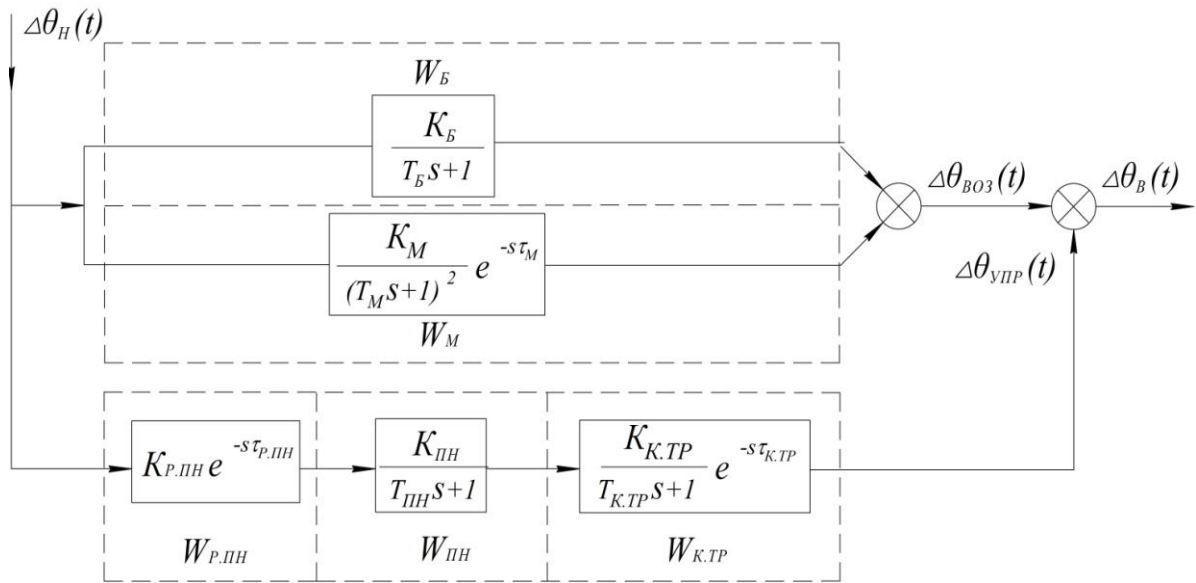


Рисунок 2 – Операторная модель АСУ ЛКТ с пиковой нагрузкой

s – оператор Лапласа; $K_M, K_B, K_{K.ТП}, K_{ПН}, K_{P.ПН}$ – коэффициенты передачи: по каналам медленных (наружные теплоемкие ограждения) и быстрых (наружные нетеплоемкие ограждения, окна) тепловых потерь, квартальных трубопроводов, пиковой нагрузки, регулятора пиковой нагрузки; $T_M, T_B, T_{K.ТП}, T_{ПН}$ – постоянные времени: наружных (теплоемких) ограждений, быстрых (нетеплоемких) ограждений, квартальных трубопроводов, пиковой нагрузки; $\tau_M, \tau_{K.ТП}, \tau_{P.ПН}$ – время запаздывания: наружных теплоемких ограждений, квартальных трубопроводов, регулятора пиковой нагрузки; $\Delta\theta_H(t), \Delta\theta_{ВОЗ}(t), \Delta\theta_{УПР}(t)$ – величина изменения, соответственно, температуры наружного воздуха, возмущающего и управляющего воздействий; $\Delta\theta_B(t)$ – величина изменения температуры воздуха в контрольном помещении здания

Передаточные функции звеньев, входящих в операторную модель АСУ ЛКТ, приведены в таблице 1 [4].

Таблица 1– Передаточные функции звеньев модели АСУ ЛКТ с пиковой нагрузкой

Объект	Передаточная функция
Наружные теплоемкие ограждения (стены)	$W_M = \frac{K_M}{(T_M \cdot s + 1)^2} \cdot e^{-s\tau_M}$
Наружные нетеплоемкие ограждения (окна)	$W_B = \frac{K_B}{T_B \cdot s + 1}$
Изолированные квартальные трубопроводы	$W_{K.ТП} = \frac{K_{K.ТП}}{(T_{K.ТП} \cdot s + 1)^2} \cdot e^{-s\tau_{K.ТП}}$
Пиковая нагрузка	$W_{ПН} = \frac{K_{ПН}}{T_{ПН} \cdot s + 1}$
Регулятор пиковой нагрузки	$W_{P.ПН} = K_{P.ПН} \cdot e^{-s\tau_{P.ПН}}$

Численные значения коэффициентов передачи, постоянных времени и времени запаздывания, входящих в формулу (4), представлены в таблице 2 [2].

