

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СЕРВИСА

научный журнал

№ 1 (26) 2008

## СОДЕРЖАНИЕ

### Материалы XII международной научно-практической конференции «Наука — сервису»

Г. К. Михайлов, С. Я. Степанов

ЛЕОНАРД ЭЙЛЕР И МЕХАНИКА —  
К 300-ЛЕТНЕМУ ЮБИЛЕЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ..... 3

Н. М. Конопальцева

ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОДЕЖДЫ  
НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВОЙСТВ  
ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ..... 12

А. А. Агеев

КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
СОВРЕМЕННЫХ НАНОТЕХНОЛОГИЙ  
МОЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ..... 21

Е. А. Лукашев

ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
РЕШЕНИЙ В СЕРВИСЕ  
С ПОЗИЦИЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ХИМИИ ..... 29

**Главный редактор**  
М. Н. БУТКЕВИЧ

**Редакционная коллегия:**

В. Н. АЗАРОВ,  
В. М. АРТИЮШЕНКО,  
А. И. БЕЛОВ,  
Б. В. БОЙЦОВ,  
В. А. ВАСИЛЬЕВА,  
С. Г. ЕМЕЛЬЯНОВ,  
Г. И. ЛАЗАРЕВ,  
И. Н. ЛОГАЧЕВА,  
Е. А. ЛУКАШЕВ  
(зам. главного редактора),  
Л. В. МОРОЗОВА,

А. В. ОЛЕЙНИК,  
И. Э. ПАШКОВСКИЙ  
Н. А. ПЛАТОНОВА,  
Е. Ю. ПОЛИКАРПОВ,  
А. В. ПУТИЛОВ,  
К. Л. САМАРОВ,  
А. В. СУВОРИНОВ,  
Б. П. ТУМАНЯН,  
Л. М. ЧЕРВЯКОВ,  
В. С. ШУПЛЯКОВ

**Редактор**  
Ю. Н. КУЗЬМИЧЕВА  
**Оформление и верстка**  
В. В. ЗЕМСКОВ

Журнал издается в Российском государственном университете туризма и сервиса

В. В. Лозовецкий, Ф. В. Пелевин	
К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК .....	35
С. В. Еремеев, А. К. Прокопенко	
НОВЫЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В БЫТУ И СЕРВИСЕ .....	43
В. М. Сорокин, Г. В. Голубков	
ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ АТМОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ И БЕЗОПАСНОСТИ .....	47
В. С. Шупляков, И. Э. Грибут	
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ АВТОСЕРВИСА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА .....	53
О. И. Шелухин, А. В. Осин	
ФРАКТАЛЫ И СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ УСЛУГ .....	58
Е. С. Погребова	
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ОТКРЫТОГО ДЕПОЗИТАРИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ .....	62

**Адрес редакции:**

111116, Москва, ул. Авиамоторная, 6.  
Тел./факс: (495) 361-11-95.  
e-mail: tpps@list.ru

При перепечатке любых материалов  
ссылка на журнал  
«Теоретические и прикладные  
проблемы сервиса» обязательна.

Редакция не несет ответственности  
за достоверность информации  
в материалах, в том числе рекламных,  
предоставленных авторами  
для публикации.

Журнал зарегистрирован  
в Министерстве РФ по делам печати,  
телерадиовещания  
и средствам массовой коммуникации.  
Свидетельство о регистрации  
ПИ № 77-9918 от 10.10.2001 г.  
ISSN 1815-218X

Подписной индекс в каталоге  
агентства «Роспечать» 46831  
Материалы авторов не возвращаются.  
Тираж 1000 экз.

© Журнал «Теоретические  
и прикладные проблемы сервиса», 2008

## Леонард Эйлер и механика — к 300-летию юбилею со дня рождения

Г. К. Михайлов, С. Я. Степанов

*Институт проблем механики Российской академии наук, г. Москва,  
Вычислительный центр им. А. А. Дородницына  
Российской академии наук, г. Москва*

В апреле 2007 года мы отмечали 300-летие со дня рождения Леонарда Эйлера, одного из величайших математиков и механиков всех времен. Во многом благодаря работам Эйлера сформировался математический анализ (включая дифференциальные уравнения и вариационное исчисление), основаны такие разделы механики, как общая механика, механика твердого тела, гидродинамика идеальной жидкости, созданы язык и стиль современной научной литературы.

### Краткая биография Эйлера

Леонард Эйлер родился 15 апреля 1707 г. (здесь и далее все даты даны по новому стилю) в Базеле (Швейцария). Там же он получил начальное образование и окончил университет. В Базеле на его способности обратил внимание пожилой Иоганн Бернулли, который взялся руководить его самостоятельными занятиями и разрешил ему еженедельно приходить к себе домой для разрешения наиболее трудных вопросов. В 1726 г. И. Бернулли писал: «Счастливейшего дарования юноша Леонард Эйлер, от проницательности и остроты ума которого мы ожидаем самых больших успехов». Тогда же Эйлер познакомился с семьей Бернулли, двое старших сыновей которого были приглашены в 1725 г. в созданную Петром Великим Петербургскую академию наук. Вскоре по протекции братьев Бернулли в Петербург был приглашен и Эйлер, который в 20-летнем возрасте навсегда покинул родину и 24 мая 1727 г. прибыл в Петербург.

Эйлер сразу же активно включился в академическую жизнь. Первую свою работу он доложил в начале августа 1727 г., и с этого времени поток работ Эйлера не иссякал до конца его жизни. В 1730-х годах он выступал в заседаниях чаще всех — в среднем 10 раз в год (при общем числе 30–40 докладов в год), превосходя в этом отношении в два раза следовавших за ним по активности академиков. Только в журнале Академии наук «Комментарии» за 1730–1740 гг. Эйлер опубликовал 58 работ. В январе 1731 г.

Эйлер стал профессором теоретической и экспериментальной физики. Еще через три года он получил кафедру высшей математики, которую занимал в течение восьми лет, вплоть до отъезда в Берлин. С 1735 г. он вел большую работу в Географическом департаменте Академии по подготовке генеральной карты России, в течение многих лет вел в астрономической обсерватории систематические наблюдения Солнца. Сообразно с ростом авторитета Эйлера росло и его материальное благополучие.

Петербургская Академия сыграла решающую роль в становлении Эйлера как ученого мирового масштаба. Его удовлетворяли условия работы в Петербурге вплоть до 1740 г., когда скончалась императрица Анна Иоанновна и были подвергнуты преследованиям многие деятели правительства, в их числе и президент Академии.

Тем временем взошедший на прусский престол Фридрих II задумал создать в Берлине блестящую Академию наук и уже летом 1740 г. распорядился о приглашении «великого алгебраиста» Леонарда Эйлера. Учитывая создавшуюся в Петербурге неустойчивую обстановку, Эйлер принял приглашение. Разрешение на отъезд из Петербурга было дано ему на льготных условиях, с назначением пенсии и звания почетного члена Академии. Эйлер покинул Петербург 19 июня 1741 г. и 25 июля 1741 г. прибыл в Берлин. Попытка Эйлера принять участие в делах устройства Академии не встретила поддержки короля, отдававшего предпочтение французским просветителям. 3 февраля 1746 г. Эйлер был назначен директором математического «класса» Берлинской академии и оставался в этой должности в течение 20 лет. Как и в Петербурге, он выступал около 10 раз в год с научными докладами на еженедельных заседаниях Академии и привлекался к различным техническим экспертизам. Несмотря на то что Эйлер играл в Берлинской академии значительную роль, в 1764–1765 гг. у него возникли разногласия с коллегами-академиками и Фридрихом II по поводу ведения финансовых дел,

и 28 июля Эйлер вернулся в Петербург, куда его постоянно приглашали.

Необходимо подчеркнуть, что в течение 25 лет его наиболее активной творческой жизни в Берлине, Эйлер постоянно поддерживал связь с Петербургской академией наук. Число научных статей (не считая отдельных книг), опубликованных за эти 25 лет в Берлине и Петербурге, составляет, соответственно, около 130 и 100. В Берлине у Эйлера стажировались и жили прикомандированные к нему из Петербурга русские ученики. Как и раньше, он привлекался к разного рода экспертизам и к разрешению сложных научных и внутренних академических вопросов. Так, хорошо известна поддержка Эйлером первых работ Ломоносова, на Эйлере лежала в значительной степени обязанность подбора кадров для Петербургской академии наук и представления ее интересов в Центральной Европе. В 1760 г. Эйлер писал в Россию: «Я до сих пор работал для Императорской Академии не как отсутствующий член, но, наверное, также много, как бы я состоял там налицо».

В Петербурге Эйлер был принят в 1766 г. с большим почетом. Однако осенью 1766 г. у него произошла неожиданно резкая потеря зрения на левый глаз, в результате чего он уже не мог больше читать и писать и вынужден был пользоваться для этого посторонней помощью. Тем не менее за оставшиеся 17 лет он выполнил невероятное количество исследований. По ориентировочным оценкам им подготовлена за эти годы почти половина общего числа всех его опубликованных работ (хотя и не содержащая, как правило, таких фундаментальных результатов, которые характеризовали его предшествовавшие труды). В 1770-х годах Эйлера по-прежнему продолжали еще привлекать к различным экспертизам. Так, в 1776 г. он входил в комиссию по рассмотрению проекта моста через р. Неву, составленного И. П. Кулибиным.

18 сентября 1783 г. 76-летний Эйлер, как всегда, занимался математическими исследованиями, беседовал за обедом об открытии седьмой планеты, вечером за чаем шутил с внуком и неожиданно со словами «я умираю» потерял сознание и через несколько часов умер. Петербургская академия наук оказала Эйлеру достойные почести, в 1786 г. его бюст был установлен на мраморной колонне в зале заседаний Академии против кресла президента. Однако впоследствии могила Эйлера была утеряна. Лишь через полвека ее случайно обнаружили вновь, и в 1837 г. на нее был возложен величественный гранитный камень со скромной латинской надписью «Ле-

онарду Эйлеру Петербургская академия». По случаю 250-летия со дня рождения Эйлера его прах и надгробие были перенесены в некрополь на б. Лазаревское кладбище Александро-Невской лавры.

### Основы механики и математический анализ

Наиболее значительны заслуги Эйлера в развитии рациональной механики и математического анализа (включая теорию дифференциальных уравнений и вариационное исчисление). Работы Эйлера по механике составляют примерно одну треть всех его трудов. Надо подчеркнуть, что механика была первым серьезным увлечением Эйлера. В сохранившихся «записных книжках», которые он вел в возрасте 18–20 лет, уже содержатся подробные планы задуманных им общих трактатов по динамике точки и теории движения жидкостей (а также по теории музыки). О живом интересе Эйлера к механике свидетельствует и сравнительный анализ его опубликованных сочинений, написанных им за первые 10 лет научного творчества (1726–1735). Из общего их объема, составляющего около 1800 страниц (в пересчете на страницы «Opera omnia»), почти 2/3 посвящены механике и только 1/4 высшей математике.

Основные исходные понятия механики и законы движения были подытожены и четко сформулированы в опубликованных в 1687 г. «Математических началах натуральной философии» Ньютона. Однако у Ньютона не доставало еще многих существенных элементов, прежде всего для построения механики системы, твердого тела и сплошной среды. Главным сдерживающим препятствием оставалось то, что «Начала» были изложены с помощью геометрического метода древних, не открывавшего пути для дальнейшего анализа. Развитие систематического подхода к решению задач, равно как и углубление самих основ динамики, сдерживалось отсутствием хорошо разработанного общего аналитического изложения. Первая попытка изложить всю динамику в несколько более простом и систематическом виде, с использованием элементов математического анализа, была предпринята Германом в его «Форономии» (1715/16). Молодой Эйлер направил поначалу свои усилия на упорядочение всей динамики точки того времени и последовательное переложение ее на язык математического анализа. Это было исполнено им в двухтомной «Механике» (1736).

Математические методы были тогда для Эйлера неотделимы от задач механики, для решения которых они применялись. До Эйлера в математике уже были заложены основы диф-

ференциального и интегрального исчисления. Перед математикой и механикой стояла задача всесторонней разработки этого аппарата и применения его для исследования разнообразных приложений. Ни в математике, ни, тем более, в механике еще не существовало общей системы. Требовалось использовать богатые возможности математического анализа, чтобы поднять теоретические и прикладные разделы высшей математики и механики от состояния совокупности отдельных искусственных приемов и решенных задач до уровня систематически построенной науки. Решению этой задачи и было посвящено главным образом творчество Эйлера. Для реализации этой задачи Эйлером был подготовлен 6-томный классический курс математического анализа (объемом около 3000 страниц), два тома которого посвящены «Введению в анализ бесконечно малых» (1748), один том «Наставлениям по дифференциальному исчислению, с его применением к анализу конечных и к учению о рядах» (1755) и три тома «Наставлениям по интегральному исчислению» (1768–1770). Этот блестящий курс, переведенный в наше время и на русский язык, не имеет аналогов среди сочинений XVIII в. Многие из изложенных здесь Эйлером результатов принадлежат ему самому и вошли в золотой фонд достижений математического анализа. Следует также упомянуть и его трактат по вариационному исчислению «Метод нахождения кривых линий, обладающих свойствами максимума или минимума» (1744), а также два тома «Введения в арифметику» (1738–1740) для Петербургской академической гимназии и выдержавшее около 30 изданий на шести европейских языках, двухтомное «Полное руководство по алгебре» (1768–1769), включающее теорию алгебраических уравнений и диофантов анализ.

Среди конкретных результатов, принадлежащих Эйлеру в математическом анализе, для развития механики особую роль играют развитые им методы решения линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами, а также некоторые решения линейного дифференциального уравнения с переменными коэффициентами, частными случаями которого являются уравнения Бесселя, Лежандра и гипергеометрическое уравнение. Эйлером предложены методы приближенного интегрирования дифференциальных уравнений. Он заложил общие подходы в вариационном исчислении и указал дифференциальное уравнение (названное впоследствии его именем), определяющее условия экстремума функционала. Эйлер начал

исследование ряда важных специальных функций ( $B$ - и  $G$ -функций, функций Бесселя первого рода,  $\zeta$ -функции действительного аргумента). Он внес фундаментальный вклад и в развитие теории аналитических функций и теории чисел. Ему принадлежит широкое введение многих общепринятых в наши дни математических обозначений (таких как  $\pi$ ,  $e$ ,  $i$ , обратные тригонометрические функции и др.).

Влиянию сочинений Эйлера на последующее развитие науки в значительной мере способствовал и свойственный ему новый ясный стиль изложения. Основные результаты Эйлера могут использоваться и сегодня в их первоначальном виде. Он является, пожалуй, единственным ученым середины XVIII в., работы которого легко читаются в наши дни. В старости Лагранж говорил: «Истинные любители должны всегда читать Эйлера, потому что в его сочинениях все ясно, хорошо сказано, хорошо вычислено, потому что они изобилуют прекрасными примерами и надо всегда учиться по первоисточникам». В «Трактате по небесной механике» Лаплас писал, что Эйлер «благодаря своим открытиям во всех областях анализа и совершенству, внесенному им в язык, может считаться отцом современного анализа». Остроградский по этому поводу заметил: «Это звание отца вполне заслужено, так как именно Эйлер создал современный анализ и сформировал нынешний язык математики».

После приведенного общего экскурса вернемся к «Механике» Эйлера. В общем примечании к первой главе первого тома «Механики» он поместил генеральный план построения всей механики, как она представлялась ему в середине 1730-х годов: «Сначала мы будем рассматривать тела бесконечно малые, т. е. те, которые могут рассматриваться как точки. Затем мы приступим к телам, имеющим конечную величину, тем, которые являются твердыми, не позволяя менять своей формы. В-третьих, мы будем говорить о телах гибких. В-четвертых — о тех, которые допускают растяжение и сжатие. В-пятых, мы подвергнем исследованию движение многих разъединенных тел, из которых одни препятствуют другим выполнить свои движения так, как они стремятся это сделать. В-шестых, будет рассматриваться движение жидких тел. По отношению к этим телам мы будем рассматривать не только то, как они, предоставленные сами себе, продолжают движение, но, кроме того, мы будем исследовать, как на эти тела воздействуют внешние причины, т. е. силы».

В осуществлении этой огромной программы Эйлеру принадлежит наиболее значительная

роль в создании основ динамики твердого тела и гидродинамики идеальной жидкости, которым он придал близкую к знакомой нам из нынешних учебников форму (вспомним хотя бы классические уравнения Эйлера в кинематике и динамике твердого тела и в гидродинамике). Эйлер внес значительный вклад также в развитие теории колебаний и механики гибких и упругих тел. Формирование общей теории упругости было уже делом XIX в.

### Механика систем и небесная механика

В «Механике» Эйлер впервые систематически изложил динамику свободной материальной точки и точки, находящейся на заданной кривой или поверхности. Им было последовательно изучено движение точки в случае отсутствия сопротивления (в пустоте) и в сопротивляющейся среде. Исследование проведено в естественных координатах, связанных с траекторией движения. Говоря о механике системы, следует отметить, что Эйлер не посвятил ей, как таковой, ни одной самостоятельной работы, хотя, конечно, многократно рассматривал различные задачи динамики механических систем и включил этот раздел в свой первоначальный план изложения всей механики. Для объяснения причины этой непоследовательности напомним, что общий метод исследования механических систем был предложен Д'Аламбером в опубликованном им в 1743 г. «Трактате по динамике». Не входя в подробности, отметим, что Эйлер уже в 1730-х годах располагал предпосылками достаточно общего метода, эквивалентного принципу Д'Аламбера, и развивал позднее свой подход к задачам динамики механических систем в духе идей Ньютона вполне самостоятельно. По-видимому, именно поэтому Эйлер не ссылался никогда на «принцип Д'Аламбера» и в то же время никогда не излагал идею своего общего подхода в качестве отдельного метода, чтобы не входить в приоритетный спор с Д'Аламбером.

С середины 1740-х годов Эйлер посвящает много работ небесной механике. Основное место здесь занимают различные аспекты задачи трех тел — теория движения Луны, теория возмущения планетных движений и, наконец, с 1760-х годов собственно задача трех тел в чистом виде. Наряду с этим Эйлеру принадлежат, конечно, и исследования методов определения невозмущенных орбит, в том числе кометных орбит, для которых он получил, например, известное уравнение, выражающее интервал времени через сумму радиус-векторов и хорду и остававшееся до последнего времени основой вычисления

параболических орбит. Вклад Эйлера в становление и развитие небесной механики весьма значителен. Однако часто в современной литературе методы Эйлера связываются с именами других ученых, которые лишь усовершенствовали его методы. Кроме того, надо сказать, что история небесной механики в XVIII веке вообще до сих пор не изучена должным образом. Обычно уже в XIX веке исследователи не обращались к источникам, предшествовавшим «Трактату по небесной механике» Лапласа, обобщившему основные достижения того времени в этой области. Впрочем, сам Лаплас высоко ценил вклад Эйлера в небесную механику и особенно в теорию движения планет.

Действительно, можно считать, что теория возмущений планетных движений ведет свое начало от мемуара Эйлера о неравенствах в движении Юпитера и Сатурна (представленного на конкурс Парижской Академии наук в 1747 г. и опубликованного в 1749 г.). Этот мемуар Эйлера вместе с трактатом Д'Аламбера о предвещении равноденствий и нутации земной оси (опубликованным в Париже в том же году) и «Теорией Луны» Клеро (представленной на конкурс Петербургской Академии наук в 1750 г. и опубликованной в 1752 г.) могут по справедливости считаться отправной точкой всей современной небесной механики (если не принимать, конечно, во внимание «Начала» Ньютона). Заметим, что в этой и других работах Эйлера конца 1740-х годов уже содержится идея метода вариации элементов, развитого им подробнее в последующих трудах.

Первые исследования Эйлера о движении Луны подытожены в его берлинской монографии (1753). На основе развитой здесь теории были вычислены таблицы Луны Майера, удостоенные впоследствии Британским парламентом денежной премии (с выплатой 1/10 части суммы Эйлеру). Но наиболее интересна вторая теория движения Луны Эйлера (E.418; 1772), опубликованная в Петербурге. Первоначально она не привлекла широкого внимания астрономов вследствие своей сложности. Но через 100 лет этой теорией заинтересовался Хилл, который развил заложенные в ней идеи и опубликовал в 1877 и 1878 гг. две работы, ставшие «одним из важнейших источников дальнейшего прогресса всей небесной механики». Записанные Эйлером в прямоугольных координатах уравнения движения Луны оказались типичными для теории нелинейных колебаний, и продолженные Хиллом исследования Эйлера по методам их интегрирования внесли значительный вклад в общую теорию нелинейных колебаний.

Необходимо отметить участие Эйлера в начальной разработке первого интегрального вариационного принципа механики — принципа наименьшего действия, первоначально высказанного в нечеткой, но претенциозной форме президентом Берлинской академии Мопертюи. Эйлеру принадлежит, по существу, первая строгая формулировка этого принципа для движения материальной точки, вместе с разработанным им аппаратом вариационного исчисления. Однако в том виде, который носил принцип наименьшего действия у Эйлера, он еще не был пригоден для решения новых задач механики. Дальнейший прогресс был достигнут после обобщения принципа Лагранжем на механические системы, за которым последовала в XIX в. разработка классических интегральных вариационных принципов, переросших в конечном итоге рамки самой механики.

### Движение твердого тела

Выдающийся вклад был внесен Эйлером в создание общей теории движения твердого тела. Первоначально, в конце 1730-х годов, при подготовке своей «Корабельной науки» (1749), напечатанной в Петербурге, Эйлер занимался некоторыми частными задачами динамики твердого тела. В этом большом двухтомном сочинении мы находим разложение движения корабля на поступательное и вращательное, попытку расчета малых колебаний корабля на воде, продвинутое учение об устойчивости равновесия плавающих тел, элементы учения о моментах инерции.

К общей теории движения твердого тела Эйлер вернулся в 1749–1750 гг. Первый решающий шаг для построения динамики твердого тела был совершен Эйлером в мемуаре «Открытие нового принципа механики» (1752). Здесь Эйлер изложил «общий и фундаментальный принцип всей механики», который по существу заключался в применении основного закона динамики (второго закона Ньютона) для каждой бесконечно малой частицы в проекциях на оси неподвижной системы координат:

$$Md^2x = Pdt^2, \quad Md^2y = Qdt^2, \quad Md^2z = Rdt^2.$$

где  $M$  — масса частицы, а  $P$ ,  $Q$  и  $R$  — составляющие внешних сил (Эйлер записывает эти уравнения с коэффициентом 2 в левой их части, что объясняется применявшейся тогда системой физических единиц, в которой ускорения безразмерны, а скорости измеряются специальным образом). В своем мемуаре Эйлер писал, что «именно на этом единственном принципе долж-

ны быть основаны все другие принципы, как те, которые уже получены в механике и гидравлике и которыми пользуются сейчас для определения движения твердых и жидких тел, так также и те, которые пока еще неизвестны и которые нам нужны для развития как указанных выше случаев твердых тел, так и многих других, которые относятся к жидким телам».