Таблица 2 – Значения параметров пиковой нагрузки

Параметры	$K_{P.ПН}$	$K_{ПН}$	$K_{K.ТР}$	K_B	K_M
Коэффициенты передачи	1,6	0,9	0,7	0,7	0,3
Постоянные времени, с	--	$T_{ПН}$	$T_{K.ТР}$	T_B	T_M
	--	0,01	0,05	0,1	1
Время запаздывания, с	$\tau_{P.ПН}$	--	$\tau_{K.ТР}$	--	τ_M
	0,01	--	0,025	--	0,17

Для расчетов с помощью вычислительной системы «MathCAD» в таблице принято условное время $20 \text{ ч} = 1 \text{ с}$, т. е, $T_M = 1 \text{ с}$ соответствует фактическому времени 20ч.

Уравнение (4) и данные таблицы 2 были введены в вычислительную систему MathCAD. С помощью прямого и обратного преобразования Лапласа получены решения уравнения (4) в виде графиков переходного процесса, представленные на рисунке 3.

Из множества полученных графиков на рисунке 3 представлены варианты:
 а) $\tau_{P.ПН} = 0,01$; $K_B = 0,7$; $K_M = 0,3$ - с оптимальными параметрами настройки регулятора (время запаздывания минимальное, объекты управления с малой инерционностью);
 б) $\tau_{P.ПН} = 0,02$; $K_B = 0,6$; $K_M = 0,4$ - с неоптимальными параметрами настройки регулятора пиковой нагрузки (время запаздывания максимальное, объекты управления с большой инерционностью). В обоих случаях коэффициенты передачи равны: $K_{P.ПН} = 1,6$; $K_{ПН} = 0,9$; $K_{K.ТР} = 0,7$. Для температурного графика $110 - 70^\circ\text{C}$ со срезкой 100°C $\Delta\theta_{T.ГР} = 100 - 70 = 30^\circ\text{C}$.

По полученным с помощью вычислительной системы «MathCAD» графикам производится оценка энергетических затрат, необходимых для перехода системы из одного состояния в другое при оптимальных и неоптимальных параметрах настройки регулятора пиковой нагрузки, т.е. оценка качества управления по критерию снижения энергетических затрат в динамическом режиме.

Для случая с оптимальными (а) и неоптимальными (б) параметрами настройки регулятора пиковой нагрузки, представленного на рисунке 3, энергетические затраты, необходимые для перехода системы из одного состояния в другое с целью поддержания температурного графика с заданной погрешностью ($\varepsilon \leq 3^\circ\text{C}$) при среднем расходе в локальном контуре теплоснабжения, например, в областном противотуберкулезном диспансере (г. Орел), равном $m_1 = 118 \cdot 10^3 \text{ кг/ч}$, рассчитанные по формуле (3), будут равны:

$$\text{а) } Q_{ОПТ} = c \cdot m \cdot \frac{F_{ОПТ}}{t_{П.ПР}} = \left(4,187 \cdot 10^3 \cdot 118 \cdot 10^3 \cdot 17 \cdot 30 \cdot \frac{1,865}{17} \right) = \\ = 27642992700 \text{ Дж} = 27,64 \text{ ГДж}$$

$$\text{б) } Q_i = c \cdot m \cdot \frac{F_{ОПТ}}{t_{П.ПР}} = \left(4,187 \cdot 10^3 \cdot 118 \cdot 10^3 \cdot 17 \cdot 30 \cdot \frac{2,217}{17} \right) = \\ = 32860329660 \text{ Дж} = 32,86 \text{ ГДж}$$

Приведенные расчеты показывают, что в областном противотуберкулезном диспансере превышение энергетических затрат, обусловленных неоптимальными параметрами настройки регулятора пиковой нагрузки за 17 часов (т.е. меньше, чем за сутки), составило 5,22 ГДж.

По известным значениям $Q_{опт}$ и Q_i определяется величина снижения энергетических затрат при оптимальных параметрах настройки регулятора пиковой нагрузки:

$$E_W = \left(1 - \frac{Q_{опт}}{Q_i}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{32,86}{27,64}\right) \cdot 100\% = 16\% \quad (5)$$

Таким образом, предлагаемый графопараметрический метод позволяет определить оптимальные коэффициент передачи и время запаздывания регулятора пиковой нагрузки, необходимые для обеспечения заданной погрешности управления с минимальными энергетическими затратами при заданных теплотехнических характеристиках объекта управления.

ВЫВОДЫ

- разработан механизм исследования динамики переходного процесса в АСУ КСЦТ на примере АСУ ЛКТ с пиковой нагрузкой, основанный на операторном методе с использованием в качестве инструментария вычислительной системы «MathCAD», с возможностью оценки качественных показателей системы управления;
- предложен интегральный критерий оценки качества системы управления, представляющий собой площадь положительной полуволны оптимальной графической зависимости, приведенной к энергетическим затратам;
- определены значения параметров настройки регулятора пиковой нагрузки, обеспечивающие минимальные энергетические затраты и заданную погрешность поддержания температурного графика в зданиях с различными теплотехническими характеристиками, выраженными через соотношение быстрых и медленных тепловых потерь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория автоматического управления [Текст]: учеб. для вузов / С.Е. Душин, С.Н. Зотов, Д.Х. Имаев и др; под ред. В.Б. Яковлева. – 2-е изд., перераб., - М.: Высш. шк., 2005. – 567 с.
2. Петров, С.П. Автоматизация когенерационных систем теплоснабжения с распределенными пиковыми нагрузками [Текст] Монография / под общ. ред. д.т.н., проф. А.И. Суздальцева – М.: Машиностроение – 1, 2007. - 304 с.
3. Соколов, В. А. Автоматизация технологических процессов пищевой промышленности. [Текст]: учебник для вузов / В.А. Соколов – М.: – Агропромиздат, 1991. – 445 с.
4. Мухин, О.А. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции [Текст]: учеб. пособие для вузов / О.А. Мухин – Мн.: Высш. шк., 1986. – 304 с.
5. Чистович, С.А. Автоматическое регулирование расхода тепла в системах теплоснабжения и отопления. [Текст] / С.А. Чистович – Л.: Стройиздат, 1975. - 160с.
6. Петров, С.П. Зависимость динамических характеристик объекта управления и параметров регулятора в функционально завершенной САУ когенерационной системы теплоснабжения [Текст] / С.П. Петров // Справочник. Инженерный журнал. - 2006. - № 5. - С. 53-57.
7. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети [Текст]: учебник для вузов / Е.Я. Соколов – 7-е изд., стереот. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.

Петров Сергей Петрович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение»
Адрес: Россия, 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: (4862)419830
E-mail: lavanda777@bk.ru

Суздальцев Анатолий Иванович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, профессор кафедры «Проектирование и технология электронно-вычислительных средств»
Адрес: Россия, 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: (4862)419560
E-mail: lavanda777@bk.ru

Е.В. ПАХОЛКИН, С.А. МОРЯКИН

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Работа содержит теоретическое обоснование возможности исследования качества моторных масел электрическим методом. Исследуемый признак качества масел – группа химических свойств. Рассмотрена эффективность отдельных диагностических параметров

The work contains a theoretical substantiation of an opportunity of engine oils quality research by electric method. The investigated attribute of oils quality is a chemical properties group. Efficiency of different diagnostic parameters is considered.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

Смазочные материалы (СМ) и, в частности, моторные масла (ММ) относятся к продукции массового производства. По различным данным на 2005 г. объем производства масел всех типов в России составил от 2407 до 2700 тыс. тонн, объем импорта – 212,2 тыс. тонн, а объем экспорта – 1099,6 тыс. тонн. В 2006 г. отмечен прирост производства до 3 млн. тонн. При этом объем рынка моторных (доля которых составляет 30 %) и трансмиссионных масел к 2006 г. возрос до 1 млн. тонн.

Таким образом, масштабы производства и потребления СМ являются поистине глобальными, что уже является веской причиной необходимости совершенствования диагностического обеспечения ММ.

Тем не менее, основные негативные экономические эффекты от низкого качества СМ следует рассматривать совершенно в ином аспекте. ММ – неотъемлемый элемент любого автомобиля, причем во многом определяющий его надежность и прочие важнейшие характеристики (потери мощности двигателя, экономичность, экологичность и пр.). По статистике затраты на ремонт автотранспортных средств в развитых странах составляют десятки миллиардов долларов, причем в России эти расходы почти в два раза больше, чем в США [1]. Для установления полной картины потерь и затрат необходимо учитывать множество прочих факторов: отказ СМ, их неверный выбор, несвоевременное обновление – все это приводит к интенсивному износу двигателя. Из-за износа двигателя теряется до 15 % его мощности и возрастает расход топлива, увеличивается количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, возрастают простои транспорта (в среднем автохозяйстве они достигают от 30 до 40 % календарного времени).

Таким образом, реальные экономические потери еще более существенны, и оценить их в полной мере не представляется возможным. Снижение потерь может быть достигнуто за счет эксплуатации ММ с должным уровнем эксплуатационных свойств.