Итак, новый принцип Эйлера включал выделение элементарной частицы из сплошной среды и применение к ней основного закона Ньютона, записанного в проекциях на оси неподвижной системы координат. Сейчас трудно себе даже представить тот скачок, который придала механике эта работа Эйлера, которая кажется нам сегодня самоочевидной. Но именно она открыла самый простой и естественный путь для построения динамики твердого тела и, главное, механики сплошной среды. Справедливости ради надо отметить, что запись основного закона динамики в проекциях на оси неподвижной системы координат применительно к изучению движения материальной точки была предложена в качестве самостоятельного «принципа» механики еще Маклореном в 1742 г. в его «Трактате о флюксиях». В 1740-х годах XVIII века такая запись уравнений движения уже использовалась рядом ученых, и в частности И. Бернулли, Клеро, Д'Аламбером и самим Эйлером. Однако никому до Эйлера не пришла в голову мысль о том, что эти дифференциальные уравнения, будучи выписаны для произвольного элемента среды (или тела), непосредственно приводят к математической формулировке общих задач механики. (Необходимость независимого привлечения также и закона момента количества движения была, по-видимому, осознана Эйлером значительно позже.) На основании этого подхода Эйлер вывел сразу же общие уравнения вращения твердого тела, однако представил их первоначально в малоудобной для исследования форме, отнесенной к неподвижной системе координат, вводя моменты инерции тела (относительно неподвижных осей), которые меняются в процессе движения тела.

Завершением основного этапа исследований Эйлера по динамике твердого тела явился его трактат «Теория движения твердых тел» (1765), который он закончил в 1760 г. и считал третьим томом своей «Механики». Эйлер продолжал заниматься динамикой твердого тела и в последующие годы. В частности, в его сочинении «Новый метод определения движения твердых тел» (1776) впервые выписаны совместно 6 уравнений движения произвольного тела,

представляющие законы количества движения и момента количеств движения:

$$\int dM \frac{d^2x}{dt^2} = P, \quad \int zdM \frac{d^2y}{dt^2} - \int ydM \frac{d^2z}{dt^2} = S;$$

$$\int dM \frac{d^2y}{dt^2} = Q, \quad \int xdM \frac{d^2z}{dt^2} - \int zdM \frac{d^2x}{dt^2} = T;$$

$$\int dM \frac{d^2z}{dt^2} = R, \quad \int ydM \frac{d^2x}{dt^2} - \int xdM \frac{d^2y}{dt^2} = U.$$

У Эйлера эти уравнения записаны с дополнительным коэффициентом в правой их части, как и в приведенной выше системе уравнений. Известный историк механики К. Трусделл считает это место у Эйлера первым в истории механики появлением обоих этих законов в качестве «*фундаментальных, общих и независимых законов механики* для всех видов движения всех видов тел». В связи с этим Трусделл предложил называть совокупность этих законов механики законами Эйлера.

#### Механика жидкости и газа

Эйлеру принадлежит в значительной степени разработка фундаментальных основ механики жидкости и газа. Интерес Эйлера к задачам движения жидкости проявился еще в юношеские годы. Под влиянием И. Бернулли он использовал тогда при исследовании истечения жидкости из сосудов закон живых сил, воспользовавшись наряду с этим применявшейся уже ранее гипотезой плоских сечений и соответствующей ей формой закона неразрывности. Свои результаты Эйлер доложил Петербургской академии в двадцатилетнем возрасте в августе 1727 г., через две недели после аналогичного доклада Д. Бернулли. Результаты обоих авторов совпали, и в этой деликатной ситуации Эйлер уступил право публикации полученных результатов своему старшему товарищу, полностью прекратив свои собственные исследования в этой области на четверть века. Он вернулся к общим проблемам движения жидкости лишь в начале 1750-х годов, уже после публикации «Гидродинамики» Д. Бернулли (1738) и «Гидравлики» И. Бернулли (1743). К этому времени Эйлер выработал окончательно два необходимых для общего построения гидродинамики представления: четкое понятие о давлении в текущей жидкости и простую формулировку основного закона динамики (закона импульса) для элементарной частицы среды. Определение Эйлера давления явилось рафинированным завершением эволюции этого понятия, возникшего в 1730 г. у Д. Бернулли и усовершенствованного отчасти в «Гидравлике» И. Бернулли.

Именно Эйлеру удалось построить, с присущей ему ясностью и четкостью, всю систему уравнений континуального движения идеальной жидкости. При этом он опирался на свой упомянутый выше «новый принцип механики». Первые результаты Эйлера по общей теории движения жидкости относятся, по-видимому, к 1752 г. Два его основные фундаментальные сочинения по гидростатике и гидродинамике, относящиеся к 1753–1755 гг., опубликованы в 1757 г. в 11-м томе «Мемуаров» Берлинской академии.

В первом из этих сочинений (1757) Эйлер обобщил результаты Клеро и придал изложению гидро- и аэростатики ту форму, которая сохранилась, в основном, и до наших дней. Он вводит понятие давления  $p$ , измеряемого высотой столба однородной жидкости, указывает на зависимость давления, по крайней мере, от плотности и температуры и дает затем вывод общего уравнения равновесия жидкостей и газов:

$$dp = q (P dx + Q dy + R dz).$$

Эйлер понимает в приведенном уравнении под  $p$  высоту столба однородной жидкости, т. е. отношение давления к выбранной им постоянной величине, а под  $q$  — соответствующую безразмерную плотность; компоненты массовых сил отнесены здесь к ускорению силы тяжести. Используемая здесь система единиц несколько отличается от той, которая применялась Эйлером при первоначальном изложении им «нового принципа механики».

Затем Эйлер вводит понятие потенциала сил  $s$  и, переписав общее уравнение равновесия в виде  $dp = q ds$ , указывает на постоянство давления, плотности и температуры на поверхностях уровня потенциала  $s$ . Потом он выводит общие зависимости применительно к случаю идеального газа, рассматривает действующие на погруженное тело силы и переходит к подробному рассмотрению различных случаев равновесия жидкостей и газов. Здесь он получает, в частности, известную барометрическую формулу для изотермической атмосферы, а также высказывает предложение, что при постоянном объеме температуру целесообразно определять пропорциональной давлению газа.

Второе свое сочинение — «Общие принципы движения жидкостей» (1757) — Эйлер начинает с общей постановки задач теории движения идеальной жидкости. Затем из обычного для нашего времени рассмотрения элементарного жидкого параллелепипеда выводятся общие уравнения гидродинамики и уравнения неразрывности для сжимаемых жидкостей.

$$\begin{aligned}
 P - \frac{1}{q} \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z}, \\
 Q - \frac{1}{q} \frac{\partial p}{\partial y} &= \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z}, \\
 R - \frac{1}{q} \frac{\partial p}{\partial z} &= \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z}, \\
 \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial qu}{\partial x} + \frac{\partial qv}{\partial y} + \frac{\partial qw}{\partial z} &= 0.
 \end{aligned}$$

Здесь  $p$  — давление,  $q$  — плотность,  $P$ ,  $Q$  и  $R$  — массовые силы. В оригинальной записи Эйлера эти уравнения отличаются только обозначением частных производных. Вместо введенного позже Лежандром и Якоби и принятого сейчас обозначения частных производных через круглое « $d$ » Эйлер использовал прямое « $d$ » и для отличия от полных производных частные производные он записывал в круглых скобках. Например, частная производная  $\partial p / \partial x$  в записи Эйлера выглядела как  $(dp/dx)$ .

Эйлер добавляет тут же, что к этим четырем уравнениям следует добавить пятое, которое дает связь между давлением, плотностью и дополнительной физической величиной, которая влияет на давление и под которой подразумевается, вообще говоря, температура. Полученные в результате пять уравнений, говорит Эйлер, «заклучают в себе всю теорию движения жидкости».

Вслед за приведенным выводом основных уравнений гидродинамики Эйлер вводит потенциалы сил  $S$  и скорости  $W$  и получает формулу

$$dp = q(dS - d\Pi - u du - v dv - w dw), \quad \Pi = \frac{\partial W}{\partial t}$$

и соответствующие интегралы для случая несжимаемой жидкости, а также, вообще, для баротропных процессов — интегралы, носящие сегодня обычно название интегралов Лагранжа–Коши. Эйлер специально оговаривает здесь существование непотенциальных течений жидкости, приводя в качестве примера один случай вихревого вращения несжимаемой жидкости в отсутствие массовых сил. Заканчивается сочинение исследованием отдельных частных случаев движения жидкости и замечанием, что выведенные уравнения переводят задачи движения жидкости из области механики в область математического анализа. При чтении этого сочинения особенно поражают (свойственные и большинству других работ Эйлера) ясность и простота изложения мыслей. Трудно порой поверить, что его отделяют от нас уже два с половиной века.

Вслед за первыми тремя работами Эйлера по механике жидкости и газа последовали многие другие его сочинения, посвященные гидродинамике и теории распространения звука. Завершением и обобщением их явилась большая работа (516 с.), относящаяся уже к концу 1760-х годов и опубликованная в четырех частях в 1769–1772 гг. в «Новых комментариях» Петербургской академии наук. Первая ее часть включает рассмотрение общих свойств жидкостей и газов, вывод общих уравнений равновесия и исследование частных случаев равновесия в поле силы тяжести и центральных сил. Во второй части выведена система общих уравнений гидродинамики идеальной жидкости и рассмотрены подробнее случаи движения несжимаемых жидкостей, в том числе потенциального течения. Последняя глава посвящена определению движения жидкости по заданному начальному состоянию; здесь, в частности, выведены общие уравнения гидродинамики в так называемых переменных Лагранжа — материальных переменных. Отметим, что эти переменные были указаны Лагранжу Эйлером в его письме от 1 января 1760 г., опубликованном Лагранжем в 1762 г. вместе со своими собственными связанными с этим исследованиями. В третьей части работы Эйлер рассматривает течение в трубах постоянного и переменного сечения, расчет подъема воды при помощи насосов и течения под действием разности температур. Последняя часть является обобщением многочисленных предыдущих исследований Эйлера по акустике и теории духовых музыкальных инструментов.

Таким образом, Эйлер заложил основы всей гидродинамики идеальной жидкости, за исключением сверхзвуковой аэродинамики, зародившейся на столетие позже и развившейся уже в XX веке. Не обладая общим понятием напряжения, введенным Коши в 1823 г., Эйлер не смог, конечно, перейти к изучению более сложных моделей механики сплошной среды — вязкой жидкости и упругого тела. Однако многое для дальнейшего развития механики сплошной среды было Эйлером подготовлено.

### Механика гибких и упругих тел

Осветив несколько подробнее две блестящие страницы в творчестве Эйлера — создание им теории движения твердого тела и гидродинамики идеальной жидкости, остановимся теперь коротко на его работах по механике гибких и упругих тел. Задачами механики упругих тел (стержней) Эйлер заинтересовался еще в

ранней молодости. Любопытно, что в одной маленькой заметке, написанной Эйлером еще в Базеле, но опубликованной лишь посмертно в 1862 г., Трусделл обнаружил первый вывод закона изгиба стержней Якоба Бернулли из закона Гука для растяжения волокон — результат, не замеченный самим Эйлером и переоткрытый им затем заново значительно позже. Не останавливаясь на важных работах Эйлера (и Д. Бернулли) о поперечных колебаниях стержней, перейдем к знаменитым исследованиям Эйлера о равновесных формах упругих стержней и их продольному изгибу. Эти исследования были инициированы открытием Д. Бернулли (1742 г.) свойства экстремальности упругой энергии изогнутых упругих стержней. Относящиеся сюда классические результаты Эйлера были опубликованы им в 1744 г. в виде специального приложения «Об упругих кривых» к его трактату по вариационному исчислению (1744). Здесь были проанализированы 9 возможных типов равновесных форм (первоначально прямолинейного) стержня прямоугольного сечения, изогнутого под действием приложенной к его концам силы и момента. Здесь же содержится, по существу, и общая формула для критической силы при продольном изгибе стержня. Сам Эйлер, впрочем, применил эту формулу только для случая стержня с шарнирно опертыми концами. В последующем Эйлер неоднократно возвращался к вопросу о продольном изгибе колонн, и последние его исследования в этой области, относящиеся к концу 1770-х годов, посвящены продольному изгибу колонн под действием их собственного веса. В первой части «Актов» Петербургской академии за 1778 г. Эйлер поместил три работы по этой проблеме, в которых он последовательно преодолевал встречавшиеся трудности, получив в конце концов правильное решение.

Укажем еще на относящиеся к 1770-м годам обобщающие исследования Эйлера по механике гибких и упругих (одномерных) тел. Здесь им были получены общие уравнения равновесия и движения деформируемой линии (и плоскости) без специальных предположений о природе ее материала и о малости деформаций. При этом Эйлер рассматривал действующие в сечениях поперечные силы, предвосхитив представление о касательных напряжениях. Наконец, к этим же годам относится введение Эйлером физической характеристики материала, вполне эквивалентной модулю Юнга, и тем самым отделение в задачах теории упругости упругих свойств материала от формы рассматриваемого тела.

## Заключение

В приведенном очерке практически вовсе не затронуты сочинения Эйлера по прикладной механике. В историческом аспекте они, конечно, уступают его исследованиям в области математики и рациональной механики, но и в развитии прикладной механики Эйлер оставил глубокий след. Эйлер занимался вопросами сухого трения (в частности, его имя носит формула для расчета трения каната, обернутого вокруг круглого вала). Ему принадлежат интересные работы по общей теории машин, а также по расчету различных конкретных машин, механизмов и приборов (например, весов). Заслуживает специального упоминания исследование Эйлером формы зубчатых колес. Цикл работ посвящен Эйлером гидравлическим двигателям, и в частности теории колеса Сегнера — прообраза реактивной гидравлической турбины.

Глубокие исследования были проведены Эйлером по теории корабля. После выпуска упомянутой выше двухтомной «Корабельной науки» (1749) он изучал различные системы движителей, в том числе гидрореактивные движители, выведя для последних некоторые сохраняющие значение и до наших дней расчетные формулы. Эйлеру принадлежат также некоторые результаты по строительной механике корабля. Наконец, в 1773 г. Эйлер выпустил в Петербурге написанное по-французски практическое руководство по кораблестроению и вождению кораблей. Замечательно, что это руководство было переиздано затем в Париже, использовалось там в качестве учебного пособия, а также было переведено на английский, итальянский и русский языки.

Возвращаясь к программе построения механики, предложенной Эйлером в молодости, надо отметить, что он построил на протяжении своей жизни три из намеченных им шести общих разделов механики: сюда относятся аналитически изложенная механика точки ( $n^{\circ}1$ ), механика твердого тела ( $n^{\circ}2$ ) и гидродинамика ( $n^{\circ}6$ ). В учение о гибких телах ( $n^{\circ}3$ ) и в механику системы ( $n^{\circ}5$ ) Эйлер внес фундаментальный вклад, наряду с другими учеными. Что же касается теории упругости ( $n^{\circ}4$ ), которой он посвятил ряд важных исследований, то она была создана лишь в XIX веке. Отвечая в целом на поставленный вопрос, можно сказать, что Эйлер блестяще справился с той грандиозной программой, которую он поставил пред собой в первом томе «Механики» (1736), не сознавая еще ее невероятной трудности. Эйлеру мы в большей степени, чем

кому-либо другому, обязаны уяснением основ механики.

Общий объем сочинений Эйлера громаден. Свыше 800 его опубликованных научных работ составляют около 30000 печатных страниц и складываются из 600 статей в периодических изданиях и сборниках Петербургской академии наук, 130 статей в «Мемуарах» Берлинской академии и изданных в Берлине сборниках, 30 статей в разных журналах Европы, 15 мемуаров, удостоенных премий и поощрений Парижской академии наук, и 40 книг отдельных сочинений. Сто лет тому назад, по инициативе швейцарских математиков и при поддержке трех ведущих европейских академий наук — Петербургской, Берлинской и

Парижской, было предпринято издание «Полного собрания трудов» (Opera omnia) Эйлера. Первый его том был опубликован в 1911 г., а два из запланированных 72 томов еще не напечатаны, но выход их в свет ожидается в течение ближайших двух-трех лет. Сочинения Эйлера печатаются здесь на языке оригинала, т. е. по преимуществу на латинском или французском языке. Решение об издании дополнительной серии «Полного собрания трудов» Эйлера, содержащей его научную переписку, было предпринято по согласованию между Швейцарской академией естественных наук и Российской академией наук в 1970-х годах. Из намеченных 10 томов этой серии пока выпущены только четыре.

### ТЕМАТИЧЕСКИЕ ИЗДАНИЯ

**Ж. А. Романович, С. Л. Калачев.** Сервисная деятельность:

Учебник / Под общ. ред. проф. Ж. А. Романовича. —

М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К\*», 2006. — 284 с.

Основное внимание уделено исследованию таких вопросов, как роль и задачи сервисных услуг в производственной и непроизводственной сферах деятельности, сервисная деятельность как форма удовлетворения потребностей человека, качество сервисных услуг и эффективность сервисной деятельности предприятия, организация и оптимизация эффективного функционирования предприятий транспортно-экспедиционных услуг, особенности сервисной деятельности в области фитнес-центров, информационный сервис и интенсивные технологии в сервисной деятельности и др.

Раскрывается целый ряд понятий и категорий сервисной деятельности: услуга, потребность в услуге, обслуживание, информационный сервис и т.д.

Для студентов, обучающихся по специальности «Сервис», преподавателей, хозяйственных руководителей и специалистов, интересующихся проблемами теории и практики управления предприятиями сферы сервиса.

**В. М. Артюшенко, Д. О. Шелухин.** Электротехнические системы

жизнеобеспечения зданий на базе технологии ВАСnet: Монография /

Под редакцией д.т.н., проф. В. М. Артюшенко. — М.: ГОУВПО «МГУС», 2006. — 138 с.

В издании рассмотрены вопросы, связанные с организацией работы и принципов построения автоматизированной системы управления оборудованием жизнеобеспечения зданий на базе оборудования технологии ВАСnet. Дана методика расчета защиты от помех управляющего и измерительного оборудования системы жизнеобеспечения зданий на базе оборудования технологии ВАСnet. Даны практические рекомендации по улучшению электромагнитной обстановки в местах установки оборудования систем жизнеобеспечения зданий и повышению их помехоустойчивости.

Работа предназначена для специалистов в области разработки и оптимизации электротехнических комплексов и системы автоматизации жизнеобеспечения зданий и будет полезна для студентов и аспирантов электротехнических специальностей.

## Эргономическое проектирование одежды на основе использования свойств исходных материалов

*Н. М. Конопальцева*

*Российский государственный университет туризма и сервиса*

Классическое определение эргономики трактует ее как «науку, изучающую функциональные возможности человека в трудовых процессах с целью создания для него оптимальных условий труда, т. е. таких условий, которые, делая труд высокопроизводительным и надежным, в то же время обеспечивают человеку необходимые удобства, сохраняют его силы, здоровье и работоспособность и открывают новые возможности для интеллектуального и физического развития». С позиции этого определения можно утверждать, что функционирование целостной системы «человек — технические средства труда — производственная среда» взаимобусловлено каждым ее компонентом и изменение параметров или особенности проявления свойств каждого из них безусловно влияют на параметры и свойства других. При этом главная роль в изучении особенностей, условий и закономерностей данной системы отводится человеку как одному из основных и определяющих факторов (так называемый «человеческий фактор»).

Объективные процессы совершенствования техники и технологии, усложнения взаимовлияния человека и технических средств труда в производственном процессе вызывают необходимость детального, предметного изучения деятельности собственно человека в этих конкретных условиях. Определяя ведущее место в системе «человек — технические средства труда — производственная среда», эргономика как наука рассматривает последнюю в качестве объекта исследования для решения настолько же конкретной, насколько и сложной задачи оптимизации самой системы и условий труда человека в рамках этой системы. Сложность этой задачи обусловлена самим характером взаимобусловленного взаимодействия субъектов системы, которые, с одной стороны, выдвигают комплекс требований к другим ее составляющим, а с другой — должны сами отвечать вполне определенному их перечню. Фундаментальные исследования в области эргономики таких ученых, как П. И. Зинченко, Дж. Джонсон, А. Н. Леонтьев, С. Г. Геллерштейн, Ф. Д. Горбов, В. П. Зинченко, В. М. Мунипов, показали, что она комплексно

и органично использует достижения и методы самых различных областей знаний для решения прикладных задач. При этом речь идет не о простой сумме знаний, а о скоординированной между собой их системе для определенной трудовой деятельности человека, которая позволяет сформулировать основные требования и показатели этой конкретной деятельности. В работах В. П. Зинченко, В. Н. Мунипова отмечается, что «комплексные эргономические показатели формируются на основе групповых показателей, которые представляют собой совокупность однородных единичных эргономических показателей: социально-психологических и психофизиологических, антропометрических и гигиенических. Данная иерархическая структура объединяет различные уровни интеграции эргономических показателей».

Эргономику характеризуют системность и собственный, присущий только ей, методологический подход к решению задач проектирования, цель которого, по мнению В. П. Зинченко, В. П. Мунипова, «состоит в обосновании выдвигаемых эргономических требований, их реализации в виде свойств проектируемой системы и экспертизы результатов проектных решений» (рис. 1). Анализ научных исследований и публикаций по проблемам эргономики позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время нет четкой классификации методов исследования, используемых ею, однако этот же анализ дает возможность составить условную классификацию методов исследования в эргономике. По нашему мнению такой подход обеспечивает принципы системности эргономического проектирования и его объектно-ориентированный характер.