В первой половине 19 века понятия о СМ и их функциональных свойствах сводились к понятиям «вязкость», «смазывание», «эмульгируемость», «коллоидная стабильность». В настоящее время различают следующие функциональные свойства ММ: вязкостно-температурные, моющие, химические, диспергирующие, стабилизирующие, солубилизирующие, антиокислительные, противопенные, противоизносные, противозадирные, антифрикционные, противокоррозионные, защитные и пр. Результатом такой многофункциональности СМ являются и развитие представлений о СМ и смазочном действии, и достижения химмотологии, выраженные в совершенствовании СМ за счет направленного формирования их состава и свойств. Современное моторное масло представляет собой сложную систему, содержание базовых компонентов в которой снижено уже до 70 %. Соответственно, содержание присадок, формирующих и улучшающих функциональные свойства моторных масел, достигает 30 %.

В данном аспекте важнейшей группой эксплуатационных свойств ММ является группа химических свойств, а непрерывное совершенствование состава ММ и постоянно меняющиеся требования к их качеству объясняют необходимость и актуальность разработки

новых и совершенствования используемых методов и средств контроля и диагностирования ММ.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Группу химических свойств ММ составляют следующие: химический состав масла, общее щелочное число (TBN), общее кислотное число (TAN), число нейтрализации, число сильных кислот (SAN), содержание серы, коксуемость, сульфатная зольность, летучесть, испаряемость [2]. При этом отдельные показатели и характеристики являются нормируемыми. Некоторые из показателей (например, TBN и TAN) используются в качестве диагностических параметров, по которым можно судить о качестве эксплуатируемого масла [3].

Недостатком диагностирования ММ с использованием большинства из приведенных признаков является то, что они интегрально оценивают состояние масла. Проведение же полного химического анализа состава ММ представляется задачей, практически не имеющей решения. В любом случае, этот подход неприемлем для разработки диагностического обеспечения ММ и технологий непрерывного мониторинга их качества в процессе эксплуатации.

Решением проблемы может являться разработка метода, который удовлетворял бы следующим требованиям:

- сравнительно низкая стоимость технических средств и методического обеспечения;
- минимальные затраты на проведение анализа пробы ММ;
- в основе принятия решения о качестве масла (о моменте его замены) должны быть идентификация компонентов деструкции в масле или установление подобия пробы масла образцу, в качестве которого может служить образец отработанного ММ, подлежащего замене;
- критерии подобия пробы масла образцу с наличием недопустимого количества продуктов деструкции должны быть научно обоснованы.

ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ПОДХОД И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Диэлькометрический метод контроля состояния моторного масла имеет следующие преимущества: сравнительная простота технической реализации, экономичность, надежность технических средств. Однако измерение диэлектрической проницаемости или тангенса угла потерь на одной частоте не позволяет в полной мере решить поставленные задачи по разработке метода диагностирования, так как увеличение диэлектрической проницаемости может быть вызвано различными причинами (не только деструкцией).

В работе [4] показана возможность совершенствования диэлькометрического метода контроля с целью улучшения его функциональных возможностей и повышения достоверности при диагностировании ММ. При этом отмечено, что переход от анализа предельной низкочастотной диэлектрической проницаемости ϵ к частотным характеристикам (дисперсия диэлектрической проницаемости и потери) может существенно повысить информативность диагностирования.

Предлагается, таким образом, перейти к рассмотрению комплексной диэлектрической проницаемости:

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' ,$$

где ϵ' – диэлектрическая проницаемость вещества;
 ϵ'' – диэлектрические потери.

Определим зависимости ϵ' и ϵ'' от частоты для компонентов ММ.

Для чистых веществ частотная зависимость дисперсии диэлектрической проницаемости описывается уравнениями Дебая [5]:

$$\epsilon' = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon - \epsilon_\infty}{1 + \omega^2 \tau^2} ,$$

$$\varepsilon'' = \frac{(\varepsilon - \varepsilon_\infty)\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2}, \quad (1)$$

где ε_∞ – предельная высокочастотная диэлектрическая проницаемость;
 ω – круговая частота;
 τ – макроскопическое время релаксации.
 Уравнение Дебая для $\text{tg}(\delta)$ имеет вид:

$$\text{tg}(\delta) = \frac{(\varepsilon - \varepsilon_\infty)\omega\tau}{\varepsilon_\infty\omega^2\tau^2 + \varepsilon}.$$

Для сильнополярных веществ применяется уравнение Коула-Коула:

$$\varepsilon^* = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon - \varepsilon_\infty}{1 + (j\omega\tau)^{1-\alpha}}, \quad (2)$$

где α – коэффициент распределения времен релаксации.

Для большинства веществ приводятся справочные данные в виде нескольких точек зависимости ε' и $\text{tg}(\delta)$ от частоты.

Частота $f_m = 1/(2\pi\tau)$, на которой наблюдается максимум диэлектрических потерь ε'' , называется предельной частотой. По имеющимся справочным данным, различные вещества характеризуются своими индивидуальными значениями параметров τ , f_m , ε_∞ и ε . Следовательно, появление в масле новых компонентов, для которых числовые значения рассмотренных параметров существенно отличаются от значений для базовых компонентов масел, приводит к изменению характера дисперсии диэлектрической проницаемости и потерь.

Значение τ может быть найдено как решение системы двух уравнений, то есть достаточно одной точки зависимости $\text{tg}(\delta(f))$ и значения предельной низкочастотной диэлектрической проницаемости:

$$\begin{cases} \tau = \frac{\varepsilon - \varepsilon'(f)}{\text{tg}(\delta(f)) \cdot \omega \cdot \varepsilon'(f)}, \\ \varepsilon_\infty = \varepsilon'(f) \cdot \frac{\varepsilon - \varepsilon'(f) [1 + \text{tg}^2(\delta(f))]}{\varepsilon - \varepsilon'(f)}. \end{cases}$$

Если $\varepsilon'(f) > \varepsilon$, то это может говорить о резонансном характере релаксации, однако, ограничиваясь уравнением Дебая, возможно нахождение ε_∞ , ε и τ по двум и более точкам зависимости $\text{tg}(\delta(f))$. Громоздкие формулы для этого случая не приводятся.

Вид зависимостей ε' и ε'' от частоты на примере серной кислоты показан на рисунке 1.

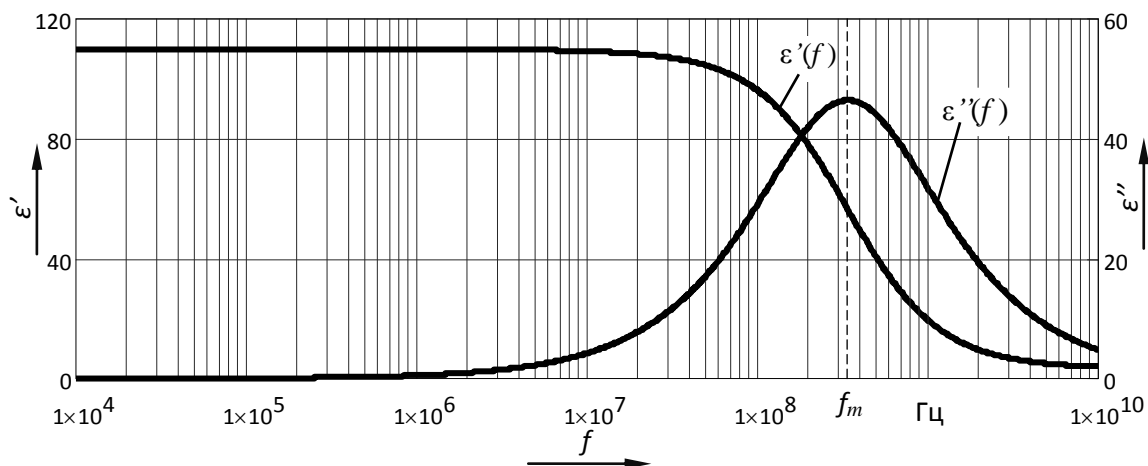


Рисунок 1 – Зависимости ε' и ε'' от частоты для серной кислоты

В таблице 1 сведены данные по химическому составу моторного масла, объемным долям различных компонентов до и после эксплуатации. Для веществ, выделенных подчеркиванием, приведены параметры ε , ε_∞ и τ .

Таблица 1 – Дисперсионные параметры и объемные доли компонентов моторного масла

Компоненты	ε	ε_∞	$\tau, 10^{-11} \text{ с}$	Доля, %	
				до эксплуатации	после эксплуатации
Нафтеновые (циклические) углеводороды (<u>метилциклогексан</u> , <u>циклогексан</u> , метилциклопентан)	2,024	2,02	0,47	56	55
Парафиновые (предельные) углеводороды (эйкозан, изопентан, <u>гексан</u> , триаконтан)	1,985	1,90	95,2	22	21
Ароматические углеводороды (этилбензол, <u>хлорбензол</u>)	5,63	2,55	1,19	10	9,5
Асфальто-смолистые. вещества	2,1	нет данных		1	2
Сера и сернистые соединения (<u>сероуглерод</u> и др.)	2,648	2,64	0,35	0,4	2
Азотистые соединения.	1,46	нет данных		< 0,8	< 0,8
Нафтеновые кислоты (<u>гексановая</u> , октановая)	2,65	2,63	140	<0,02	1,5
Присадки (алкилфенольная, сульфонатная, алкилсалицилатная, диалкилдитиофосфатная, сукцинимидная)	2,4	нет данных		10	10
Неорганические кислоты (<u>серная</u> ($\alpha=0,09$), сернистая).	110	3	47	0	1,5
Оксикислоты (молочная, <u>ацетоновая</u> , <u>уксусная кислота</u>)	6,3	3,33	4,55	0	2
Асфальтены	2,4	нет данных		0	2
<u>Вода</u> ($\alpha=0,161$)	80,3	29,86	1,03	0	1,5