Применительно к вопросам проектирования одежды предметная область и задачи эргономики столь же справедливы, сколь и вполне определены совокупностью групповых эргономических показателей, а именно: социально-психологических, физиологических, психологических, психофизиологических, антропометрических и гигиенических. Эти эргономические показатели, представленные в ГОСТ 16456–81, ГОСТ

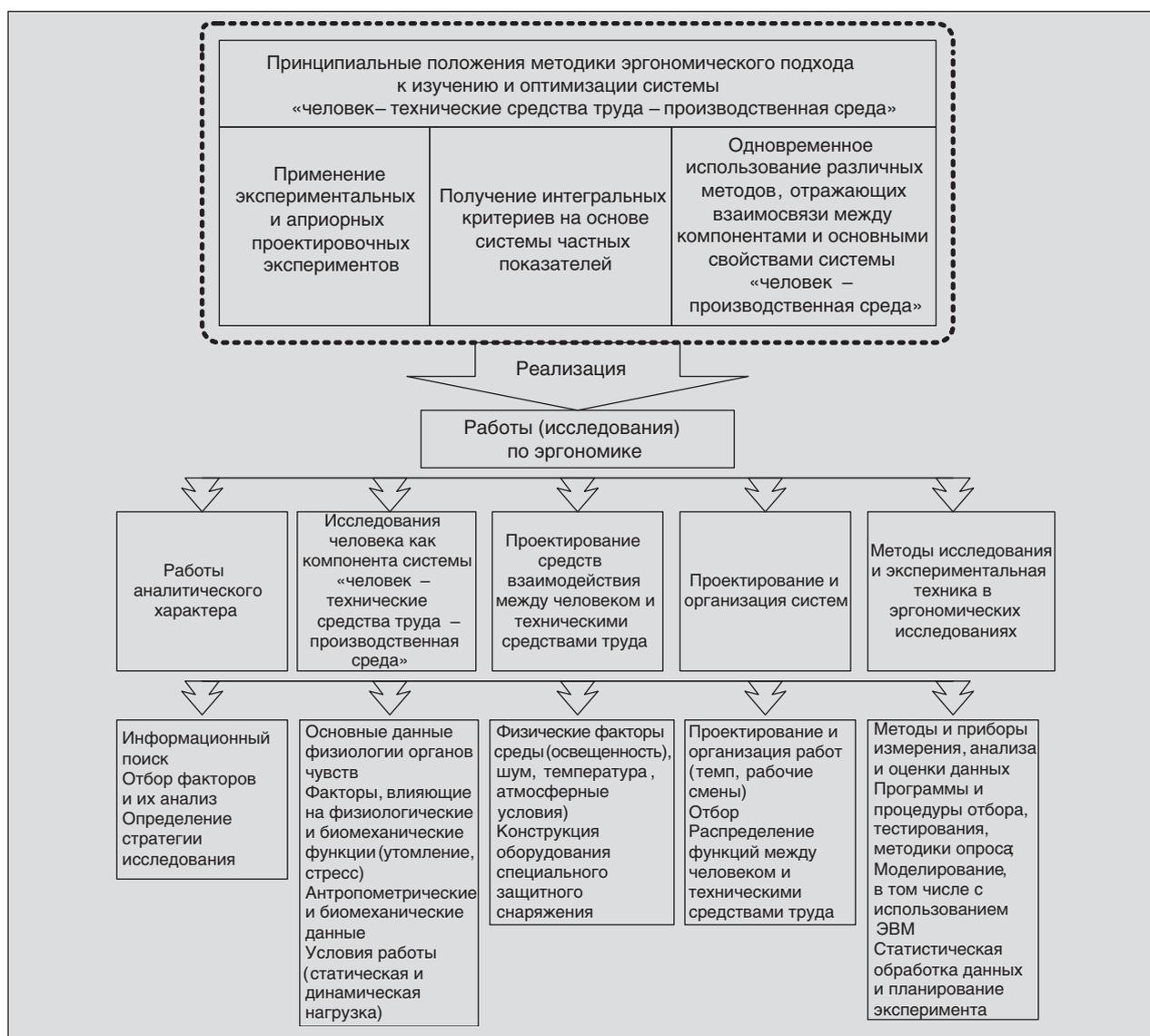


Рис. 1. Принципиальные положения методики эргономического подхода к изучению и оптимизации системы «человек — технические средства труда — производственная среда»

16035–81 в виде эргономических показателей качества одежды, охватывают весь спектр особенностей функционирования человека в производственных процессах. Эргономические требования и показатели качества для одежды разработаны в научных трудах Е. Б. Кобляковой и органично составляют неотъемлемую часть многоуровневой, иерархической структуры системы для оценки качества одежды. В данном научном исследовании они представлены в виде «показателей качества различной степени комплексности», взаимоувязаны по горизонтали и вертикали. Структурный анализ эргономических требований и показателей качества позволяет заметить, что число групповых эргономических показателей по сравнению с классической

структурой ограничено тремя: показатели антропометрического, психофизиологического и гигиенического соответствия. Без рассмотрения оставлены социально-психологические, физиологические и психологические показатели. Последние два показателя частично представлены групповым показателем психофизиологического соответствия, хотя, строго говоря, ему уже присущи иные, специфические критерии оценки совокупного (психологического и физиологического) проявления свойств изделия в общем контексте его качества из-за проявления взаимного влияния психологического и физиологического показателей. Вместе с тем подобный подход к выбору эргономических требований и показателей качества вполне приемлем, широко

распространен в научных исследованиях и не противоречит принципам и методологии коррективной эргономики, допускающей оптимизацию только отдельных показателей или поочередно каждого из них без рассмотрения остальных, либо на основании предположения об их заведомо оптимальных параметрах. Подобный подход к эргономическому проектированию принят в ряде исследований, посвященных проектированию бытовой одежды и одежды специальной. Благодаря ему были получены строго обоснованные научные результаты, а концептуальные схемы самих исследований имеют хорошую методологическую основу.

Таким образом, разработанная Е. Б. Кобляковой иерархическая система групповых эргономических показателей отражает общую структуру и степень детализации эргономических требований к одежде как объекту проектирования и может служить основой для реализации эргономического подхода к этому процессу. Степень антропометрического соответствия K141 оценивают единичными показателями статического K1141 и динамического соответствия K, отражая антропометрические характеристики человека и степень их изменчивости. Групповой показатель гигиенического соответствия K241 представлен единичными показателями теплозащитных функций одежды K1241, степени ее вентилируемости K2241 и показателем защиты от внутренней и внешней влаги K3241. Психологическое соответствие K341 выражено в виде показателей массы изделия K3341, удобства надевания и снятия одежды K1341 и удобства пользования отдельными элементами одежды K2341. Однако анализ научных исследований по вопросам проектирования одежды, в том числе выполненных приоритетно по эргономическим показателям соответствия, дает основание сделать следующие выводы. Несмотря на накопленный значительный опыт оптимизации параметров одежды на этапе проектирования в соответствии с эргономическими требованиями, по-прежнему актуальна проблема эргономического ее проектирования. Это сложная в научном, теоретическом и методологическом плане задача, поскольку включает многие аспекты, порой трудно решаемые, совместимые между собой и реализуемые практически. Структурный анализ только основных эргономических требований к одежде показывает, насколько различные стороны функционирования человека в проектируемой одежде необходимо учесть, разработать на основе суммы знаний по каждой составляющей и преобразовать эти составляющие (показатели

эргономического соответствия) в системные блоки на основе адекватной, конструктивной номенклатуры функциональных связей между ними. К сожалению, эта проблема до конца пока не решена в эргономическом проектировании одежды. Во многом это объясняется тем, что очень сложно совместить в конкретном комплексном исследовании необходимые, но, как правило, совершенно различные методы проведения экспериментов, способы обработки и анализа полученных результатов. Особую сложность в этом отношении представляют исследования при проектировании одежды, используемой в конкретных условиях внешней среды, так как ее особенности и в целом многообразие проявлений взаимодействия системы «человек — окружающая среда» заставляют искать новые методологические подходы к разработке концептуальных схем проектирования одежды. При этом в числе важнейших потребительских требований к верхней одежде и одежде специальной находятся требования ее формоустойчивости, гидрофобности ее поверхности. В исследованиях автора совместно с Н. А. Крюковой и В. И. Малыхиным вопрос формоустойчивости одежды был рассмотрен на примере исследования и проектирования отделки с объемными эффектами в изделиях из трикотажных полотен.

Одним из определяющих факторов создания тектонически правильной формы отделки с объемными эффектами является согласованность свойств материала и конструкции с напряженным состоянием, возникающим от внешних нагрузок.

Известно, что текстильные полотна бытового и технического назначения при переработке и эксплуатации в большинстве случаев подвергаются приложению сравнительно небольших нагрузок, направленных перпендикулярно к поверхности материала. На элементы отделки с объемными эффектами в изделиях из трикотажных полотен, полученной по предлагаемому способу, прежде всего действуют вес материала, а также случайные воздействия, возникающие при эксплуатации и уходе за данным видом одежды.

Так как объемные эффекты представляют собой гибкие оболочечные конструкции, то они под нагрузкой могут сильно изменять свои размеры и форму. Устойчивым называется равновесное положение оболочки в случае, если, получив малое отклонение от этого положения, оболочка будет возвращаться к нему. Применительно к элементам отделки с объемными эффектами под устойчивостью будем понимать их способность

сопротивляться действию возмущающих факторов, которые имеют место при эксплуатации, и восстанавливать первоначальное состояние по окончании их действия.

Нагрузка, при которой форма равновесия перестает быть устойчивой, называется критической. Приложение к оболочке силы, равной критической или превышающей ее, ведет к изменению формы оболочки, ее выпучиванию. Выпучивание направлено внутрь к центру кривизны оболочки. Устойчивым в закритической области будут уже искривленные формы равновесия; в критической точке происходит разветвление (бифуркация) равновесных форм, характеризующееся обменом устойчивостью между формами. Причиной потери устойчивости, по-видимому, является несоответствие между геометрией оболочек и физико-механическими свойствами материала, из которого они сформированы.

В теории устойчивости оболочек применяется понятие верхней и нижней нагрузок. Под верхней критической нагрузкой понимают наибольшую нагрузку, до которой начальное равновесное состояние является устойчивым в малом, т. е. по отношению к соседним равновесным состояниям. Под нижней критической нагрузкой подразумевают нагрузку, до которой начальное состояние является единственным устойчивым состоянием; при нагрузках, лежащих ниже нижней критической нагрузки, обеспечивается устойчивость оболочки не только в малом, но и в большом.

Поскольку данных о поведении тонкостенных оболочек в области текстильного материаловедения имеется мало, то целесообразно проверить возможность использования общей теории оболочек, развитой в работах В. З. Власова, С. П. Тимошенко, А. Л. Гольденвейзера и др., применительно к текстильным оболочкам. Сформулируем допустимые упрощения, которые позволят получить практические результаты, т. е. относительно простые, пригодные для инженерных расчетов формулы.

Во-первых, материал принимаем линейно упругим. В качестве наиболее простой модели рассмотрим однослойную сплошную оболочку постоянной толщины из однородного изотропного материала.

Во-вторых, все внешние нагрузки, действующие на исследуемую систему, считаем консервативными, т. е. считаем, что работа этих нагрузок на любых допустимых перемещениях деформируемой системы определяется только начальной и конечной конфигурацией и не зависит от пути деформируемой системы.

В-третьих, при исследовании устойчивости и закритического поведения системы используем статический подход.

Если учитывать эффекты пластической или вязкопластической деформации, то мы должны были бы исходить из нелинейных соотношений между напряжениями, деформациями и скоростями изменения этих величин во времени. Мы же будем, как правило, рассматривать устойчивость оболочек в пределах упругости.

Согласно общей теории оболочек, напряженное состояние оболочки описывается тремя группами уравнений: статическими уравнениями равновесия в усилиях и моментах; геометрическими уравнениями, связывающими деформацию с перемещениями; соотношениями упругости. Структура исходных уравнений общей теории оболочек сравнительно сложна даже для области малого прогиба. В случае, когда выпучивание оболочек сопровождается появлением сравнительно мелких вмятин, т. е. таких вмятин, размеры которых хотя бы в одном направлении малы по сравнению с радиусом кривизны срединной поверхности или габаритными размерами оболочки, то в пределах каждой вмятины оболочку можно рассматривать как пологую. Это позволяет применять в задачах устойчивости оболочек произвольного очертания математический аппарат теории пологих оболочек. Пологой называют оболочку, у которой стрела подъема  $h$  не превышает одной пятой от наименьшего размера в плане.

Таким образом, при решении линейной задачи полагаем, что в пределах зоны первичной вмятины оболочка является полой. Задача заключается в установлении зависимостей между физико-механическими свойствами трикотажного полотна, волокнистая структура которого стабилизирована полимерной композицией, и геометрическими характеристиками элементов отделки с объемными эффектами.

Построение конкретных моделей для объектов текстильной и легкой промышленности основывается на определении математической модели, данной А. Г. Севастьяновым в работе: математическая модель — это совокупность математических соотношений, описывающих основные закономерности, присущие изучаемому процессу, объекту или системе.

В настоящей работе необходимо сформулировать основные законы и закономерности, определяющие устойчивость отделки с объемными эффектами, и согласовать характер действия нагрузок с геометрической формой элементов отделки.

### Устойчивость отделки с объемными эффектами при внешнем давлении в пределах упругости

Теории устойчивости оболочек посвящено большое количество работ, выполненных в нашей стране и за рубежом. В монографиях В. З. Власова, А. Л. Гольденвейзера, С. П. Тимошенко содержатся основные зависимости современной теории оболочек. Впервые задача устойчивости тонких оболочек, находящихся в условиях равномерного осевого сжатия, была решена практически одновременно Лоренцом в 1908 г. и С. П. Тимошенко в 1910 г. Не вдаваясь в подробности вывода, критическое напряжение осевого сжатия сферической оболочки определяем по формуле [1]

$$\sigma_{кр} = \frac{1}{\sqrt{3(1-\mu^2)}} E \frac{t}{R}, \quad (1)$$

а соответствующее давление по формуле

$$q_{кр} = \frac{2}{\sqrt{3(1-\mu^2)}} E \left( \frac{t}{R} \right)^2, \quad (2)$$

где  $\sigma_{кр}$  — верхнее критическое значение напряжения, соответствующее точке бифуркации для линейной задачи, Н/мм<sup>2</sup>;  $E$  — модуль упругости материала (модуль Юнга), Н/мм<sup>2</sup>;  $t$  — толщина оболочки, мм;  $\mu$  — коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона);  $R$  — радиус кривизны оболочки, мм.

Формула (1) является фундаментальной в теории устойчивости оболочек. Она показывает, что отношение верхнего критического напряжения к модулю упругости материала — того же порядка, что и отношение толщины оболочки к радиусу кривизны срединной поверхности. В работах [2, 3] показано, что формула (1) справедлива как для случая, когда изогнутая поверхность оболочки после выпучивания является осесимметричной, так и в случае, когда изогнутая поверхность не осесимметрична. Также показано, что при различных вариантах граничных условий параметр верхнего критического напряжения мало отличается от классического значения, вычисленного по формуле (1).

Исходя из теории устойчивости оболочек, считаем, что оболочка сохраняет устойчивость, если давление, развивающееся под действием собственного веса оболочки, будет меньше или равно допускаемому:

$$q_v \leq [q]. \quad (3)$$

В общем случае величина наибольшего давления  $q_{max}$  на элементы отделки с объемными

эффектами должна быть с некоторым запасом меньше предельного давления, при котором объемные эффекты достигают предельного состояния, недопустимого при эксплуатации. Необходимая величина коэффициента запаса обуславливается многими соображениями: требуемой надежностью отделки с объемными эффектами, условиями и длительностью эксплуатации изделия с отделкой, достоверностью данных о механических свойствах материала, вероятной точностью расчета и др. Потеря устойчивости может произойти при нагрузках, меньших предела текучести и даже предела упругости материала. Очевидно, рабочие нагрузки не должны превосходить величины критического давления  $q_{кр}$ , соответствующего наступлению потери устойчивости. Коэффициент запаса по устойчивости, равный отношению критического давления  $q_{кр}$  к наибольшему рабочему  $q_{max}$ ,

$$n_{уст} = \frac{q_{кр}}{q_{max}} \quad (4)$$

обычно принимается достаточно большим. Это объясняется тем, что незначительные отклонения от идеальной формы элементов отделки, неточное приложение нагрузки, неоднородность материала и другие случайные причины могут резко (иногда в несколько раз) снизить величину критического давления  $q_{кр}$ , при котором происходит потеря устойчивости. Все эти случайные отклонения трудно учесть при расчете, поэтому приходится выбирать достаточно большой коэффициент запаса по устойчивости. К тому же текстильные полотна являются неустойчивыми с самого начала нагружения.

Следовательно, выбор коэффициента запаса определяет величину допускаемого давления

$$q = \frac{q_{кр}}{n}, \quad (5)$$

где  $n$  — коэффициент запаса,  $n = 10^2$ .

Собственный вес оболочки  $q_v$  определяется по формуле

$$q_v = t \delta g \text{ или } q_v = M_{\phi} g, \quad (6)$$

где  $t$  — толщина оболочки, мм;  $\delta$  — объемная масса материала, кг/мм<sup>3</sup>;  $g$  — ускорение силы тяжести,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ;  $M_{\phi}$  — поверхностная плотность материала, кг/мм<sup>2</sup>.

Таким образом, задача определения устойчивости элементов отделки сводится к определению оптимального радиуса кривизны их поверхности, при котором поверхностная плотность материала должна быть соизмерима с

критической нагрузкой при прочих определенных параметрах материала:

$$M_{\phi}g \leq \frac{2E \cdot t^2}{R^2 \sqrt{3(1-\mu^2)} n} \quad (7)$$

Откуда

$$R \leq \sqrt{\frac{2E \cdot t^2}{\sqrt{3(1-\mu^2)} M_{\phi}g \cdot n}} \quad (8)$$

Полученная формула (8) позволяет найти гарантийный радиус кривизны, обеспечивающий устойчивость элемента отделки известных геометрических и физико-механических параметров. Анализируя формулу (8) можно отметить, что при возрастании модуля упругости увеличивается значение радиуса кривизны, а с ростом плотности материала радиус кривизны для одинаковых значений модуля упругости уменьшается.

Необходимо отметить, что практические расчеты на устойчивость целесообразно вести с учетом поведения оболочек при больших прогибах, т. е. по величине нижнего критического давления. Расчетное (нижнее) давление в задачах на устойчивость оболочек при внешнем давлении определяется по формуле

$$q = v \frac{2}{\sqrt{3(1-\mu^2)}} E \left( \frac{t}{R} \right)^2, \quad (9)$$

где  $v$  — коэффициент, зависящий от отношения  $R/t$ .

В работе [3] рекомендуются следующие значения коэффициента  $v$ :

$R/t$	$v$
$\leq 250$	0,3
500	0,24
750	0,20
1000	0,16
1500	0,15

При начальных прогибах, достигающих величины порядка толщины оболочки, эти величины следует снизить приблизительно в 1,5 раза.

Коэффициент Пуассона  $\mu$  при приближенных расчетах допускается принимать равным 0.

Окончательно имеем

$$R_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{0,4E \cdot t^2}{\sqrt{3} M_{\phi}g \cdot n}}$$

или

$$R_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{0,4E \cdot t}{\sqrt{3}\delta \cdot g \cdot n}} \quad (10)$$

По предложенным расчетным формулам построен график зависимости радиуса кривизны элементов отделки с объемными эффектами от модуля упругости материала для различных значений его поверхностной плотности и толщины (рис. 2). По графику можно определить допустимое значение радиуса кривизны поверхности элементов отделки с объемными эффектами, которое будет удовлетворять самым разнообразным комбинациям параметров материала, как бы широко эти параметры ни варьировались.

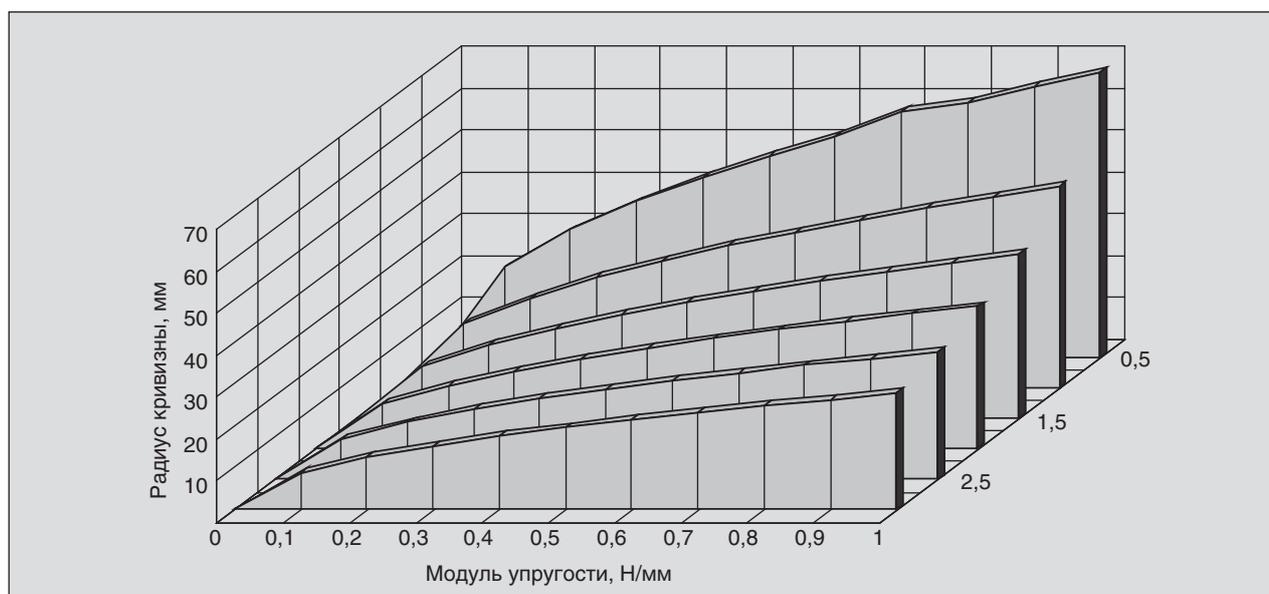


Рис. 2. Изменение радиуса кривизны элементов отделки в зависимости от модуля упругости, поверхностной плотности и толщины полотна

На основе предложенной выше теории был разработан способ получения отделки с объемными эффектами в изделиях из трикотажных полотен. При этом следует отметить, что для научно обоснованного управления технологическим процессом получения отделки с объемными эффектами в изделиях из трикотажных полотен был найден ряд зависимостей между физико-механическими свойствами трикотажного полотна и характеристиками отделки с объемными эффектами, которые использованы в работе и при практической реализации предложенного способа. Задача эргономического проектирования одежды затрагивает и задачу обеспечения гидрофобности, т. е. инертности поверхности одежды к воздействию внешней влаги. В совокупности с перечисленными выше проблемами при проектировании одежды, в том числе специальной, эта задача может быть решена на основе теории гидрофобизации поверхности текстильных материалов и в первую очередь тканей и трикотажных полотен.

Известно, что при взаимодействии жидкости с поверхностью твердого тела образуется соответствующий краевой угол  $\theta$ , который измеряется со стороны жидкости в точке пересечения продолжения ее профиля с этой поверхностью. На границе поверхности любого твердого тела с жидкостью и окружающим газом всегда существует поверхностное натяжение, однозначно определяющее удельную поверхностную работу — адгезию между жидкостью и твердым телом:

$$W_{\text{тж}} = \sigma_{\text{тж}} + \sigma_{\text{жг}} - \sigma_{\text{тг}}, \quad (11)$$

где  $W_{\text{тж}}$  — работа адгезии между твердым телом и жидкостью;  $\sigma_{\text{тг}}$ ,  $\sigma_{\text{тж}}$  — поверхностное натяжение на границах твердого тела соответственно с воздухом (газом) и жидкостью;  $\sigma_{\text{жг}}$  — поверхностное натяжение жидкости на границе с воздухом.

С другой стороны, по определению Юнга:

$$\sigma_{\text{тг}} = \sigma_{\text{тж}} + \sigma_{\text{жг}} \cos\theta. \quad (12)$$

Решая совместно уравнения (11) и (12), получим

$$W_{\text{тж}} = \sigma_{\text{жг}}(1 + \cos\theta). \quad (13)$$

Приведенное уравнение позволяет выявить физический смысл процесса взаимодействия жидкости с поверхностью твердого тела и установить, в частности, что если нулевое значение краевого угла практически можно получить, то краевой угол в  $180^\circ$  получить крайне трудно. Это связано с тем, что в данном случае адгезия между жидкостью и поверхностью твердого тела стала бы равна нулю.

По величине краевого угла смачивания  $\theta$  можно судить о степени смачиваемости твердого тела жидкостью, то есть о его гидрофобности или гидрофильности. В многочисленных экспериментах разными авторами определялась величина краевого угла смачивания исследуемых жидкостей на твердых телах различного вида. Было установлено, что на величину краевого угла смачивания оказывают влияние различные факторы, в том числе такие, как состояние поверхности и положение тела в момент измерения краевого угла, условия образования поверхности, условия проведения эксперимента. Однако основными факторами, влияющими также и на величину свободной энергии поверхности, на которой определяется краевой угол смачивания исследуемой жидкости, являются структурные особенности и химический состав поверхности. Последний фактор во многом обуславливают явления гидрофильности или гидрофобности различных материалов. Так, природа гидрофобности, в частности, полимеров для химических нитей объясняется наличием на их поверхности углеводородных групп  $-\text{CH}_2-$ , так же как, например, у парафина, гидрофобные свойства которого общеизвестны. Эти группы, ориентированные к поверхности полимера в результате ее перестройки при диполь — дипольном взаимодействии с молекулами воды, и определяют в значительной степени способность полимера к смачиванию. Адгезия этих групп к воде незначительна и поверхность полимера в связи с этим низкоэнергетична. Поэтому такие полимеры являются плохими адсорбентами молекул воды.

В большей степени краевой угол смачивания зависит от состояния поверхности тела: наличия загрязнений и неровностей на ней. В одних случаях с увеличением шероховатости значения краевого угла смачивания уменьшаются, а в других растут. Как правило, в случае гидрофобной поверхности ее шероховатость служит увеличению краевого угла, так как жидкость не в состоянии проникнуть в углубления шероховатой поверхности. И, напротив, на гидрофильной поверхности шероховатость заметно снижает величину краевого угла смачивания.

Измерения величины краевых углов смачивания проводились на стеклянных, борных, графитовых волокнах. Однако эти волокна далеки от текстильных по химической природе и имеют существенные отличия в структуре поверхности от комплексных крученых нитей, которые используются при изготовлении плащевых тканей.

Поверхность комплексных крученых нитей представляет собой сложную поверхность с

чередующимися выступами и впадинами, образующими ее рельеф. Этот рельеф придает нити своеобразную шероховатость. Наружная поверхность комплексной крученой нити при всех прочих равных условиях значительно превышает поверхность гладкой монопилити. Поэтому можно ожидать увеличения краевого угла смачивания комплексной крученой нити по сравнению с монопилитью в случае достаточно высокой гидрофобности исходного полимера, из которого она изготовлена. Действительно, известно, что фактическая площадь контакта капли жидкости на шероховатой поверхности больше аналогичной на гладкой поверхности. Это увеличение площади контакта определяется коэффициентом  $K$  из соотношения:

$$K = \frac{S_{\text{ш}}}{S}, \quad (14)$$

где  $S_{\text{ш}}$  — фактическая площадь контакта капли с шероховатой поверхностью;  $S$  — площадь контакта капли с гладкой поверхностью.

Пропорционально увеличению площади фактического контакта капли растет и величина удельной свободной поверхностной энергии шероховатой поверхности, то есть ее поверхностное натяжение:

$$\sigma_{\text{тгш}} = K \sigma_{\text{тг}}, \quad (15)$$

$$\sigma_{\text{тжш}} = K \sigma_{\text{тж}}. \quad (16)$$

Поэтому для шероховатой поверхности справедливо уравнение Венцеля — Дерягина:

$$\cos \theta_{\text{ш}} = K \cos \theta, \quad (17)$$

где  $\theta$  и  $\theta_{\text{ш}}$  — краевые углы на гладкой и шероховатой поверхностях.

Аналогично, исходя из положения о том, что снижение смачиваемости гидрофобных поверх-

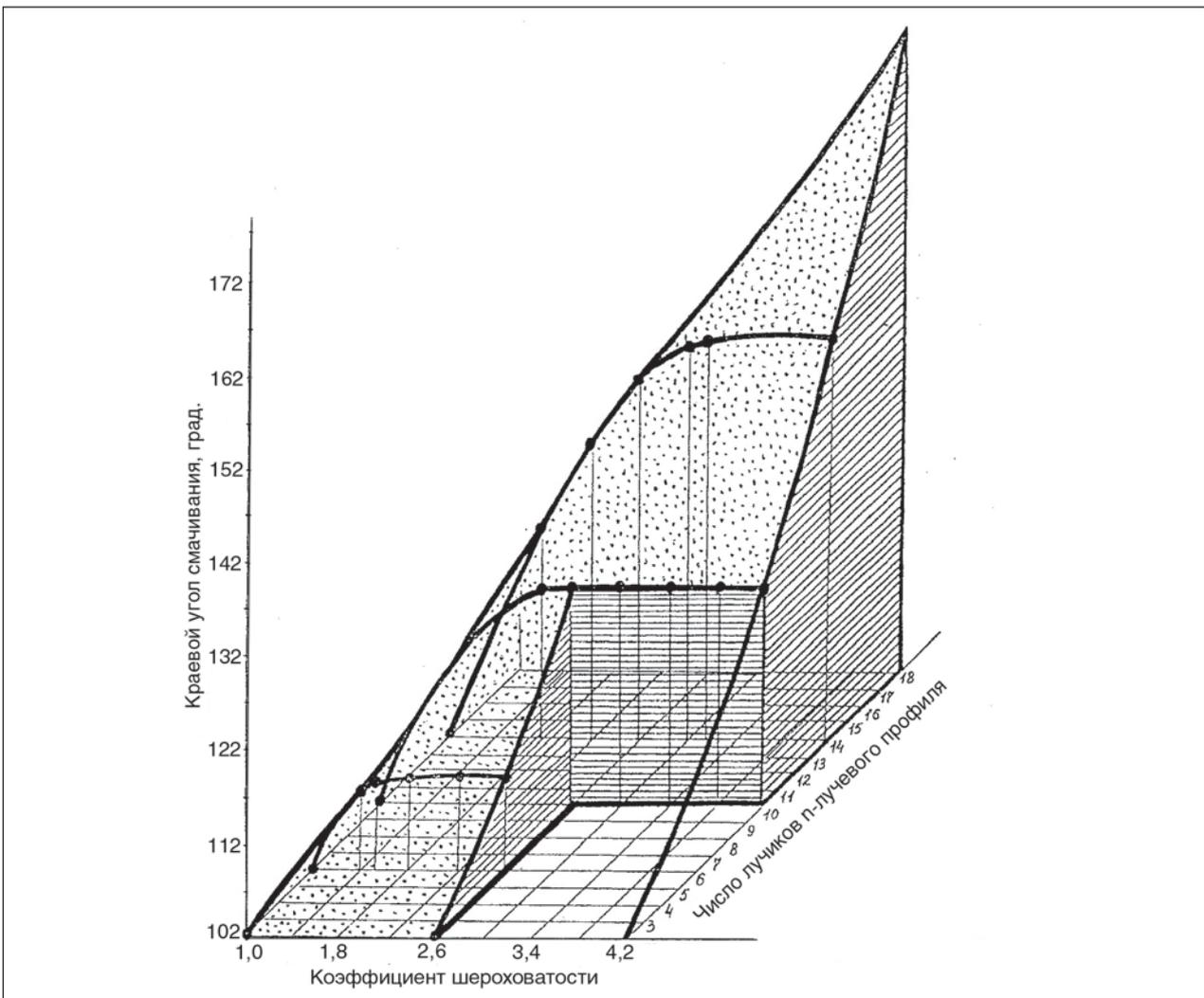


Рис. 3. Изменение краевого угла смачивания  $\theta$  в зависимости от коэффициента шероховатости  $K$

ностей зависит от наличия на них шероховатости, можно рассматривать и взаимодействие поверхности химических комплексных крученых нитей с водой. Решение вопросов гидрофобности поверхности материалов возможно путем всестороннего изучения структуры наружной поверхности комплексных крученых нитей. Формулы для расчета площади наружной поверхности комплексных крученых нитей с элементарными волокнами различных форм  $n$ -лучевых профилей дают возможность оценить степень шероховатости нитей. Если принять площадь поверхности комплексной крученой нити с круглыми элементарными нитями за номинальную, то получим сравнительные коэффициенты шероховатости для комплексных нитей с профилированными элементарными нитями:

$$K_n = \frac{S_{\text{нкп}}}{S_{\text{нко}}}, \quad (18)$$

где  $S_{\text{нкп}}$  — площадь поверхности комплексной крученой нити с профилированными элементарными нитями;  $S_{\text{нко}}$  — площадь поверхности комплексной крученой нити с круглыми элементарными нитями. В работе были получены формулы для определения коэффициентов шероховатости нитей различных профилей. Данные формулы применимы для расчета коэффициентов шероховатости нитей с  $n$ -лучевыми профилями с числом лучиков, начиная с трех и кончая максимальным их числом, реализация которого возможна в промышленном производстве профилированных волокон. Оценивая степень влияния различных параметров, входящих в формулы, можно сде-

лать следующие выводы. С изменением радиуса окружности, описанной около профиля ( $r_3$ ), коэффициент шероховатости  $K_n$  остается неизменным при одном и том же числе лучиков ( $n_{\text{мн}}$ ) и радиусе вписанной окружности ( $r_1$ ). Увеличение числа лучиков ( $n_{\text{мн}}$ ) приводит к увеличению коэффициента шероховатости, и наоборот. Однако для профиля 1 начиная с  $n_{\text{мн}} = 13$  значения  $K_n$  уменьшаются. Это объясняется тем, что увеличение числа  $n_{\text{мн}}$  приводит к «сглаживанию» профиля 1, который постепенно приобретает форму окружности с радиусом  $r_3$ , то есть  $K_n \rightarrow 1$ . В профилях с удлиненными лучиками с увеличением их длины  $b_n$  растет и коэффициент  $K_n$ . При значениях  $b_n = 0$  и  $r_1 = r_3$  профили приобретают вид окружности и  $K_n = 1$ . Гипотетическое максимальное значение  $b_n = r_3$  привело бы к значению  $K_n = n_{\text{мн}}/\pi$ , однако этот случай практически невозможно реализовать. Анализ формул показывает, что наибольшим коэффициентом шероховатости характеризуется нить с обобщенным  $n$ -лучевым профилем элементарных волокон (рис. 3). Можно предположить, что нити данного профиля в значительной степени позволяют реализовать возможность создания гидрофобной поверхности плащевых тканей за счет максимального использования структурных характеристик исходных комплексных крученых нитей. Приведенные результаты расчетов подтверждают правомерность сделанных ранее выводов и позволяют предположить о возможности применения изложенной методики расчета степени гидрофобности текстильных нитей при расчете гидрофобности поверхности текстильных полотен, в частности тканей и трикотажа.

### Литература

1. Тимошенко С. П. Сопротивление материалов. — М.: Наука, 1965. — Т. II.
2. Колкунов Н. В. Основы расчета упругих оболочек. — М., 1972.
3. Вольмир А. С. Устойчивость деформируемых систем. — М.: Наука, 1967.

## Коллоидно-химические аспекты современных нанотехнологий моющего действия

А. А. Агеев

Российский государственный университет туризма и сервиса

Существует старый афоризм: «грамотная постановка задачи — 50% успеха ее решения». Поэтому актуальной проблемой рассматриваемых технологий представляется скорейшее избавление от некоторых мифов и заблуждений, которые мешают понять, с чем мы работаем и какие действительные проблемы стоят перед реальными производствами.

Моющее действие по определению ИЮПАК — физико-химический процесс удаления загрязнений с поверхности твердых тел путем перевода в раствор и (или) состояние устойчивой дисперсии в жидкой дисперсионной среде. Иными словами, моющее действие отождествляется с распределением вещества в жидкой фазе.

Так вот, первый миф — существование «сухой чистки». Термин «сухая чистка» глубоко вошел не только в обывденное сознание, но нашел место и в классификационных справочниках по профессиям. На рынке имеются многочисленные технологии, которые предлагают в качестве альтернативы (я подчеркиваю альтернативы) моющему действию механическое воздействие или газовую обработку. Имеют ли право на существование различные пылесосы, механические щетки или очистка водяным паром? Конечно

имеют, но только на своем месте, только как дополнение, а не как альтернатива моющего действия. Почему?

Теория межмолекулярных взаимодействий дает следующую зависимость потенциальной энергии двух тел, в зависимости от расстояния между ними.

В первый момент времени частички загрязнения, попавшие на поверхность, связываются с ней за счет вандерваальсовых сил в точечном контакте. Расстояния между контактирующими поверхностями относительно велики, площадь контакта незначительна. Энергия взаимодействия мала. На втором этапе (движение по оси абсцисс справа налево) за счет капиллярной конденсации воды из окружающего воздуха в зазорах между загрязнением и поверхностью происходит вакуумное «схлопывание» и деформация частички. Площадь контакта увеличивается, расстояние между поверхностями уменьшается, энергия взаимодействия растет, и частичка попадает в первую потенциальную яму (рис. 1). Давление на частицу за счет капиллярных сил весьма значительно (1,5 атм для стеклянных пластин при зазоре  $1 \text{ мк} = 10^{-6} \text{ м}$ ).

Вопрос: можно ли с помощью пылесоса оторвать частичку загрязнения от подложки? Ответ дан еще в XVII веке, когда был поставлен опыт по отрыву «магдебургских полушарий», давление на которые составляло лишь 1 атм (рис. 2).

На втором этапе взаимодействия адгезионный контакт идет по всей площади, но через прослойки воды. Если же система сможет преодолеть потенциальный барьер, высота которого определяется работой выдавливания воды из зазоров, то реализуется полный прямой адгезионный контакт по площади значительно больше, чем ранее, за счет дальнейшей деформации частички, и она окажется во второй, более глубокой потенциальной яме. Кривая на рис. 1 представлена в реальном масштабе для случая вандерваальсовых сил. В случае возникновения химического взаимодействия (а эта ситуация вполне реальна) глубина потенциальной ямы возрастет на порядок. Вывод: ни на втором, ни на третьем этапах развития адгезионного контакта

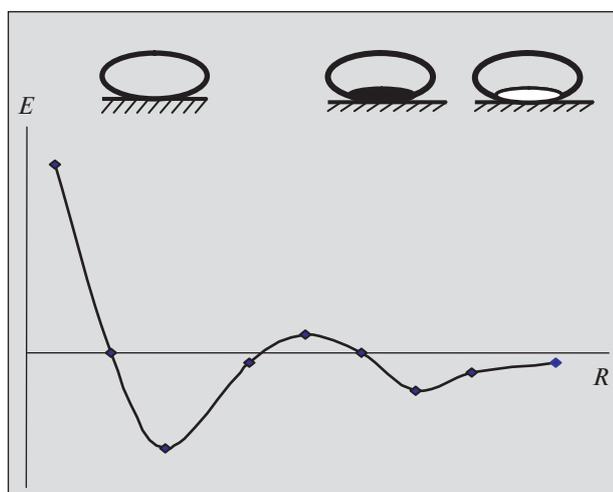


Рис. 1. Потенциальная энергия взаимодействия двух реальных тел

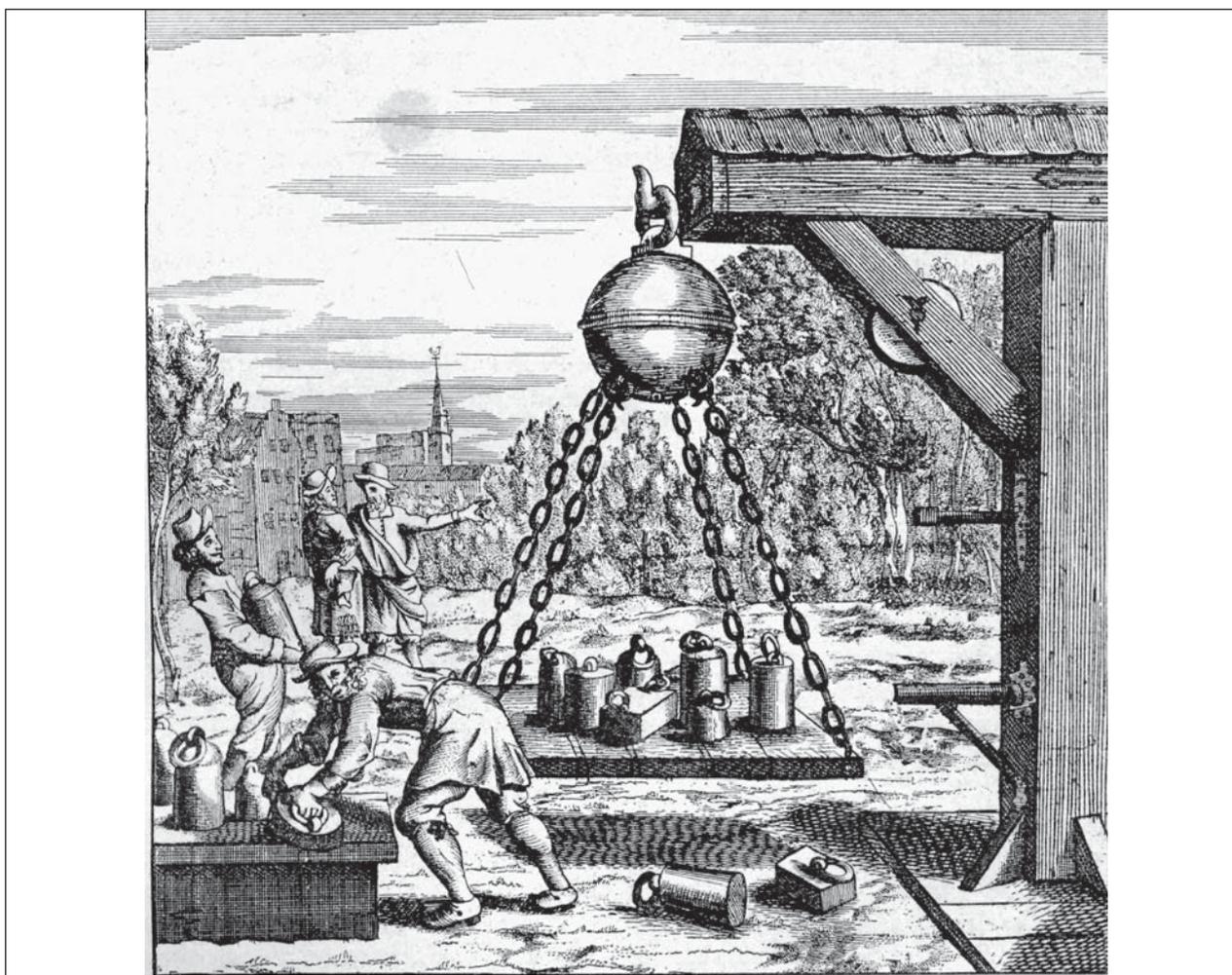


Рис. 2. Оттягивание грузом висящих магдебургских полушарий

«сухие» методы в принципе не могут обеспечить удаление загрязнений.

Итак, миф о сухой чистке опровергнут, и обнажилась действительная проблема. Как оптимизировать моющий процесс?

Изменение энергии Гиббса при отрыве загрязнения (при условии, что загрязнение и подложка — абсолютно твердые тела, а сам процесс проводится квазистатическим путем) для случая, изображенного на рис. 3, составит:

$$\frac{\Delta G}{S} = \frac{G_{\text{кон}}}{S} - \frac{G_{\text{нач}}}{S} = \sigma_{2-3} + \sigma_{1-3} - \sigma_{12}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{i-j}$  — межфазные натяжения.

Минимально необходимая работа по отрыву загрязнения должна компенсировать увеличение избыточной энергии Гиббса за счет образования двух новых поверхностей взамен одной.

Каким образом можно повлиять на величину этой работы?

Межфазная граница твердых тел недоступна для какого-либо воздействия извне.

При постоянных давлении и температуре  $\sigma_{12}$  — величина постоянная. Чтобы уменьшить затрачиваемую работу, необходимо снизить межфазное натяжение на вновь образованных поверхностях  $\sigma_{23}$ ,  $\sigma_{1-3}$ . Как это сделать? Единственным возможным путем: ввести в систему поверхностно-активные вещества (ПАВ). Адсорбируясь на этих поверхностях, они снижают межфазное натяжение, причем настолько, что величина изменения энергии Гиббса может уменьшаться до нуля или стать отрицательной величиной.

В этом случае процесс мощного действия идет самопроизвольно.

Этот вывод — квинтэссенция технологии мощного действия, показывающая научный путь повышения эффективности процесса.

Здесь же мы разрушили еще один миф: о возможности очистки поверхности без применения ПАВ. Ни одна ультразвуковая машина типа «Ретона» или самая совершенная машина химической чистки или гидравлической мойки

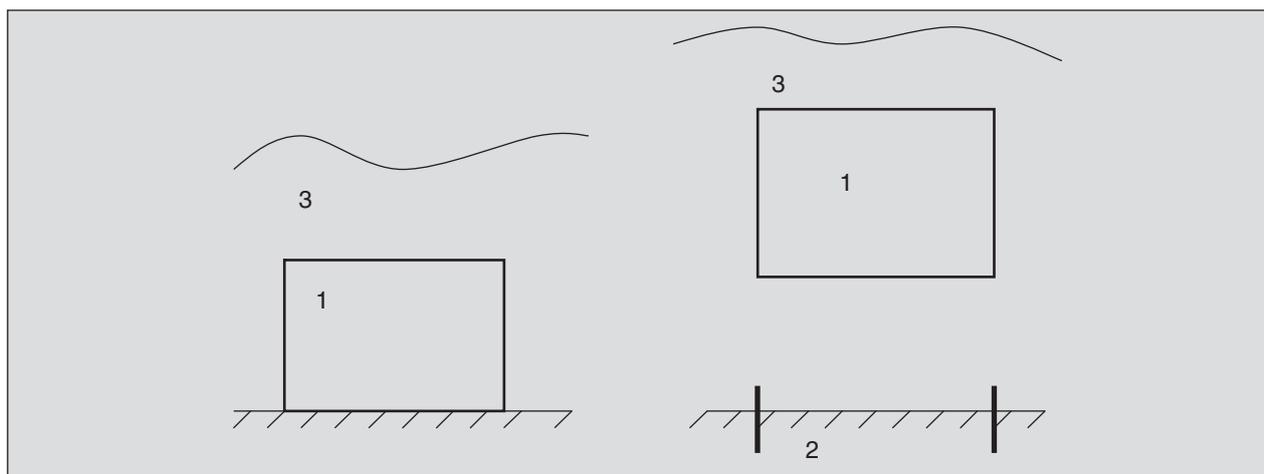


Рис. 3. Изменение энергии Гиббса системы при проведении моющего процесса

(«Korcher») не может эффективно работать без применения ПАВ.