Как видно, предельные частоты отдельных компонентов лежат выше 100 МГц, то есть эффективно могут быть обнаружены только СВЧ-методами.

В [6] указывается, что для ε' и ε'' смеси справедливы те же формулы суммирования, что и для статической диэлектрической проницаемости. Диэлектрическая проницаемость многокомпонентной смеси зависит от диэлектрических проницаемостей компонентов, вида частиц и структуры смеси. Общая диэлектрическая проницаемость ε лежит в следующих границах, определенных для слоистой структуры при направлении электрического поля вдоль и поперек границы раздела слоев, соответственно [6]:

$$\varepsilon_{\parallel} = \sum_{j=1}^n \varphi_j \cdot \varepsilon_j, \quad (3)$$

$$\varepsilon_{\perp} = \left(\sum_{j=1}^n \frac{\varphi_j}{\varepsilon_j} \right)^{-1}, \quad (4)$$

$$\varepsilon_{\perp} < \varepsilon < \varepsilon_{\parallel},$$

где φ_j – объемная доля j -го компонента;

ε_j – диэлектрическая проницаемость j -го компонента;

n – количество компонентов.

Объемная доля ϕ_j определяется по формуле:

$$\phi_j = C_j \cdot M_j / \rho_j,$$

где C_j – молярная концентрация;

M_j – молекулярная масса;

ρ_j – плотность j -го компонента.

Суммирование по (3) и (4) для диэлектрических потерь ε'' дает более, чем на порядок различающиеся результаты.

Структура моторного масла – матричная, так как концентрации одних компонентов значительно меньше концентрации других. Смесь веществ, составляющих масляную основу с концентрациями одного порядка, может считаться статистической. Для статистической смеси применимо выражение [6]:

$$\varepsilon_j = \prod_{j=1}^M \varepsilon_j^{\phi_j}, \quad (5)$$

где ε_j – диэлектрическая проницаемость статистической смеси, в данном случае – масляной основы, являющейся матрицей для включений;

M – количество учитываемых компонентов.

Более строгий расчет выполняется с учетом формы молекул. Каждое включение вносит в общую диэлектрическую проницаемость слагаемое вида [6]:

$$\phi_i (\varepsilon_i - \varepsilon_M) \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 \left[1 + \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_M} - 1 \right) A_j \right]^{-1},$$

где ε_i – диэлектрическая проницаемость включения;

A_j – коэффициенты деполяризации вдоль осей частицы произвольной формы ($A_1 + A_2 + A_3 = 1$), зависящие обратно пропорционально от соотношения длин частицы по осям: для тонких дисков $A = \{0; 0; 1\}$, для шаров $A = \{1/3; 1/3; 1/3\}$, для длинных цилиндров $A = \{0; 1/2; 1/2\}$.

Таким образом, общая диэлектрическая проницаемость масла:

$$\varepsilon = \varepsilon_M + \sum_{i=1}^N \left\{ \phi_i (\varepsilon_i - \varepsilon_M) \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 \left[1 + \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_M} - 1 \right) A_{i,j} \right]^{-1} \right\}, \quad (6)$$

где N – количество включений с малой объемной долей.

Принимая для оценочного расчета $A = \{1/3; 1/3; 1/3\}$, получаем:

$$\varepsilon = \varepsilon_M + \sum_{i=1}^N \left\{ \phi_i \frac{3 \cdot \varepsilon_M \cdot (\varepsilon_i - \varepsilon_M)}{\varepsilon_i + 2 \cdot \varepsilon_M} \right\}. \quad (7)$$

Приведенные выражения являются основой для качественной и количественной оценки состава диагностируемой среды. Поясним принцип контроля объемной доли вещества в смеси на простейшем примере. Рассмотрим трехкомпонентную смесь «циклогексан – серная кислота – вода». Для суммирования характеристик $\varepsilon'(f)$ и $\varepsilon''(f)$ будем использовать наиболее часто применяемую формулу (3). Характеристики $\varepsilon'(f)$ и $\varepsilon''(f)$ для этого случая показаны на рисунке 2.