Мне могут возразить: но ведь эти машины работают и продаются весьма успешно. Верно. Но давайте опять вернемся на уровень определений. Что такое химическая технология? Это научное описание экономически эффективного и экологически целесообразного способа производства товара или услуги. Исходя из этого определения, мы можем квалифицированно утверждать: можно помыть посуду без применения ПАВ струей воды под большим давлением, но это будет энергоемкий и экологически нецелесообразный способ. «Ретону» можно эффективно применять в качестве активатора для снятия внешнедиффузионного сопротивления в моющей системе, но как дополнение к композиции ПАВ.

Третий пример мифотворчества — основной механизм моющего действия. Неправильное понимание его приводит в случае стирки и химчистки к непониманию в соотношении между этими процессами и определении естественных технологических ниш, которые самой природой предоставлены для этих технологий. Миф заключается в заблуждении, что основным механиз-

мом удаления загрязнений является растворение загрязнений. Отсюда — деление загрязнений на водорастворимые и водонерастворимые, приводимые во всех учебных пособиях по технологии стирки и химчистки. Отсюда — мифическое представление о том, что химическая чистка в силу возможности растворения жироподобных веществ в перхлорэтилене более «глубока» и эффективна. От этого заблуждения даже специалисты называют моющие средства для стирки «стиральными порошками», а их аналоги в химчистке — всего лишь «усилителями химической чистки».

Отчего же такое очевидное и логичное (на первый взгляд) утверждение — миф? Приведем два факта. Почти 60 лет назад в статье Сандерса и Ламберта был приведен анализ общих загрязнений в различных городах США. Результаты приведены в таблице.

Аналогичные исследования были неоднократно повторены другими авторами, в том числе и нашими соотечественниками. Цифры могут незначительно различаться, но главный вывод подтверждается всеми: подавляющая часть загрязнений (80–85%) образована веществами,

Состав общих загрязнений, %

Компоненты	Питсбург	Детройт	Кливленд	Буффало	Сент-Луис	Бостон
Водорастворимые	15,4	13,5	15,9	11,4	14,9	15,4
Эфирорастворимые	10,8	4,9	7,1	6,5	12,8	7,7
Углерод	26,4	24,7	24,0	26,9	25,6	28,0
Зола	53,8	57,8	56,3	52,0	51,2	50,5
SiO <sub>2</sub>	25,6	25,5	26,4	24,0	24,1	21,4
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Fe <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	11,6	9,9	11,1	9,5	9,4	11,1
CaO	6,2	8,4	7,7	6,9	7,4	6,4
MgO	1,7	2,0	1,7	2,0	1,6	1,7

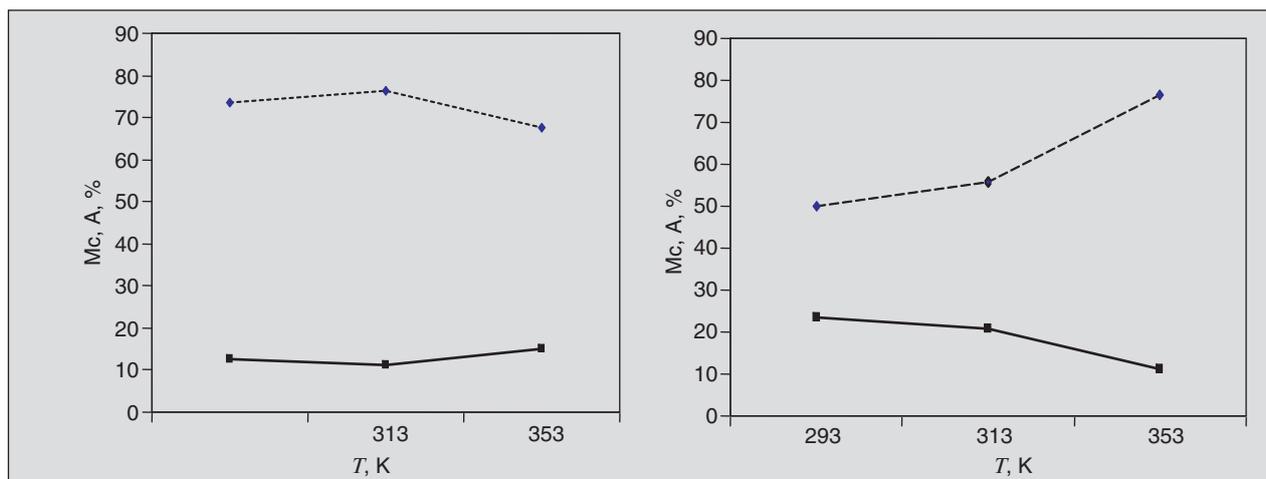


Рис. 4. Температурная зависимость мощей и антиресорбционной способности растворов оксифоса Б в ПХЭ (а) и в воде (б)

нерастворимыми ни в воде, ни в органических растворителях в том числе и в перхлорэтилене — основном растворителе химической чистки.

Отсюда вывод: растворение не есть основной механизм моющего действия. Косвенно это подтверждается другим любопытным фактом: перхлорэтилен быстро и в неограниченных количествах растворяет жироподобные вещества, но наиболее потребляемыми пятновыводными препаратами на предприятиях химической чистки служат средства для удаления именно маслянистых пятен. Нонсенс!

Как же тогда соотносятся стирка и химчистка? Рассмотрим результаты нашего исследования по «моющей способности». Этот показатель объективно оценивает, какую часть загрязнений удастся отмыть в результате того или иного процесса. Мы видим (рис. 4), что при 80°C (оптимальная температура проведения стирки) величины моющей способности по технологии стирки и химической чистки не отличаются.

Отсюда выводы: 1) приоритета химической чистки нет; 2) механизм моющего действия в стирке и химчистке во многом аналогичен и заключается (в основном) в переводе загрязнений в состояние устойчивой дисперсии. Прав был Адамсон, представления которого о механизме моющего действия можно сформулировать в виде афоризма: «Моющее действие есть растворение нерастворимых веществ». Тогда зачем нужна химчистка, если она а priori дороже стирки, а результат такой же?

Дело в том, что в воде все волокнообразующие полимеры (особенно натуральные) набухают, причем каждый по-своему. При стирке простого белья изменение линейных размеров незаметно. Но при стирке сложных швейных

изделий с многоволоконным составом неравномерность набухания приводит к потере формы изделия. Поэтому носовой платок стирать можно, а пиджак — нет.

Казалось бы, что все эти факты должны были бы похоронить миф о растворении, как основном процессе моющего действия. Но на выручку одного мифа приходит другой.

Поясним о чем идет речь. При достижении некоторой концентрации (называемой критической концентрацией мицеллообразования — ККМ) молекулы многих (но не всех!) ПАВ образуют ассоциаты — мицеллы различного строения (рис. 5–6). Ядро этих ассоциатов приобретает свойства новой фазы, которая для изображенных случаев аналогична свойствам углеводородной жидкости.

Таким образом, в водном растворе ПАВ могут растворяться жироподобные вещества. Это явление называется солюбилизацией.

Статья о моющем действии в «Химической энциклопедии», как и большинство других работ на эту тему, наполовину посвящена солюбилизации веществ в мицеллярных растворах ПАВ.

Тем самым постулируется, что важнейшая стадия механизма моющего действия реализуется вследствие солюбилизации.

Отсюда главный (и неверный на наш взгляд!) технологический принцип — рабочие концентрации моющих средств должны значительно превышать величину ККМ.

Со счетов сбрасываются, по меньшей мере, два факта: 1) в качестве компонентов моющих средств с успехом применяются немицеллообразующие ПАВ; 2) растворение через солюбилизацию происходит с небольшой скоростью.

Рассмотрим типичные кинетические кривые солюбилизации.

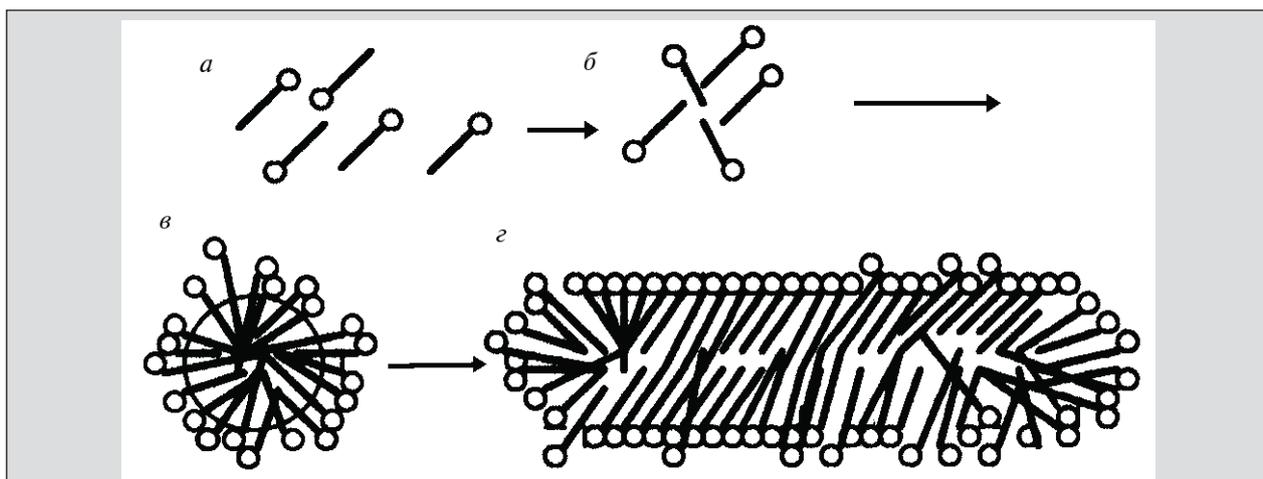


Рис. 5. Схема образования и трансформации мицелл в водных растворах ПАВ: *a* — молекулярный раствор; *б* — предассоциат молекул ПАВ; *в* — сферическая мицелла Ребиндера — Хартли; *г* — асимметричная мицелла Дебая — МакБэна

Из данных рис. 7 с очевидностью следует, что установление равновесия в процессе солюбилизации наступает через 15–20 ч.

Процесс стирки или химической чистки занимает 10–20 мин. Никакого серьезного вклада в моющее действие за это время солюбилизация внести не может\*.

Казалось бы все ясно, но для квалифицированного изложения мифа о роли солюбилизации надо объяснить другой довод наших оппонентов. Почему максимум моющего действия (как и

многих других свойств растворов ПАВ, например пенообразования) зачастую приходится на ККМ?\*

Ответить на этот вопрос можно только после того, как получены непротиворечивые ответы на два других вопроса: каков механизм моющего действия и что является основным фактором, определяющим полноту его прохождения? Ответы на эти вопросы составляют суть теории моющего действия, поэтому они самые главные и заслуживают самостоятельного скрупулезно-

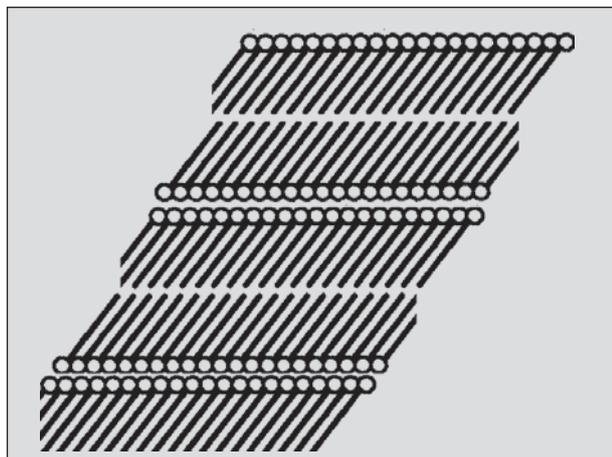


Рис. 6. Схема пластинчатой мицеллы Штауффа (фрагмент разреза)

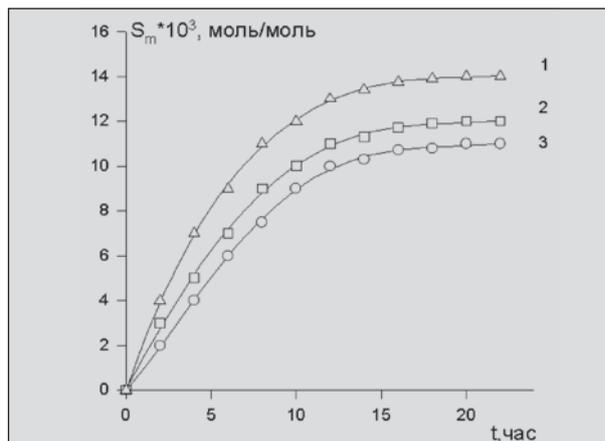


Рис. 7. Кинетические кривые солюбилизации красителя оранжевого — ОП.ПАВ: 1 — ОП-21,2; 2 — ОП — 16,4; 3 — ОП — 15,5

\* Справедливости ради надо отметить, что данные по кинетике солюбилизации получены для случая покоящейся жидкости. Турбулизация режима, имеющая место в машинах химической чистки или стирки, должна значительно ускорить процесс за счет снятия внешнедиффузионного сопротивления, но, как нам кажется, не в достаточной степени.

\*\* Следует оговориться, что сравнения данных по значениям ККМ и моющего действия с целью выявления корреляции между ними зачастую проводятся некорректно. Методы определения ККМ всегда подразумевают ее равновесное значение в растворе, в то время как определение моющей способности ведется в зависимости от общей концентрации ПАВ в системе. Не учитывается в этом случае значительный расход ПАВ на адсорбцию на текстильных материалах и частицах загрязнения. В связи с этим концентрация ПАВ, отвечающая максимуму моющего действия, может численно на порядок превышать величину ККМ.

го изложения. В настоящей работе позволю ограничиться только формулировкой ответов в рамках нашей теории: 1) диспергирование загрязнений и стабилизация полученной дисперсии есть основной механизм моющего действия; 2) адсорбция ПАВ на всех поверхностях раздела фаз моющей системы есть основной фактор, определяющий моющую способность.

Если эта гипотеза верна, то максимум моющего действия наступает не потому, что достигнута ККМ, а потому что сформировались адсорбционные слои ПАВ, предваряющие в дальнейшем ассоциацию ПАВ в растворе. Более того, появление мицелл в некоторых случаях может вызвать десорбцию ПАВ, что влечет за собой потерю устойчивости дисперсии отмытых загрязнений, усиление ресорбции, а следовательно, и уменьшение моющего действия. Таким образом, можно объяснить экспериментальный характер концентрационной зависимости моющего действия для большинства ПАВ.

Наиболее красноречиво в пользу нашего понимания механизма моющего действия свидетельствует факт наступления максимума моющего действия значительно раньше величины ККМ для широко используемых в качестве компонентов химической чистки оксифосов.

Максимум моющего действия наблюдается для этих ПАВ (рис. 8) при концентрации 1–2 г/л, в то время как значение ККМ ~ 10 г/л.

В некоторых случаях, например для оксифоса Б, величина моющего действия индифферентна в значительном концентрационном интервале. Величина этого интервала, на наш взгляд, диктуется разностью концентраций между точкой завершения насыщения адсорбционных слоев и началом ассоциации ПАВ в растворе.

Производным от неправильного понимания механизма моющего действия является миф о пятновыводных средствах. В большинстве учебников и справочниках даже последних изданий пятновыводные средства представляются в виде композиции «хороших» для данного вида загрязнений растворителей. Полной абсурдности достигает это заблуждение в рекламе пятновыводных средств для применения в быту. Дело в том, что каким бы образом мы химически не воздействовали на пятнообразующее вещество, в какую бы форму не переводили (обесцвечивали, растворяли и т. п.) оно остается на очищаемой поверхности. Специфика структуры текстильных изделий, ковров и напольных покрытий, кожи и меха заключается в их капиллярно-пористом строении. Раствор загрязнений в органических растворителях ввиду малого значения поверхностного натяжения будет хорошо смачивать поверхность и под действием поверхностных сил будет продвигаться по капиллярам внутрь очищаемого изделия. После многократных актов адсорбции – десорбции на внутренней поверх-

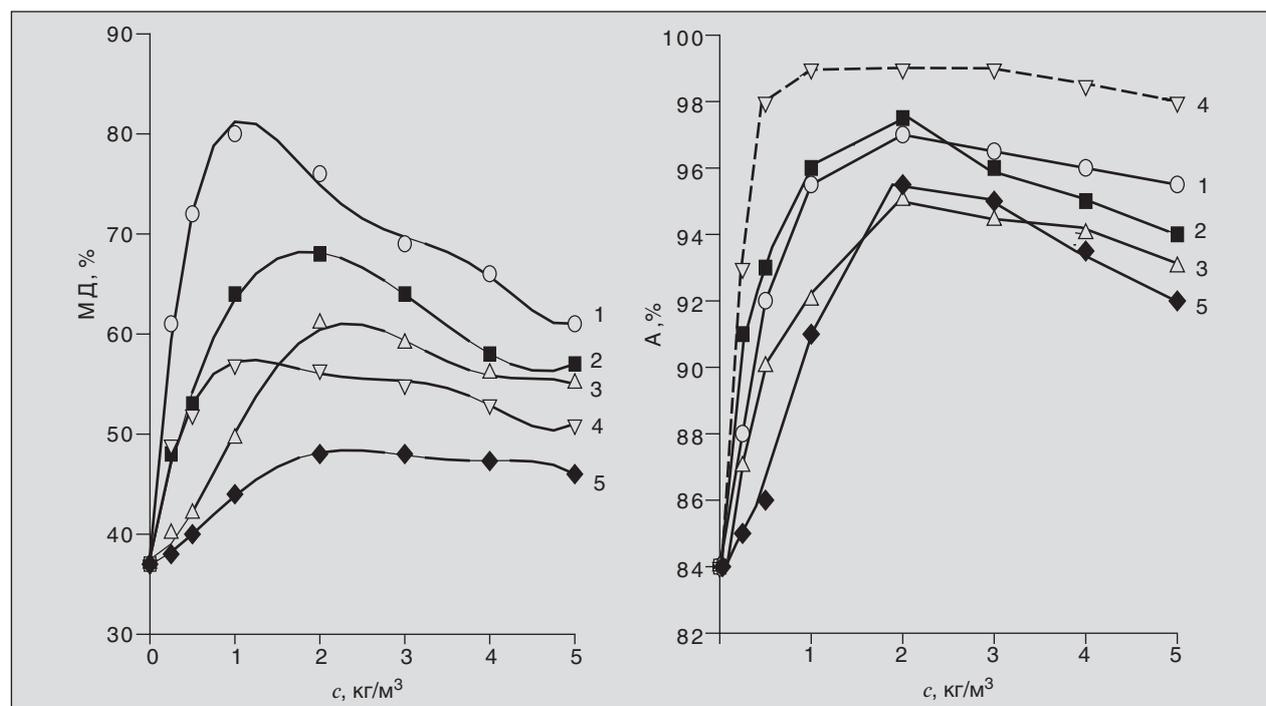


Рис. 8. Влияние концентрации растворов оксифосов в ПХЭ на моющую (а) и антиресорбционную (б) способность. Оксифосы: 1 — МЭА; 2 — ДЭА; 3 — ТЭА; 4 — АМ; 5 — Б

ности капилляров вещество загрязнения, а также смытые красители и отделочные материалы разделяются на компоненты, которые фиксируются в зависимости от химической природы на разных расстояниях от точки начала движения раствора. На практике это означает, что вместо локального загрязнения (пятна) мы получим пятно значительно большего радиуса с характерным «ореолом». Удалить загрязнение теперь будет гораздо сложнее, чем в начальном состоянии.

Ясно, что разработка технологии пятновыводки с опорой на механизм растворения — тупиковый путь.

По нашему мнению, технологию пятновыводки следует развивать по пути избирательного смачивания, а затем эмульгирования (диспергирования) загрязнений в моющей раствор. Основной принцип технологии пятновыводки состоит в следующем: нет препаратов, удаляющих пятна; есть препараты видоизменяющие загрязнения ткани таким образом, чтобы они легко отмывались в результате последующего общего моющего действия. В бытовых условиях химическая чистка не применяется, поэтому реклама пятновыводных средств для бытового применения — обман потребителя.

Слово «экология», к сожалению, на мой взгляд, вытеснило из лексикона приземленные, но конкретные понятия: охрана окружающей среды, рациональное природопользование, охрана труда, очистка сточных вод и т. п. Излишняя «глобализация» проблем, действительно стоящих перед отраслью, без детального их рассмотрения неизбежно приведет к очередному мифотворчеству. Характерно, что экологические проблемы отрасли, сформулированные еще 30 лет назад, не решены и сейчас в третьем тысячелетии.

Наиболее известные мифы, на культивировании которых сформировалось движение «зеленых», имеют прямое отношение к технологии моющего действия.

В 60–70 гг. прошлого века в результате неконтролируемого стока загрязненных вод было нарушено экологическое равновесие в главных реках Западной Европы и многих закрытых водоемах. Неспособность самоочищением справиться с последствиями хозяйственной деятельности привело к кризисным явлениям. Без достаточных исследований «образ врага» был сформирован в виде фосфатов, хотя сложный биоценоз водоемов могут регулировать и многие другие вещества и факторы воздействия. Основными источниками загрязнения фосфатами были названы сточные воды от прачечных и бытовой

стирки. В качестве меры пресечения избрали выведение триполифосфатов из состава моющих средств, где их содержание достигало 30–40%. В результате последующих исследований альтернатива триполифосфатов в виде цеолитов и комплексообразователей себя не оправдала, но многотоннажное производство триполифосфатов к этому времени было прекращено (в Западной Европе). Последующие серьезные научные работы показали, что источником фосфатного загрязнения были минеральные удобрения, которые тысячами тонн вывозились на поля и с естественными стоками попадали в водоемы. Масштабы этого источника загрязнений несоизмеримо больше, чем стоки после стирки.

Следующим мифом стал фреон как разрушитель озонового слоя Земли.

Были демонтированы 5(!) машин химической чистки в СССР, работавших на фреоне. Позже выяснилось, что выбросы фторхлоруглеродов от промышленных холодильных установок, плавучих и железнодорожных рефрижераторов на несколько порядков выше, чем от бытовых спрей-баллончиков и уж тем более от машин химической чистки. Однако фреоны как растворители химической чистки были скомпрометированы навсегда.

Следующим мифом стало утверждение о том, что перхлорэтилен при относительно невысокой температуре может разлагаться с выделением фосгена (это утверждение приведено и в учебнике химической чистки 2005 г.). Никто в отрасли аналитически не определил фосген в продуктах разложения перхлорэтилена. Более того, попытки количественного разложения перхлорэтилена с целью удаления его из отходов моющих технологий оказались непродуктивными: перхлорэтилен оказался весьма устойчивым соединением, несмотря на двойную связь в молекуле. Тем не менее этого утверждения, экспериментально не подтвержденного, было достаточно, чтобы перхлорэтилен отнести к классу опасных веществ. Соответственно были ужесточены требования к транспортировке и хранению перхлорэтилена. ПДК в рабочей зоне снижены на порядок в сравнении с другими странами. Не решен вопрос об утилизации шламов машин химической чистки. Это очень дорогостоящий миф для нашей отрасли, который до сих пор оплачивается из кармана потребителя услуг.

Очень серьезный вопрос — локальные очистные сооружения для удаления поверхностно-активных веществ из сточных вод от прачечных, цехов водной обработки, аква-чистки и химической чистки.

Цена вопроса здесь очень велика. Принятие решения о строительстве очистных сооружений удорожит капитальные вложения при строительстве небольших предприятий вдвое. Более того, появится новая, возможно более острая проблема. Локальные очистные сооружения будут концентрировать загрязнения, присутствующие в отработанном моющем растворе. В виде более компактного, но более токсичного, эти отходы необходимо утилизировать. Каким образом? Решением этого вопроса разработчики и проектанты обычно не затрудняются. Не получим ли мы ту же проблему, что и от шламов машин химической чистки, только в гораздо больших масштабах?

Проблема усугубляется тем, что собственных исследований по «экологичности» ПАВ в отрасли не ведется, а информация от зарубежных и отечественных исследовательских центров противоречива, а иногда и лоббируется крупными производителями соответствующих технологий.

Прежде всего необходимо провести исследование и решить: 1) каким предприятиям (по объему производства) экономически целесообразно строить локальные очистные сооружения; 2) как утилизировать конечные продукты работы этих сооружений; 3) каким образом дифференцировать оплату небольшим предприятиям очистки своих сточных вод городскими очистными сооружениями; 4) насколько вредны эти стоки

для различных технологий городских очистных сооружений.

Почему нанотехнологии вынесены в название доклада? Что это — дань нынешней научной моде? Отнюдь нет. По определению классика современных нанотехнологий профессора Токийского университета Н. Кобаяси, «нанотехнологии определяются как совокупность прикладных и практических применений результатов междисциплинарной науки, относящейся к фундаментальным физико-химическим исследованиям объектов и процессов с масштабами от одного до 100 нанометров».

Выше мы сформулировали основной тезис рассматриваемой нами теории моющего действия: главным фактором, определяющим эффективность моющего процесса в целом и на каждой его стадии от смачивания до модификации отмытой поверхности является адсорбция ПАВ. Структура и строение адсорбционных слоев ПАВ диктуют направления и глубину прохождения всех процессов в моющей системе.

Толщина адсорбционных слоев в зависимости от степени насыщения и молекулярности составляет величину от нескольких до 20–30 нанометров в мономолекулярном адсорбционном слое. Мы работали и работаем сейчас в области нанотехнологий. Особое значение имеет адсорбционная модификация поверхностных свойств. Это направление позволяет прививать новые заданные свойства известным материалам или получать новые материалы.

### Литература

Агеев А. А., Волков В. А. Поверхностные явления и дисперсные системы в производстве текстильных материалов и химических волокон: Учебник для вузов. — М: МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2004. — 464 с.

### ТЕМАТИЧЕСКИЕ ИЗДАНИЯ

**П. И. Рогов, Н. М. Конопальцева.** Конструирование мужской одежды для индивидуального потребителя: Учебное пособие для сред. проф. образования. — М.: Издательский центр «Академия», 2006. — 384 с.

Приведены особенности телосложения, пропорций и осанки мужских фигур, характеристика их морфологической изменчивости в зависимости от различных факторов. Кратко описаны принципы построения чертежей конструкций в различных методах конструирования. Детально рассмотрен расчетно-мерочный метод конструирования одежды. Приведены расчеты и построение чертежей конструкций различных видов мужской одежды на индивидуальные фигуры с различными особенностями телосложения.

Для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования. Может быть использовано студентами вузов соответствующего профиля при изучении дисциплины «Конструирование одежды» и специалистами, занимающимися конструированием мужской одежды.

## Принципы разработки новых технологических решений в сервисе с позиций инженерной химии

Е. А. Лукашев

Российский государственный университет туризма и сервиса

Перед фундаментальной и прикладной наукой всегда стоит одна задача: повышение эффективности производства, технологий, машин и т. д. Эта задача имеет несколько аспектов. Первый — это принципиальная возможность повышения эффективности и оценка пределов ее достижения. Такая задача впервые была поставлена Карно, и ее решение дало теоретическую основу всех современных технологий — термодинамику. Второй аспект этой общей задачи — это разработка конкретных приемов достижения более высокой эффективности. Как правило, эти задачи решаются методами прикладной науки. Однако отдельные направления современной науки достаточно сильно разошлись в методах исследования и теоретическом аппарате. Поэтому часто односторонний взгляд на объект исследования не позволяет осознать ряд других сторон того или иного объекта, имеющего ценность как продукт некоторого производства или как отдельная операция какой-либо технологии.

Технологии, имеющие дело с материальным производством, так или иначе, работают с веществом. Вещество же является классическим объектом химической науки. Поэтому часто взгляд на тот или иной объект с позиций химии или, точнее, с позиций инженерной химии, т. е. химии, которая ставит перед собой цель решение инженерных задач, может дать новую постановку вопросов и далее новое решение задачи.

Проиллюстрируем данный тезис примерами из области технологии водоподготовки, в частности, для коммунального водоснабжения, а также промышленного водоснабжения в части очистки сточных вод.

Первый пример — это химическая модификация поверхности активированного угля. Активированные угли — классический адсорбент, который используется для поглощения токсичных веществ. Считается, что хорошие адсорбенты — это те, которые поглощают большее количество токсичного вещества. Для того чтобы увеличить адсорбционную способность угля, увеличивают его поверхность и лучшие угли имеют удельную поверхность порядка 1000–1200 м<sup>2</sup>/г. Однако при этом размер пор становится малым, а это

затрудняет диффузию токсичного вещества. Тем самым лучшие угли имеют наихудшие свойства в динамике фильтрации, т. е. необходимо фильтровать с малыми скоростями. Это приводит к необходимости иметь большие объемы угля, большие производственные площади, т. е. большие капитальные затраты. Какой может быть выход? Первый — это уменьшить гранулу угля. Но это приведет к большему гидравлическому сопротивлению фильтрующего слоя и, соответственно, большим затратам энергии на фильтрацию, т. е. к большим эксплуатационным затратам. Зададимся вопросом, может ли существовать другое решение этой технологической задачи?

С точки зрения химии поверхности адсорбция, если встать на позицию Менделеева, который считал, что слабые взаимодействия также являются химической реакцией, представляет собою химическую реакцию, в которой реализуются слабые химические взаимодействия. В этом случае решение технологической задачи можно сформулировать следующим образом: для более эффективной адсорбции следует увеличить энергию взаимодействия.

Известно, что сильные химические взаимодействия отличаются от слабых по энергии взаимодействия на два порядка (в 100 раз). Тогда если у нас будет адсорбент с площадью поверхности 30–40 м<sup>2</sup>/г, но удельная эффективность адсорбции будет увеличена в 100 раз, то это даст угли, в 2–3 раза превышающие лучшие активированные угли. Более того, в динамике фильтрации диффузионные ограничения будут гораздо ниже за счет большего размера пор.

Экспериментальное доказательство этого тезиса привело к разработке новых активированных углей и новых приемов очистки питьевой воды и сточных вод от трудно сорбируемых веществ [1–3]. Для питьевой воды с помощью активированного сульфоугля удалось повысить эффективность очистки от хлорорганических соединений, которые образуются при хлорировании природной воды. Но особенно высокую эффективность проявили этот сульфоуголь, а также сульфоуголь, модифицированный гидроксидом алюминия, при очистке сточных вод заводов по

производству пестицидов (хлорорганического, фосфорорганического и триазинового рядов). Эта работа была выполнена на имитатах в России (Москва) и сточной воде завода в США (шт. Луизиана).

Таким образом, исследование технологической задачи с позиций химии поверхности адсорбентов дало принципиально новое техническое решение. Но что самое главное — такого типа решения могут далее тиражироваться. Это может дать качественный скачок в повышении эффективности всей технологии очистки различных типов вод.

Второй пример — это очистка природной воды от нитратов и нитритов [4–8]. Загрязнение природных вод соединениями азота характерно для регионов с интенсивным землепользованием. Так, в шт. Иллинойс в США 75% скважин дают воду с содержанием нитратов, в 3 и более раз превышающим предельно-допустимую концентрацию (ПДК). К такому положению приводит использование удобрений: аммиачной и калийной селитры, мочевины и органических удобрений (навоза).

В традиционной постановке проблема ставилась как разработка технологии удаления нитратов и нитритов из воды. Было исследовано большое число сорбентов природных и искусственных — цеолитов и ионообменных смол. Однако их эффективность оказалась низкой. Поскольку нитраты и особенно нитриты адсорбируются ионитом почти в последнюю очередь после сульфатов и хлоридов, то это означает, что для их удаления необходимо провести почти полное обессоливание воды. Но тогда, чтобы вода была питьевой, необходимо заново восстановить ее солевой состав. А это означает приготовление искусственной воды в очень больших масштабах.

С химических позиций эту проблему пытались решить методами электрохимии, восстанавливая нитрат-ион до азота на платине. Естественно, что такой процесс не пригоден для обработки миллионов кубометров воды в сутки.

Решение проблемы было найдено при ее анализе с позиций химии каталитических реакций и гидрохимии природных вод. В частности, оказалось, что подземные воды, залегающие ниже грунтов, содержащих железистые пески, никогда не содержат нитратов и нитритов, даже если фильтруются грунтовые воды, обогащенные этими компонентами. Это означает, что ион двухвалентного железа является восстановителем для нитрита и даже для такого устойчивого

иона, как нитрат. Однако геологические процессы — медленные процессы. Ускорения процесса можно достичь, используя катализатор. Оказалось, что использование в качестве катализатора сульфогля (ионообменный катализ) дает необходимый эффект. Нитриты и даже нитраты могут быть удалены полностью в ходе реакции каталитического восстановления этих ионов до молекулярного азота.

Тем самым, рассмотрение проблемы с позиций химии катализа дало новое техническое решение. И это решение дало возможность рекомендовать эту технологию для обработки воды в больших масштабах. Более того, эта технологическая стадия может быть проведена на тех очистных сооружениях, которые традиционно используются на станциях очистки природных или сточных вод.

Третий пример — приготовление раствора смешанного железно-алюминиевого коагулянта в мембранном электролизере [9, 10].

Классические коагулянты — это сульфат алюминия и хлорид трехвалентного железа, используются в водоподготовке для удаления взвеси, придающей воде мутность, и гуминовых соединений, придающих воде цветность, болотный и другие привкусы и запахи.

При очистке питьевой воды процесс электрокоагуляции ведут с растворимыми анодами (железо, алюминий) и нерастворимым катодом (железо). Однако для очистки питьевой воды данный процесс практически не применяется. Это связано с тем, что природная пресная вода содержит мало ионов, поэтому обладает большим электросопротивлением, поэтому, чтобы обеспечить приемлемое значение тока, необходимо накладывать большое напряжение. В связи с этим затраты электроэнергии достаточно велики, а процесс экономически невыгоден. Поэтому электрокоагуляция нашла применение только при очистке сточных вод, имеющих большую концентрацию ионных примесей.

Таким образом, в данной группе технологий эффективного решения найдено не было и от технологии пришлось отказаться. Это произошло по следующей причине. Обычно электрокоагуляцию трактуют как физическое воздействие на состояние природной воды. Однако такая трактовка не верна, поскольку физическое воздействие оказывает свое действие только путем изменения химического состояния объекта. В связи с анализом технологии электрокоагуляции было предложено решение, которое представляет электрокоагуляцию как процесс, в котором идет электрохимический синтез ре-

агента — коагулянта. Отсюда следовало, что эту стадию необходимо выделить в отдельную и при этом повысить ее и технологическую, и экономическую эффективность.

Параллельно была поставлена задача — приготовить коагулянт, который является эффективным для тех групп природных вод, для которых традиционные приемы не дают требуемой степени очистки. Известно, что для вод с малым содержанием, малой мутностью и высокой цветностью, и к тому же имеющих низкую температуру, эффективным является железный коагулянт — хлорид трехвалентного железа. Однако транспортировка этого коагулянта практически невозможна из-за его высокой гигроскопичности и высокой коррозионной активности. Поэтому его готовят на месте потребления, но для этого требуется хлор, что также усложняет технологию. Такое положение привело к тому, что подобные технологии не нашли практического применения. С другой стороны, известно, что еще большей эффективностью для таких вод обладают смешанные железо-алюминиевые коагулянты.

Эта задача была решена путем разработки мембранного электролизера с железным анодом и алюминиевым катодом [9, 10]. В разделенных анодном и катодном пространствах электролизера идет анодное окисление железа и катодный синтез щелочи (раствор: хлорид натрия — поваренная соль). Щелочь является реагентом, растворяющим алюминий. Получающиеся анолит и католит при смешении дают раствор смешанного железо-алюминиевого коагулянта. Причем потребление электроэнергии весьма мало, так как электролизер работает почти как источник тока за счет химического окисления алюминия.

Технологические эксперименты показали высокую эффективность очистки воды таким коагулянтом. Кроме того, были проведены санитарно-гигиенические эксперименты, показавшие высокую эффективность очистки от хлорорганических соединений, которые в больших количествах образуются при хлорировании высокоцветных вод [11].

Таким образом, анализ технологии электрокоагуляции с позиций электрохимии дал возможность разработать эффективный технологический процесс. Этот процесс может стать решением многих задач водоподготовки в проблемных в этом отношении регионах: на севере и востоке России.

Четвертый пример представляет собою пока не решенную задачу, но исследования для ее решения планируется провести в рамках лаборатории инженерной химии как поисковые.

Для ряда природных вод обработка воды коагулянтом на основе соединений алюминия приводит к тому, что в очищенной воде остается большое количество алюминия, так называемый остаточный алюминий. Ранее норматив на остаточный алюминий составлял 0,5 мг/л. Однако в Европе этот норматив был ужесточен до 0,2 мг/л. Переход на этот норматив для ряда российских водоисточников оказался проблематичным. Поверхностные воды севера и юга России в технологическом отношении являются различными. Особо сложными для очистки являются поверхностные воды северных регионов. Воды юга России и Европы являются подобными, и здесь проблему остаточного алюминия удается решить относительно легко. Однако для ряда водоисточников проблему очистки на уровне современных требований решить не удается.

Другая сторона данной проблемы — выбор коагулянта. Более 20 лет, особенно в России и США, исследовался коагулянт — оксихлорид алюминия, поскольку считалось, что с помощью этого реагента могут быть решены все проблемы. Однако после 20-летнего исследования оказалось, что в некоторых случаях более эффективным коагулянтом является оксихлорид алюминия, в других случаях более эффективен традиционный коагулянт — сульфат алюминия, в третьих случаях их эффективность одинакова. Почему это так, до сих пор ответа не найдено. Более того, 20-летние исследования не могут дать на это ответ, поскольку в этих работах не фиксировались гидрохимические показатели, а изучались только показатели, требуемые стандартами на питьевую воду: мутность, цветность, остаточный алюминий и т. д.

Для ответа на этот вопрос в лаборатории инженерной химии планируется работа с имитатами природных вод. Планируемые поисковые исследования должны дать ответ на ряд специфических химических вопросов, которые не могли быть поставлены специалистами по водоподготовке в силу того, что они в свое время получили только общие знания по химии и прикладные знания по технологии, а фундаментальных систематических знаний в области химических дисциплин у них нет. Тогда возникает вопрос: эту проблему должны решать специалисты-химики? Однако традиционным объектом химических дисциплин в области растворов являются растворы с достаточно высокой концентрацией компонентов. С позиций термодинамической классификации технологий разделения веществ и очистки (сырья и получаемых продуктов) технология водоподготовки относится к группе технологий, цель

которых получение особо чистых веществ. Сюда относятся технологии производства полупроводниковых материалов, материалов для ядерной энергетики и родственных специализированных областей, производства реагентов и фармацевтических препаратов. Среди этих технологий технология водоподготовки является уникальной по масштабу производства. Если другие технологии получают продукт в килограммах, тоннах или даже тысячах тонн в год, то технология водоподготовки дает миллионы кубометров в сутки. Этот продукт — вода, потребляется всеми, т. е. должен быть общедоступным. Это означает, что он должен быть относительно дешев. С точки зрения технологической науки это означает, что технические решения должны быть простыми. Но в этом, как раз и заключается вся сложность поиска и разработки новых и эффективных решений.

Другой класс инженерных задач, которые также могут и должны рассматриваться с позиций фундаментальных химических дисциплин — это задачи трибологии. Одна из самых сложных задач трибологии, как отмечали многие выдающиеся триботехники, это — объяснить зависимость коэффициента трения от скорости скольжения. Использование представлений о взаимодействии материалов при фрикционном контакте как адгезионном, т. е. химическом, взаимодействии, которое можно теоретически описать в рамках химической кинетики, позволило построить все характерные зависимости коэффициента трения от скорости скольжения — характеристики Шрибека-Гарси [12–16].

Последующая работа по сопоставлению теоретических зависимостей и экспериментальных данных показала, что ряд прикладных задач триботехники может найти решение. Так, например, физико-химическая интерпретация только одного параметра — скорости растекания смазки — позволяет определить, какая смазка будет хорошей в заданных условиях эксплуатации. Причем этот вывод можно сделать по физико-химической характеристике смазки и ее способности смачивать поверхность фрикционного контакта. Хорошая смазка должна иметь хорошую смачивающую способность и в то же время быстро растекаться. Для быстрого растекания она должна обладать низкой вязкостью. Однако низкая вязкость смазки может быть обеспечена низкой молекулярной массой ее компонентов. Тогда эти компоненты будут легко десорбироваться с пятен контакта из-за повышенной температуры. Это свойство является плохим. Отсюда следует, что смазка должна обладать низкой способностью к десор-

бции при повышении температуры. Это же, в свою очередь, может быть достигнуто увеличением молекулярной массы компонентов смазки. Таким образом, после определения критериев эффективности смазки для заданных условий эксплуатации может быть поставлена задача оптимизации ее состава.

Решение данной задачи в окончательном виде даст возможность снизить количество экспериментов и уменьшить число испытаний. Это, в свою очередь, есть прямой экономический эффект, но больший эффект даст экономия времени при внедрении новой техники. Такой подход значительно повышает конкурентную способность научных результатов.

Другой пример — использование химических представлений в задачах механики [16–24]. Это — задачи износа и разрушения. Рассмотрение разрушения как образование дефектов и различных трещин с позиций химической кинетики позволило построить теоретические распределения отказов при разрушении различных материалов и деталей. Применение этих теоретических зависимостей и компьютерных программ аппроксимации экспериментальных данных к ряду материалов показало, что они — эти зависимости — дают важную в технологическом отношении информацию.

Так, на примере автомобильных шин было показано, что шины с полностью восстановленным протектором имеют меньший ресурс по причине накопления повреждений в основном материале шины. Причем эти повреждения являются двумерными трещинами и концентрируются по межфазным границам. Эти границы — эластомер (резина) — технический углерод и эластомер (резина) — корд. В таком случае технологическое решение задачи повышения ресурса восстановленных шин может быть получено двумя путями. Первый — развитие поверхности технического углерода, например, за счет предварительного травления. Второй — введение в полимер таких модификаторов, которые имеют участки с повышенным родством к техническому углероду и другим участкам с повышенным родством к эластомеру. Адсорбция таких компонентов на поверхности технического углерода даст более размытую межфазную границу. Это, в свою очередь, приведет к снижению градиентов напряжения при деформации шины. Таким образом, скорость образования и рост различного типа повреждений будут снижены, что даст повышение качества шин.

Подобный подход к решению задач материаловедения и механики композиционных ма-

териалов даст технологический ответ в общем виде. Конкретный путь реализации в этом случае будет занимать значительно меньше времени, сил и средств. Теоретическое решение задачи

значительно сужает область поиска, так как задает критерий, по которому нужно провести отбор, например, каких-либо компонентов.

### Литература

1. Лукашев Е. А., Ба А. Перспективы адсорбционных методов в технологии очистки воды.  
1. Активированные угли и угольно-минеральные адсорбенты // Инженерное обеспечение объектов строительства. Экспресс-информация. — М.: ВНИИТПИ Госстроя РФ. — 1997. — № 4. — С. 20–28.
2. Лукашев Е. А., Ба А. Перспективы адсорбционных методов в технологии очистки воды. 2. Адсорбция органических соединений на ионитах // Инженерное обеспечение объектов строительства. Экспресс-информация. — М.: ВНИИТПИ Госстроя РФ. — 1997. — № 5. — С. 32–46.
3. Ба А. Очистка цветных природных и сточных вод на модифицированных угольных адсорбентах. — Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. — М.: МГУП, 1997. — 222 с.
4. Аль Аджи Б., Лукашев Е. А. Способ очистки воды от нитратов и нитритов. Патент РФ № 2122979 от 10.12.1998. Приоритет от 04.07.1995.
5. Лукашев Е. А., Аль Аджи Б., Федоровский Н. Н. Каталитический способ очистки природных вод от нитратов и нитритов // Инженерное обеспечение объектов строительства. Экспресс-информация. — М.: ВНИИТПИ Госстроя РФ. — 1998. — № 1. — С. 1–12.
6. Лукашев Е. А., Аль Аджи Б., Федоровский Н. Н. Математическое моделирование электролизера для процесса электрокаталитической очистки природных вод от нитратов и нитритов // Инженерное обеспечение объектов строительства. Экспресс-информация. — М.: ВНИИТПИ Госстроя РФ. — 1998. — № 1. — С. 13–23.
7. Лукашев Е. А., Аль Аджи Б., Федоровский Н. Н. Математическая модель каталитического реактора для технологии очистки природных вод от нитратов и нитритов // Инженерное обеспечение объектов строительства. Экспресс-информация. — М.: ВНИИТПИ Госстроя РФ. — 1998. — № 2. — С. 1–6.
8. Аль Аджи Б. Исследование методов и разработка установок для физико-химической очистки природных вод от нитратов и нитритов. — Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. — М.: МГУП, 1995. — 242 с.
9. Лукашев Е. А., Мальшева А. Г., Камалов М. Мембранный электролизер и технология электрохимического приготовления коагулянта // Инженерное обеспечение объектов строительства. Обзорная информация. — М.: ВНИИТПИ Госстроя РФ. — 2002. — № 3. — 52 с.
10. Камалов М. Разработка мембранного электролизера и технологии электрохимического приготовления смешанного железо-алюминиевого коагулянта. — Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. — М.: МГУП, 2003. — 170 с.
11. Мальшева А. Г., Лукашев Е. А. Оценка эффективности и гигиенической безопасности технологии электрохимического приготовления смешанного железо-алюминиевого коагулянта для питьевого водоснабжения // VI Международный конгресс «Вода: экология и технология». Экватэк-2004. — М., 2004. — Ч. 1. — С. 535–536.
12. Лукашев Е. А. Топохимическая кинетика адгезионного взаимодействия двух твердых тел в процессе трения скольжения // Теоретические и прикладные проблемы сервиса. — 2003. — № 2. — С. 13–22.
13. Лукашев Е. А., Ставровский М. Е. К построению математических моделей технической диагностики узлов трения // Теоретические и прикладные проблемы сервиса. — 2004. — № 1(10). — С. 10–19.
14. Лукашев Е. А., Коптев Н. П., Юркин Ю. А. Математические модели внешнего трения // Технологии нефти и газа. — 2007. — № 1. — С. 34–45.
15. Коптев Н. П., Юркин Ю. А., Лукашев Е. А. Качественный анализ математической модели топохимической кинетики адгезионного взаимодействия двух твердых тел в процессе трения скольжения // Теоретические и прикладные проблемы сервиса. — 2007. — № 2(23). — С. 20–25.
16. Юркин Ю. А. Верификация математических моделей механохимической кинетики трения и накопления повреждений в конструкционных материалах при разрушении. — Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. — М.: МГУС, 2007. — 232 с.
17. Лукашев Е. А., Посеренин С. П., Олейник А. В. К построению кинетических схем, генерирующих статистические распределения // Теоретические и прикладные проблемы сервиса. — 2005. — № 3(16). — С. 3–9.
18. Лукашев Е. А., Посеренин С. П., Олейник А. В. Сопоставление одного статистического распределения накопления повреждений и распределения Вейбулла // Теоретические и прикладные проблемы сервиса. — 2005. — № 4 (17). — С. 9–16.
19. Лукашев Е. А., Посеренин С. П., Олейник А. В. Результаты сопоставления двух аппроксимирующих распределений для процесса накопления повреждений. Теоретические и прикладные проблемы сервиса. — 2005. — № 4 (17). — С. 61–64.