Частотная зависимость диэлектрической проницаемости $\varepsilon'(f)$, как видно из рисунка, менее удобна для оценки объемных долей веществ, поэтому рассмотрим характеристику $\varepsilon''(f)$.

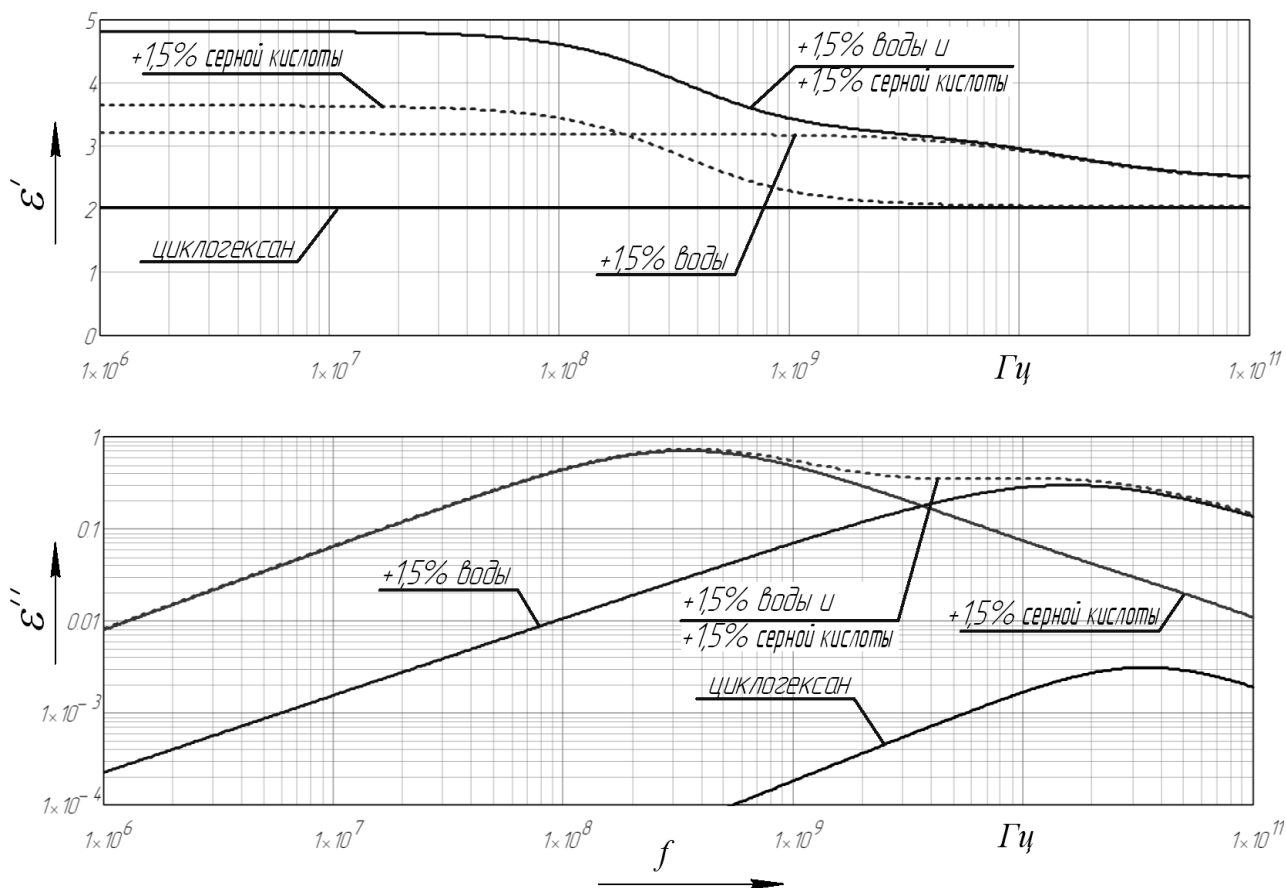


Рисунок 2 – Зависимости $\varepsilon'(f)$ и $\varepsilon''(f)$ трехкомпонентной смеси «циклогексан – серная кислота – вода» при различных объемных долях серной кислоты и воды

Максимум диэлектрических потерь при использовании формулы Дебая (1) и Коула-Коула (2) определяется, соответственно, по формулам:

$$\varepsilon''_{max} = \frac{\varepsilon - \varepsilon_{\infty}}{2},$$

$$\varepsilon''_{max} = -\text{Im} \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_{\infty}}{1 + j^{1-\alpha}} \right).$$

Коэффициенты влияния объемных долей воды и серной кислоты на диэлектрические потери на предельных частотах приблизительно равны ε'' на этих частотах. Соответственно, для воды и серной кислоты имеем:

$$K_B(f_B) \approx \varepsilon''_{B_{max}} = 19,53 \quad K_B(f_{СК}) \approx \varepsilon''_B(f_{СК}) = 1,929$$

$$K_{СК}(f_{СК}) \approx \varepsilon''_{СК_{max}} = 46,43 \quad K_{СК}(f_B) \approx \varepsilon''_{СК}(f_B) = 3,228,$$

где $f_B = 15,53$ ГГц – предельная частота воды;

$f_{СК} = 338,63$ МГц – предельная частота серной кислоты.