20. Лукашев Е. А., Посеренин С. П., Юдин В. М. Статистическая модель кинетики образования и роста двумерных и трехмерных перекрывающихся трещин // Теоретические и прикладные проблемы сервиса. — 2006. — № 2 (19). — С. 3–7.
21. Лукашев Е. А., Посеренин С. П., Юдин В. М. Качественный анализ статистической модели кинетики образования и роста двумерных и трехмерных перекрывающихся трещин // Теоретические и прикладные проблемы сервиса. — 2006. — № 3 (20). — С. 3–7.
22. Юдин В. М. Трибохимические исследования процессов диагностики и сервиса технологического оборудования. — Дисс. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. — М.: МГУС, 2004. — 368 с.
23. Посеренин С. П. Теоретические основы стратегий технического обслуживания машин и технологического оборудования. — Дисс. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. — М.: МГУС, 2005. — 352 с.
24. Лукашев Е. А. Представление механизма разрушения кинетическими схемами // Труды Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика С. Т. Кишкина «Научные идеи С. Т. Кишкина и современное материаловедение». — М.: ВИАМ, 2006. — С. 232–235.

Издательством «Техника» выпущен справочник

## “Нефти и газовые конденсаты России”

Изменение структуры топливно-энергетического комплекса, отпуск цен на сырую нефть и нефтепродукты и ряд других экономических факторов привели к резкому росту спроса на информацию о нефти, особенно на ее товарную характеристику. Исследование нефти или газового конденсата проводится с целью получения данных о физико-химических свойствах нефти, ее фракций и остатков, что необходимо для определения потенциального содержания товарных нефтепродуктов в нефти и выбора варианта ее переработки. На этой основе теперь решаются не только вопросы реконструкции действующих НПЗ или оценки их производственной деятельности, но и новые задачи, такие как: стоимость освоения новых месторождений, эквивалентность замены одной группы нефтей на другую, рентабельность строительства мини-заводов по производству топлив для собственных нужд, выбор сырья для новых технологий и производства продуктов по зарубежным спецификациям и др.

В целях поддержки отечественной нефтяной промышленности ОАО ВНИИНП решил опубликовать накопленные данные по свойствам нефтей РФ, открытых и исследованных за период 1983–1999 гг.

Издание выпущено в 2 томах. В первом томе представлены характеристики 80 нефтей Европейской части России, включая шельфы Балтийского, Баренцева и Карского морей, а также характеристики 20 газовых конденсатов РФ, во второй том вошли характеристики нефтей Западной и Восточной Сибири и Дальнего Востока (около 100 наименований).

### Новый справочник — это:

- полный перечень нефтей и конденсатов;
- полные физико-химические и «товарные» характеристики нефтей и нефтяных фракций;
- удобная форма представления результатов исследования для анализа информации;
- необходимые данные для плановых и проектных расчетов.

**По вопросам приобретения справочника обращайтесь в редакцию журнала.**

**Телефон для справок 361-11-95.**

## К вопросу о повышении безопасности ядерных энергетических установок

*В. В. Лозовецкий, Ф. В. Пелевин  
Российский государственный университет туризма и сервиса*

Шаровые твэлы с топливом на основе микро-частиц с многослойным покрытием привлекают в последнее время внимание специалистов, занятых проектированием активных зон высокотемпературных газоохлаждаемых ядерных реакторов (ВТГР) и водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР), а также другого энергонапряженного теплообменного оборудования [1–3]. Такие твэлы обеспечивают удержание продуктов деления ядерного топлива до температуры 1600°C и выше, что позволяет получить на выходе из активных зон ВТГР газ с температурой 900°C и выше, а в ВВЭР, выполненных по одноконтурной схеме, перегретый пар сверхкритических параметров и увеличить КПД до 50%. Это, в свою очередь, снижает потребление энергии и вредную нагрузку на окружающую среду, способствующую возникновению «парникового эффекта» и глобальному изменению климата. Использование такой технологии тормозится недостатком данных, касающихся процессов теплообмена и гидродинамики в тепловыделяющих сборках, другом теплообменном оборудовании с засыпкой шаровых твэлов, и расчетных зависимостей для описания этих процессов. Данные по течению двухфазных сред и кипению в таких конструкциях практически отсутствуют.

Визуальные наблюдения и кино-фотосъемка показали, что при течении теплоносителя в шаровом монодисперсном слое имеют место следующие явления, определяющие газодинамику и теплообмен:

- отрывное расширение потока в пространстве между элементами;
- сужение потока в порах шарового слоя;
- разделение и слияние потока при обтекании элементов слоя;
- изменение направления течения газа при движении между шарами.

Эти явления происходят как в регулярном, так и в нерегулярном шаровом слое, а степень их влияния на газодинамические и тепловые процессы определяется геометрическими характеристиками шарового слоя.

В связи с этим газодинамика и теплообмен в бесконечном монодисперсном шаровом

слое исследовались как на регулярных, так и на нерегулярных укладках шаров, что позволило выявить влияние геометрических характеристик слоя в широком диапазоне их изменения (пористости  $\varepsilon = 0,295-0,467$ ; относительного минимального проходного сечения  $\psi_{\min} = 0,093-0,215$ ; относительного максимального проходного сечения  $\psi_{\max} = 0,3492-1,0$ ; относительной высоты шаровой ячейки  $h_m = 0,707-1,0$ ; числа контактов шарового элемента  $N_K = 6-12$ ) на изучаемые процессы. В этот диапазон укладываются и геометрические характеристики нерегулярных шаровых засыпок, что позволяет судить о процессах, протекающих в них. Выбор регулярных структур в качестве объекта исследования обусловлен также и тем, что исследования в этой области неполны и не охватывают всех регулярных базисных структур шаровых засыпок.

Для исследования газодинамических и тепловых процессов были созданы две экспериментальные установки. Исследования гидравлического сопротивления и теплоотдачи в каналах и бесконечных шаровых засыпках при изотермическом и неизомермическом течении воздуха проводились на экспериментальной установке со сменными рабочими участками, газ в которых двигался снизу вверх (рис. 1).

Источником воздуха в установке является воздуходувка ТГ-42-1 производительностью 1,5 м<sup>3</sup>/с и напором 0,04 МПа, подающая воздух через ресивер, систему трубопроводов и очистительных сеток в сменные рабочие участки. Для выравнивания профиля скорости на входе в рабочие участки устанавливались отбойники-распределители, количество и расположение которых подбиралось опытным путем, и сужающие сопла.

Расход воздуха регулировался с помощью задвижки, а его величина определялась по перепаду давления на стандартной камерной диафрагме типа ДК-6-78-А-1 с набором предварительно протарированных шайб с отверстиями диаметром 0,025; 0,05; 0,06 м. Перепад давления и избыточное по отношению к атмосферному давлению на камерной диафрагме и рабочих

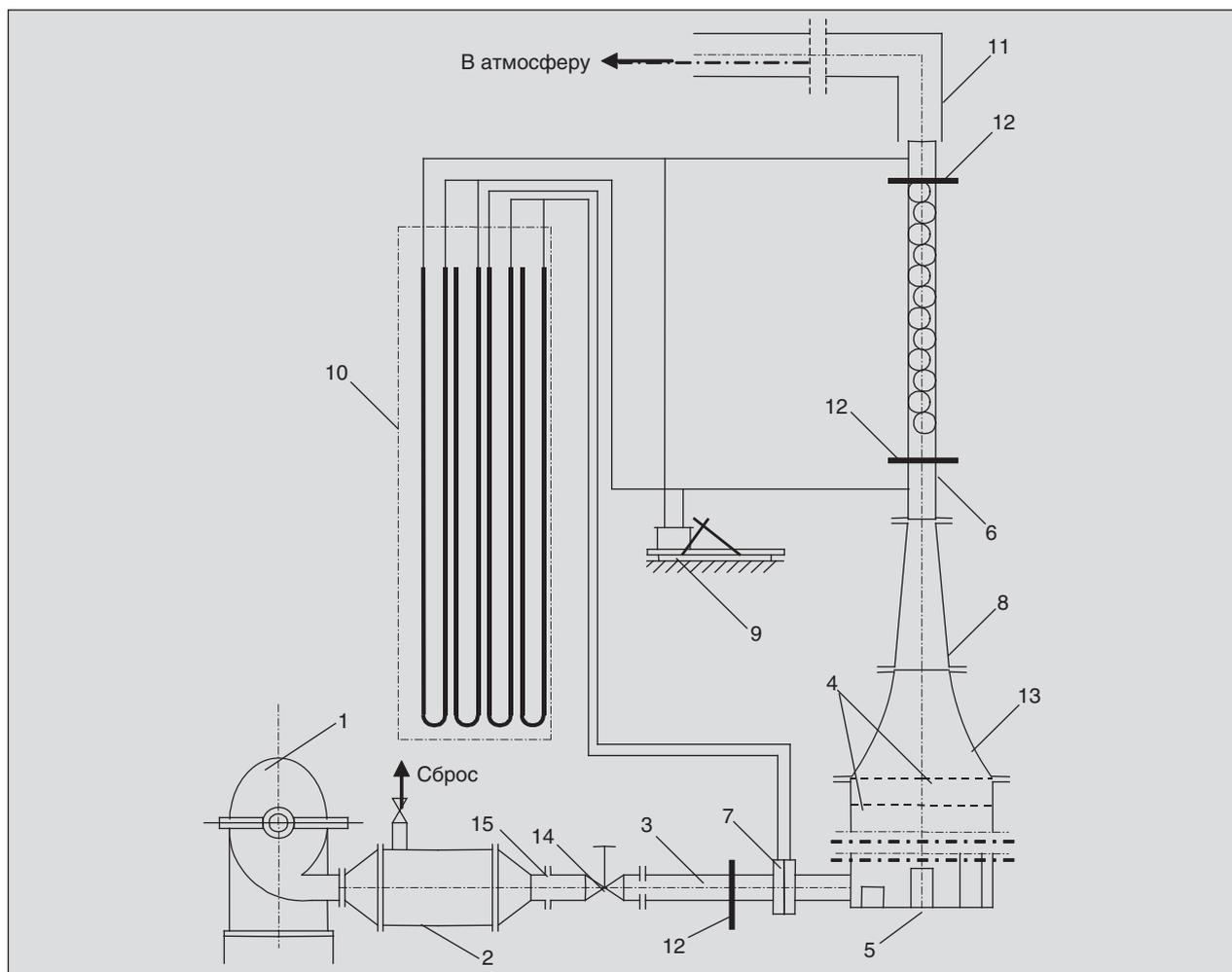


Рис. 1. Установка для исследования теплообмена и гидродинамики: 1 — воздуходувка ТГ-42-1; 2 — ресивер; 3 — воздухопровод; 4 — очистительные выравнивающие сетки; 5 — отбойники-распределители; 6 — сменные рабочие каналы; 7 — измерительная диафрагма; 8 — конфузор; 9 — микроманометр ММН-250; 10 — U-образные жидкостные манометры; 11 — вытяжная трубка; 12 — термопары ХА; 13 — сопло Витошинского; 14 — регулирующая задвижка; 15 — трубка полного напора

каналах замерялись U-образными водяными или наклонными спиртовыми манометрами типа ММН-250. Погрешность замера давления U-образными водяными манометрами составляла  $\pm 0,25\%$ , манометрами типа ММН-250  $\pm 1\%$ . Атмосферное давление определялось барометрами фирмы «Fisher» типа 00003 с погрешностью  $\pm 0,07\%$ . При установке рабочих участков, предназначенных для исследования процессов в регулярных упаковках и имеющих большое проходное поперечное сечение, измерение расхода производилось с помощью трубки полного напора (15), расположенной перед задвижкой (14), что позволило снизить потери в подводящих магистралях и получить массовый расход газа через рабочий участок до 1 кг/с. Тарировка такого расходомера осуществлялась путем измере-

ния профиля скорости на срезе суживающегося сопла. Кроме того, на входе и выходе из рабочих участков устанавливались предварительно протарированные хромель-алюмелевые термопары, позволявшие измерять температуру воздуха с погрешностью  $\pm 0,1\%$ .

Исследования, направленные на визуализацию течения газового потока показали, что в каналах с отношением диаметра канала к диаметру шара  $n \leq 3$  проточной частью канала является сечение геометрического просвета  $F_0$ , средняя скорость газа  $W_0$  в котором определяется выражением

$$W_0 = \frac{W}{F_0} = \frac{W}{\Psi_0 F}, \quad (1)$$

где  $W$  — скорость течения газа в канале без шаров;  $\psi_o = F_o/F$  — относительное сечение геометрического просвета.

Коэффициент гидравлического сопротивления засыпки шаров

$$\xi_o = \frac{2\Delta p}{\rho W_o^2 \frac{l}{d_{\text{ш}}}}$$

С учетом этого выражения получим

$$\xi_o = \frac{2\Delta p}{\rho \left(\frac{W}{\psi_o}\right)^2 \frac{l}{d_{\text{ш}}}} = \xi \psi_o^2,$$

где

$$\xi = \frac{2\Delta p}{\rho W^2 \frac{l}{d_{\text{ш}}}}$$

Выражение для критерия Эйлера, определенное через истинную скорость течения газа  $W_o$ , имеет вид

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho W_o^2}.$$

Используя критериальное уравнение и зависимость (1), получим зависимость для коэффициента гидравлического сопротивления от определяющих параметров

$$\xi_o = Af_1(\text{Re})f_{r1}\left(\frac{T_w}{T_f}\right)^m \text{Pr}^k. \quad (2)$$

Для каналов с шаровыми элементами при различных величинах параметра дискретности  $n$  течение теплоносителя происходит в условиях периодического сужения потока от максимального проходного сечения  $F_{\text{max}}$  до минимального  $F_{\text{min}}$  (рассматривается элементарная ячейка шарового слоя). Определяющее влияние на газодинамику и теплообмен в этом случае оказывают явления, рассмотренные в начале статьи. Эти явления протекают в любом шаровом слое независимо от его структуры, и степень их влияния на газодинамику и теплообмен определяется геометрическими характеристиками слоя и скоростью течения теплоносителя. Так, при безотрывном обтекании элементов ( $\text{Re}_{\text{ш}} \leq 10$ ) гидродинамика и теплообмен в слое определяются криволинейностью пути течения теплоносителя между элементами слоя и процессами разделения и слияния потока при их обтекании. При более высоких скоростях ( $\text{Re}_{\text{ш}} \geq 10$ ) определяющими факторами являются сужение потока и последующее его отрывное расширение. Следовательно, в представляющем практический интерес диапазоне чисел Рейнольдса ( $\text{Re}_{\text{ш}} = 10^2\text{--}10^5$ ) необходимо учитывать отрывной характер

течения в слое. Для описания газодинамических и тепловых процессов в этом случае нами предлагается модель внутреннего отрывного течения, согласно которой реально существующее пространство между шарами заменяется системой круговых каналов с периодически изменяющимся по высоте поперечным сечением [3]. Для таких каналов определяющим параметром является степень расширения проходного сечения

$$\bar{F} = \frac{\Psi_{\text{max}}}{\Psi_{\text{min}}}.$$

Гидравлическое сопротивление канала с переменным сечением без учета сопротивления трения составит

$$\Delta p = \xi_o f(\bar{F}) \frac{H_{\text{сн}}}{h_m d_{\text{ш}}} \frac{\rho W_o^2}{2g}, \quad (3)$$

где  $f(\bar{F})$  — эмпирический коэффициент, учитывающий степень расширения проходного сечения.

Переходя к скорости фильтрации  $W = \psi_{\text{min}} W_o$ , получим

$$\frac{\Delta p}{H_{\text{сн}}} = \xi_o f(\bar{F}) \frac{\rho W^2}{\psi_{\text{min}}^2 h_m d_{\text{ш}}}.$$

Величину степени расширения  $\bar{F}$  можно найти, используя зависимость

$$\bar{F} = \frac{1}{\psi_{\text{min}}} - 4(1 - \psi_{\text{min}})(1 - h_m) \frac{h_m}{\psi_{\text{min}}}.$$

Из выражения (3) определим зависимость для коэффициента гидравлического сопротивления в рамках модели внутреннего отрывного течения

$$\xi_o = \frac{2\Delta p \psi_{\text{min}}^2 h_m d_{\text{ш}}}{\rho W^2 H_{\text{сн}} f(\bar{F})}.$$

С учетом того, что  $h_m = H_{\text{сн}}/n_{\text{сн}} d_{\text{ш}}$  получим выражение, аналогичное по структуре уравнению для коэффициента гидравлического сопротивления каналов с  $n \leq 3$ :

$$\xi_o = \frac{2\Delta p \psi_{\text{min}}^2}{\rho W^2 f(\bar{F}) n_{\text{сн}}} = \xi \psi_{\text{min}}^2,$$

в котором функция  $f(\bar{F}) = 1 + 33/\bar{F}^4$ .

Таким образом, коэффициент гидравлического сопротивления является функцией числа Рейнольдса, определяемого по параметрам узкого сечения  $\text{Re}_o = \text{Re}_{\text{ш}}/\sqrt{\pi\psi_{\text{min}}}$ .

В результате обработки ряда экспериментальных данных коэффициент гидравлического сопротивления, определяемый по параметрам модели внутреннего отрывного течения в зависимости от критерия Рейнольдса в узком сечении, хорошо описывается формулой

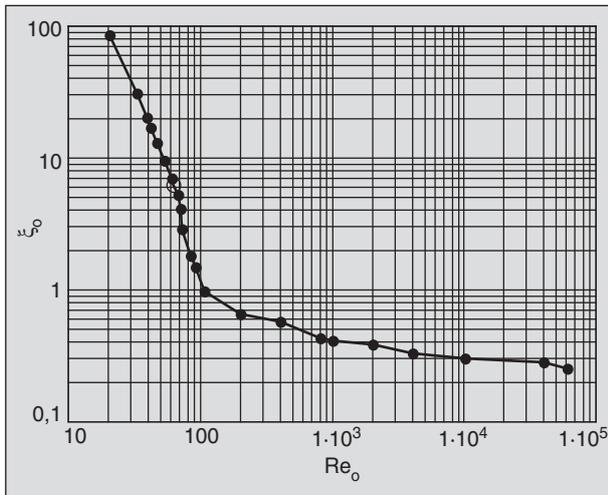


Рис. 2. Зависимость коэффициента гидравлических потерь от числа Рейнольдса

$$\xi_0 = 0,276 \left( \frac{33}{Re_0^{0,6}} - \frac{Re_0^{1,6}}{10^9} + 1 \right),$$

которая может быть рекомендована для расчета коэффициента гидравлического сопротивления в регулярных и нерегулярных монодисперсных шаровых засыпках в диапазоне чисел Рейнольдса  $Re_0 = 200 - 10^4$  (рис. 2). Блокировка просветов в ромбоэдрической регулярной шаровой укладке вызывает дополнительное искривление потока теплоносителя и приводит к увеличению сопротивления слоя, которое можно учесть, вводя в степень расширения поправочный коэффициент  $F = k \bar{F}$ , в котором  $\bar{F}$  – степень расширения проходного сечения шарового монодисперсного слоя со свободными просветами, которая определяется по вышепредставленной зависимости. Для нерегулярного шарового слоя и регулярных структур со свободными просветами  $k = 1$ ; для ромбоэдрической укладки с заблокированными просветами  $k = 0,71$ .

В случае изотермического обтекания монодисперсного шарового слоя определялись:

- коэффициент гидравлического сопротивления регулярных упаковок в зависимости от высоты слоя и числа Рейнольдса;
- коэффициент сопротивления шарового элемента  $C_x$ , помещенного в регулярные укладки шаровых элементов.

Коэффициент сопротивления шарового элемента без учета сопротивления трения определяется выражением

$$C_x = \frac{2 \iint dU_x}{\rho W^2 \pi \frac{d_{ш}}{4}},$$

где

$$dU_x = -\bar{p}(\theta, \varphi) \left( \frac{d_{ш}}{2} \right)^2 \sin \theta \cos \theta d\theta d\varphi.$$

Результаты исследования коэффициента гидравлических потерь в такой обработке представлены на рис. 2.

Теплообмен в шаровом монодисперсном слое так же, как и сопротивление, согласно модели внутреннего отрывного течения определяется отрывным характером течения. Поэтому коэффициент теплоотдачи можно представить в таком критериальном виде:

$$Nu_0 = A(\bar{F}) Re_0^m Pr^m,$$

где  $A(\bar{F})$  — эмпирический коэффициент, учитывающий влияние степени расширения проходного сечения;  $Nu_0$  — критерий Нуссельта, определяемый по параметрам узкого сечения:

$$Nu_0 = \frac{\alpha d_0}{\lambda} = \frac{\alpha}{\lambda} \sqrt{\frac{\Psi_{\min}}{\pi}} d_{ш} = Nu_{ш} \sqrt{\frac{\Psi_{\min}}{\pi}}.$$

Обработка экспериментальных данных, полученных в настоящей работе, и учет влияния степени расширения проходного сечения монодисперсного шарового слоя позволили получить следующую критериальную зависимость для расчета среднего коэффициента теплоотдачи на стабилизированном участке:

$$Nu_0 = 0,076 \left( 1 + \frac{5}{\bar{F}^2} \right) Re_0^{0,69}, \quad (4)$$

в которой использованы параметры внутреннего отрывного течения, рассчитываемые по приведенным выше зависимостям.

На рис. 3 проведено сопоставление этой зависимости с опытными данными, из которого следует, что она с погрешностью  $\pm 10\%$  обобщает многочисленные опытные данные. Для ромбоэдрической регулярной шаровой укладки с заблокированными просветами наблюдается интенсификация теплоотдачи, вызванная турбулизацией газового потока вследствие дополнительного искривления траектории его движения, что учитывается дополнительной поправкой  $K \equiv 0,71$ , вводимой для корректировки величины  $\bar{F}$  в выражение (4).