Диэлектрическими потерями, вызванными циклогексаном, можно пренебречь, так как они более, чем на два порядка меньше по сравнению с потерями от наличия воды и серной кислоты. Таким образом, из системы уравнений:

$$\begin{cases} \varepsilon''(f_B) = K_{СК}(f_B) \cdot \phi_{СК} + K_B(f_B) \cdot \phi_B, \\ \varepsilon''(f_{СК}) = K_{СК}(f_{СК}) \cdot \phi_{СК} + K_B(f_{СК}) \cdot \phi_B, \end{cases}$$

можно получить оценки объемных долей воды и серной кислоты:

$$\begin{cases} \varphi_{CK} = \frac{\varepsilon''(f_B) \cdot K_B(f_{CK}) - \varepsilon''(f_{CK}) \cdot K_B(f_B)}{K_{CK}(f_B) \cdot K_B(f_{CK}) - K_{CK}(f_{CK}) K_B(f_B)}, \\ \varphi_B = \frac{\varepsilon''(f_{CK}) \cdot K_{CK}(f_B) - \varepsilon''(f_B) \cdot K_{CK}(f_{CK})}{K_{CK}(f_B) \cdot K_B(f_{CK}) - K_{CK}(f_{CK}) K_B(f_B)}. \end{cases} \quad (8)$$

Вычислив по формулам (8) φ_B и φ_{CK} для случая, приведенного на рисунке 2 (1,5 % серной кислоты и 1,5 % воды), получим: $\varphi_B = 1,5116$ и $\varphi_{CK} = 1,4996$, то есть отклонение не превышает 0,78 %.

При возрастании количества компонентов в смеси погрешность увеличится. Приведенный пример сильно абстрагирован от реальных процессов в моторном масле, однако подтверждает принципиальную возможность оценки состояния масла по значениям ε'' на предельных частотах.

ЛИТЕРАТУРА

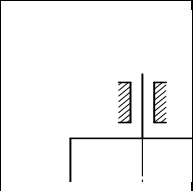
1. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения [Текст]: учебник для вузов /И.И. Беркович, Д.Г. Громаковский; Под ред. Д.Г. Громаковского; Самар. гос. техн. ун-т. Самара, 2000. 268 с.
2. Моторные масла [Текст] / Р. Балтенас, А.С.Сафронов, А.И.Ушаков, В.Шергалес. – Москва-Спб.: Альфа-Лаб, 2000. -272 с.
3. Пахолкин, Е.В. Инструментальное и методическое обеспечение дизелькометрического метода диагностирования моторных масел [Текст] / Е.В. Пахолкин, Н.С. Севрюгина // Известия ОрелГТУ. – Сер. Машиностроение. Приборостроение. – Орел: ОрелГТУ, 2005. – № 2. – С. 38 – 42.
4. Пахолкин, Е.В. Комплекс средств для исследования диэлектрической проницаемости моторных [Текст] / Е.В. Пахолкин, Д.А. Кузьмичев, Р.В. Анашкин // Известия ОрёлГТУ. – Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2007, №3. – С. 107-110.
5. Ахадов, Я.Ю. Диэлектрические свойства чистых жидкостей. Справочник [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1972.
6. Бугров, А.В. Высокочастотные емкостные преобразователи и приборы контроля качества [Текст]. – М.: Машиностроение, 1982.

Пахолкин Евгений Васильевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
 Кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация», доцент
 Адрес: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
 Тел.: (4862) 419876
 E-mail: Eugene_P@bk.ru

Морякин Сергей Александрович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
 Студент
 Адрес: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
 Тел.: (4862) 419876
 E-mail: MoryakinS@mail.ru



Адрес редакции:

Орловский государственный технический университет
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 43-48-90, 40-96-14
www.ostu.ru
E-mail: nmu@ostu.ru

Технический редактор Г.А. Константинова
Корректор Г.А. Константинова
Компьютерная верстка М.Н. Малахов

Сдано в набор 15.06.2008 г.
Подписано в печать 24.06.2008 г.
Формат 60x88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 5,6.
Тираж 600 экз.
Заказ № _____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе ОрелГТУ
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.