Теплообмен при различных режимах кипения в засыпках шаровых элементов, в частности, микро- и макротвэлов диаметром от 2 до 60 мм привлекает в последнее время внимание ученых в связи с возможностью их использования в ВВЭР [1–4].

В работе проведено исследование теплоотдачи при пузырьковом и переходном режимах кипения в засыпке шаровых элементов из свин-

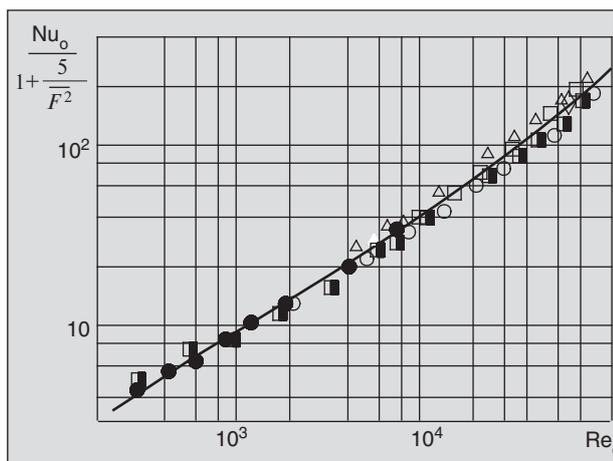


Рис. 3. Зависимость критерия Нуссельта от критерия Рейнольдса

ца диаметром 3 мм. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 4. Она состояла из рабочего участка, изготовленного из эбонита, что позволяло доводить температуру шарового элемента в опытах до 300°C. Внутренний диаметр рабочего участка составлял 30 мм, длина — 75 мм. В его нижней части была установлена поддерживающая решетка с семью отверстиями диаметром 5 мм, закрытыми сеткой с высокой пористостью, над которой располагалась засыпка шаровых свинцовых элементов диаметром 3 мм. Для ее фиксации шаровые элементы сверху прижимались аналогичной по конструкции решеткой.

Вода в рабочий участок поступала из напорного бака с переливом, проходя через теплообменник, в котором она подогревалась до температуры на (2–4)°C ниже температуры насыщения  $T_s$ . В рабочем участке вода нагревалась до  $T_s$ , за счет теплообмена с элементами шаровой засыпки, нагреваемыми токами высокой или ультразвуковой частоты, генерируемыми индуктором, питаемым от системы ТВЧ или ультразвукового генератора типа УЗГ-4. Испаренная вода конденсировалась в холодильнике змеевикового типа и собиралась в конденсаторе. Постоянство расхода воды обеспечивалось за счет постоянства уровня жидкости в напорном баке, а изменение расхода производилось путем изменения этого уровня при опускании или подъеме переливной трубки. После проведения соответствующих измерений вода из конденсатора сливалась в канализацию.

В процессе экспериментов, которые проводились при атмосферном давлении, с помощью хромель-копелевых термопар диаметром 0,1 мм измерялась температура воды. В трех сечениях

по высоте рабочего участка в шаровых элементах по радиусу было установлено по три аналогичных термопары, по показаниям которых определялась средняя температура поверхности шаровых элементов  $T_w$ . ЭДС термопар измерялась с помощью приборов КСП-4 или ПП-63. Экспериментальный стенд имел периодически используемое дополнительное оборудование: термостат, наклонный микроманометр, запорно-регулирующую арматуру и пр. Тепловой поток рассчитывался по количеству испарившейся воды по формуле

$$Q = r \cdot m_b,$$

где  $r$  — удельная теплота парообразования, Дж/кг;  $m_b$  — количество испарившейся воды, кг/с.

Количество испарившейся воды  $m_b$  в единицу времени определялось по количеству воды в

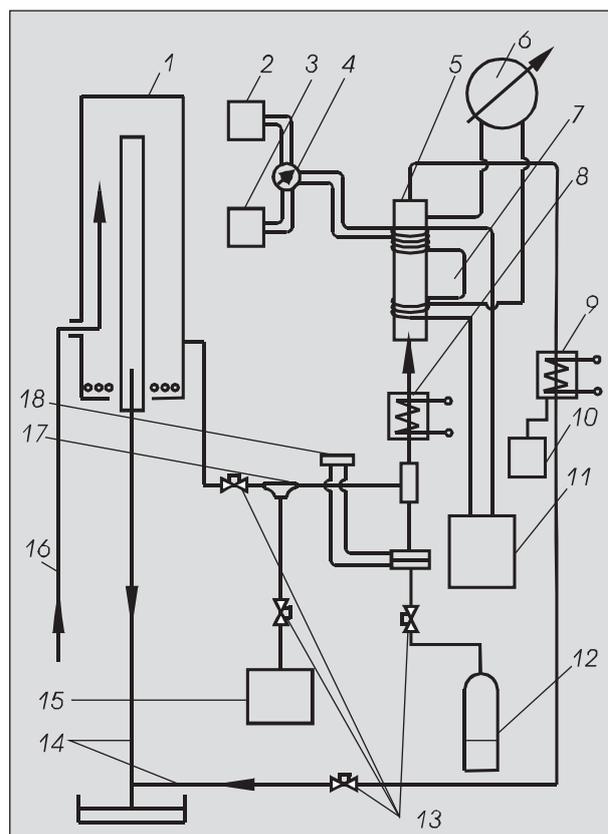


Рис. 4. Схема экспериментального стенда: 1 — напорный бак с переливом; 2 — КСП-4; 3 — ПП-63; 4 — переключатель термопар; 5 — рабочий участок; 6 — пьезометры; 7 — индуктор; 8 — теплообменник; 9 — холодильник; 10 — конденсатор; 11 — генератор УЗГ-4; 12 — баллон; 13 — вентили ДУ; 14 — слив в канализацию; 15 — термостат; 16 — подвод от водопровода; 17 — тройник; 18 — наклонный микроманометр

конденсаторе за соответствующий промежуток времени. Следует отметить, что такой метод определения теплового потока  $Q$  достаточно точен, т. к. количество тепла, идущего на подогрев воды до температуры насыщения  $T_s$ , не превышало 20% от количества тепла, идущего на ее испарение. Детальная оценка погрешности определения теплового потока таким способом показала, что она не превышала 17%, а в большинстве экспериментов составляла от 1,5 до 10%.

В процессе экспериментов основные параметры, характеризующие теплоотдачу в засыпке шаровых элементов, изменялись в следующем диапазоне: температура воды  $T_w$  от 96 до 100°C, давление  $p \approx 10^5$  Па, температура поверхности шаровых элементов  $T_w$  от 101,5 до 150,9°C, удельный тепловой поток  $q$  от  $1,159 \cdot 10^4$  до  $2 \cdot 10^5$  Вт/м<sup>2</sup>, расход воды  $m_w$  от  $0,3 \cdot 10^{-3}$  до  $10,6 \cdot 10^{-3}$  кг/с, массовое паросодержание  $\beta$ , рассчитанное как отношение массы образующегося в канале пара  $m_n$  к массе воды в канале  $m_w$ , составляло от 1,74 до 58,5%.

Обработка экспериментальных данных показала, что при малых разностях температур поверхности шаровых элементов и насыщения воды  $\Delta T_s = T_w - T_s$  с ростом удельного теплового потока коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  увеличивался. Следует отметить, что температура поверхности определялась по показаниям термопар, установленных, как было указано выше, в шаровых элементах в трех сечениях по высоте рабочего участка, как среднее их значение по формуле

$$T_w = \frac{\sum_{i=1}^n T_{w_i}}{n},$$

где  $n = 9$  — количество шаровых элементов, в которых были установлены термопары.

Увеличение коэффициента теплоотдачи с ростом плотности теплового потока отмечалось до его значения порядка  $q = (1,09-1,1) \cdot 10^5$  Вт/м<sup>2</sup> (рис. 5). Можно предположить, что до этих значений удельного теплового потока режим кипения в шаровой засыпке был пузырьковый.

Анализ величин, влияющих на процесс кипения в этой области и при переходном режиме кипения, показал, что коэффициент теплоотдачи может быть выражен функциональной связью критерия Нуссельта с рядом безразмерных комплексов зависимостью следующего вида:

$$Nu_B = f \left[ \frac{d_{ш}}{\sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_B - \rho_n)}}}; \frac{r}{(C_{экв} \Delta T_s)}; Pr_B; \frac{\lambda_{экв}}{\lambda_B} \right],$$

где  $Nu_B = \alpha d_{ш} / \lambda_B$  — критерий Нуссельта для воды;  $d_{ш}$  — диаметр шарового элемента, м;  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup> К);  $C_{экв}$  — эквивалентная теплоемкость воды, (Дж/кг);  $Pr_B$  — критерий Прандтля для воды;  $\lambda_B$  — коэффициент теплопроводности воды, Вт/(м К);  $\lambda_{экв}$  — эквивалентный коэффициент теплопроводности воды, (Вт/м·К);  $\sigma$  — поверхностное натяжение, Н/м;  $\rho_B, \rho_n$  — плотность воды и пара, соответственно, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Эквивалентная теплоемкость и эквивалентный коэффициент теплопроводности определялись по следующим формулам:

$$\begin{aligned} C_{экв} &= \varepsilon \cdot C_B + (1 - \varepsilon) \cdot C_{ш}, \\ \lambda_{экв} &= \varepsilon \cdot \lambda_B + (1 - \varepsilon) \cdot \lambda, \end{aligned}$$

где  $\varepsilon$  — пористость засыпки шаровых элементов;  $C_B$  — теплоемкость воды, Дж/кг;  $C_{ш}$  — теплоемкость материала шарового элемента, Дж/кг;  $\lambda_B$  — коэффициент теплопроводности воды, Вт/(м·К);  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности материала шарового элемента, Вт/(м·К).

Значения физических свойств воды определялись при температуре насыщения, а плотности пара при  $T = (T_w + T_s)/2$ .

Данные по коэффициенту теплоотдачи при пузырьковом режиме кипения представлены на рис. 5. Они хорошо описываются соотношением

$$Nu_B = 0,03 \left[ \frac{d_{ш}}{\sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_B - \rho_n)}}} \right]^{0,48} \left[ \frac{r}{C_{экв} \Delta T_s} \right]^n Pr_B^{1,79} \left( \frac{\lambda_{экв}}{\lambda_B} \right)^m,$$

где

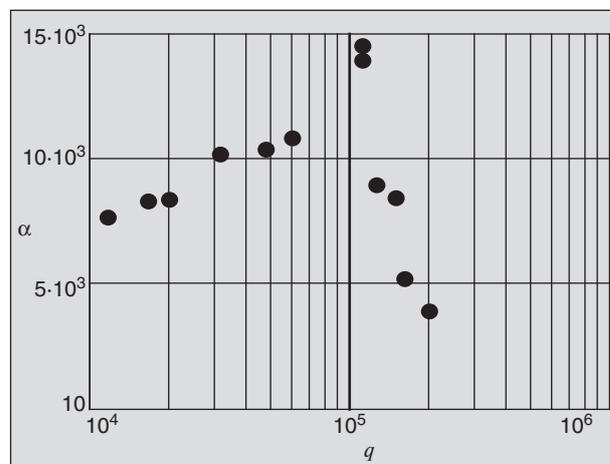


Рис. 5. Зависимость коэффициента теплоотдачи от теплового потока

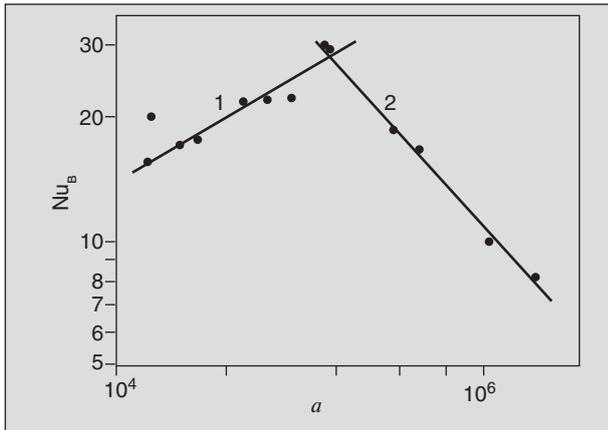


Рис. 6. Зависимость критерия  $Nu_B$  от параметра  $a$ : 1, 2 — пузырьковый и переходной режим кипения

$$m = 0,69 \left[ \frac{d_{ш}}{\sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_B - \rho_n)}}} \right]^{0,6}, \quad n = -0,313 \cdot Pr_B^{0,3},$$

где комплекс

$$a = \left[ \frac{d_{ш}}{\sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_B - \rho_n)}}} \right]^{0,9} \left[ \frac{r}{C_{эКВ} \Delta T_s} \right]^n Pr_B^{2,73} \left( \frac{\lambda_{эКВ}}{\lambda_{\theta}} \right)^m;$$

$$Nu_B = \frac{\alpha \cdot d_{ш}}{\lambda_B};$$

Из рис. 6 следует, что при пузырьковом режиме кипения, как и в случае кипения в большом объеме, с ростом плотности теплового потока коэффициент теплоотдачи увеличивается. Рост коэффициента теплоотдачи вызван ростом центров парообразования на поверхности шаровых элементов и увеличением скорости движения паровой среды, что связано с ростом величины паросодержания  $\beta$ . В случае кипения жидкости в условиях вынужденного движения в шаровой засыпке перенос тепла от поверхности нагрева в ядро осуществляется пузырьками пара, образовавшимися на ней, и конвекцией жидкости. Количество тепла, переносимого паром, зависит в основном от плотности теплового потока  $q$  на поверхности сферы. Количество тепла, переносимого путем конвекции жидкости, в случае малых объемов паросодержаний  $\beta$ , определяется скоростью циркуляции.

В зависимости от соотношения плотности теплового потока и скорости циркуляции вклад кипения (т. е. переноса тепла пузырьками пара) и

конвективного переноса в процессе теплоотдачи будет неодинаковым. При малых скоростях циркуляции коэффициент теплоотдачи практически не зависит от скорости, определяется в основном процессом кипения и с увеличением плотности теплового потока возрастает. По мере увеличения скорости циркуляции зависимость коэффициента теплоотдачи от плотности теплового потока постепенно становится несущественной и начинает проявляться его зависимость от скорости циркуляции.

При достаточно развитом кипении, когда вблизи поверхности шарового элемента содержание пара становится значительным, высокая интенсивность теплоотдачи при пузырьковом кипении определяется малым термическим сопротивлением тонкой жидкостной пленки, которая остается на самой теплоотдающей поверхности. Эффективная толщина этого слоя жидкости уменьшается по мере увеличения тепловой нагрузки, что приводит к увеличению интенсивности теплоотдачи.

Из рис. 7 следует, что при паросодержании  $\beta = 8,58\%$  ( $q = 1,098 \cdot 10^5$  Вт/м<sup>2</sup>) имеет место максимум теплоотдачи. При дальнейшем росте паросодержания коэффициент теплоотдачи уменьшается и достигает своего минимального значения для данной серии экспериментов, соответствующего  $Nu_B = 8,06$  при  $\beta = 58,6\%$ . Снижение величины коэффициента теплоотдачи объясняется тем, что как на самой поверхности шаровых элементов, так и вблизи нее пузырьки пара непрерывно сливаются между собой, образуя большие паровые объемы, которые все больше затрудняют доступ к теплоотдающей поверхности. В отдельных ее областях возникают сухие пятна, их число и плотность непрерывно

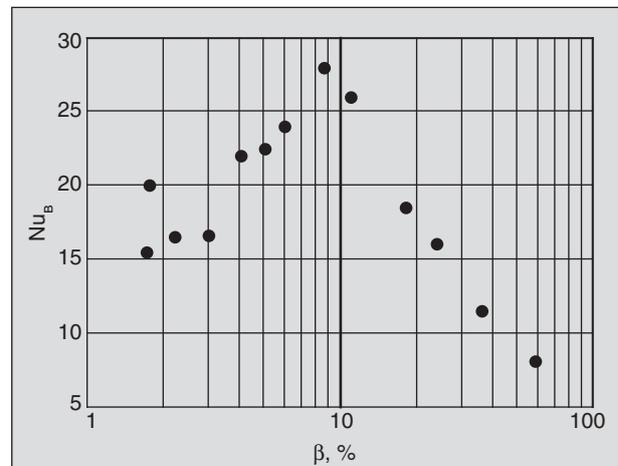


Рис. 7. Зависимость критерия  $Nu_B$  от паросодержания  $\beta$

увеличиваются по мере увеличения  $T_w$  и соответственно  $\Delta T_s$  и  $\beta$ . Эти участки исключаются из теплообмена с жидкой средой, они контактируют с паром, теплоотдача к которому существенно менее интенсивна, чем к воде.

Уменьшение теплоотдачи с ростом плотности теплового потока соответствует переходному режиму кипения, для описания которого нами получена следующая критериальная зависимость:

$$Nu_B = 8,93 \cdot 10^6 \left[ \frac{d_{ш}}{\sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_B - \rho_n)}}} \right]^{-0,884} \left[ \frac{r}{C_{эКВ} \Delta T_s} \right]^{n_1} \times Pr_B^{-2,69} \left( \frac{\lambda_{эКВ}}{\lambda_B} \right)^{m_1},$$

где

$$m_1 = -1,28 \left[ \frac{d_{ш}}{\sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_B - \rho_n)}}} \right]^{0,6}; \quad n_1 = -0,579 \cdot Pr_B^{0,3}.$$

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Определены геометрические параметры, характеризующие модель внутреннего отрывного течения и процессы теплообмена и гидродинамики в шаровом монодисперсном слое.

2. Получены критериальные уравнения удовлетворительно описывающие экспериментальные данные по сопротивлению и теплообмену в засыпке шаровых элементов при течении однофазных сред.

3. При кипении в засыпке шаровых элементов во всем исследованном диапазоне наблюдается монотонный рост плотности теплового потока с увеличением параметра  $\Delta T_s$ , который несколько замедляется в области больших значений этого параметра.

4. Получены критериальные уравнения, которые удовлетворительно описывают данные по теплоотдаче соответственно для областей пузырькового и переходного режимов кипения в шаровой засыпке.

5. Переход от пузырькового режима кипения к переходному режиму кипения происходит при определенных значениях плотности теплового потока и, соответственно, перегревах поверхности шаровых элементов и сопровождается уменьшением коэффициента теплоотдачи.

#### Литература

1. Пономарев-Степной Н. Н., Кухаркин Н. Е., Хрулев А. А., Дегальцев Ю. Г., Глушков Е. С., Филиппов Г. А., Гришанин Е. И. Перспективы применения микротвэлов в ВВЭР // Атомная энергия. — 1999. — Т. 86. — Вып. 6. — С. 443–449.
2. Хлопкин Н. С., Двойнишников Е. А., Филиппов Г. А., Богоявленский Р. Г. Перспективы использования микротвэльного топлива для маневренной энергоустановки АТЭЦ АЭС с водопаровым корпусным ядерным реактором прямоточного типа // Малая энергетика. Итоги и перспективы: тезисы Международного семинара. 10–11 октября 2001 г., г. Москва, Россия. — М., 2001. — 119 с.
3. Лозовецкий В. В., Крымасов В. Н. Гидромеханические и тепловые процессы в ядерных реакторах с микротвэльным топливом. — М.: ВИНТИ РАН, 2003. — 326 с.
4. Лозовецкий В. В., Пелевин Ф. В., Крымасов В. Н. Гидродинамика и теплообмен в слое тепловыделяющих элементов // Дисперсные потоки и пористые среды: Тр. 3-й РНКТ. — М.: МЭИ, 2002. — Т. 5. — С. 254–257.
5. Костиков Л. Е., Лозовецкий В. В. Проектирование тепловыделяющих элементов высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 153 с.

УДК 621.93.0260.2

## Новые нанокристаллические композиционные материалы и перспективы их применения в быту и сервисе

С. В. Еремеев, А. К. Прокопенко  
ООО «Грань»,

Российский государственный университет туризма и сервиса

В последние годы во всем мире активно ведутся работы по созданию новых конструктивных неметаллических материалов, в том числе и на основе циркония. Ранее кристаллы на основе циркония получали только по керамической технологии, что предусматривает высокую степень однородности и чистоту ультрадисперсного исходного сырья. Поэтому, несмотря на уникальные свойства кристаллов, они не получили широкого применения.

В Институте общей физики РАН разработан новый способ синтеза монокристаллов частично стабилизированного оксидом иттрия диоксида циркония (Y — ЧСЦ) из расплавов с использованием прямого ВЧ — нагрева в холодном контейнере [3, 4]. Монокристаллы выращиваются в виде блоков (рис. 1) из единичных кристаллов размером до 100–120 мм и сечением до 50–60 мм (рис. 2). Такого размера монокристаллы из частично стабилизированного оксида циркония (ЧСЦ) за рубежом не были получены.

Кристаллы ЧСЦ обладают высокой прочностью, сравнимой с прочностью металлов при одновременной повышенной вязкости разрушения, что проявляется в том, что изделия из ЧСЦ режут не хуже, чем из сапфира и алмаза при меньшей хрупкости и скальваемости. Они обладают повышенной стойкостью к кислотам, щелочам, парам воды, имеют большую стой-

кость к абразивному износу при низком коэффициенте трения: по стали—0,04; по ВК — сплавам — 0,08.

Изделия из ЧСЦ имеют уникальные физико-химические характеристики:

- высокую температуру плавления — до 2800°C;
- высокую прочность — 600–1200 МПа ;
- высокую твердость — 8,5 по Моосу, 1200–1500 кг/мм<sup>2</sup>;
- коэффициент расширения, близкий к стали;
- низкую теплопроводность;
- низкую коэффициент при трении без смазочного материала;
- хорошую термостойкость (350°C);
- химическую стойкость к агрессивным средам;
- биоинертность.

Приведенные выше свойства позволили использовать монокристаллы из ЧСЦ для изготовления износостойких деталей, работающих в условиях повышенных температур, нагрузок и агрессивных сред [1, 3]:

- деталей оборудования химических производств;
- деталей шаровых мельниц и дробилок;
- нитенаправляющих в текстильном производстве;
- опор скольжения и пар трения;



Рис. 1. Блок монокристаллов



Рис. 2. Монокристаллы ЧСЦ



Рис. 3. Кристаллы ЧСЦ для ювелирных изделий

- направляющих призм для прецизионных устройств;
- обрабатываемого инструмента (прокатные валцы, волокна, резцы, экструдеры, фильеры и т. п).

Технология производства позволяет получать кристаллы различного цвета (рис. 3), что позволяет их использовать при изготовлении различных ювелирных изделий (рис. 4).

Высокая твердость и износостойкость делают возможным замену металлов при изготовлении изделий бытового назначения: ножниц, ножей, бритв, режущих элементов бытовых приборов (мясорубок, миксеров, кофемолок) и т. п.

Особый интерес представляет возможность применения кристаллов на основе ЧСЦ при изготовлении хирургического инструмента и протезировании зубов и подвижных суставов человека.

Первые публикации об использовании свойств биоинертности оксида циркония в медицинских целях появились в 1969 г. [8]. В 1988 г. были опубликованы результаты работ по применению материалов на основе циркония при производстве шаровых опор для протезов тазобедренных суставов человека [7].

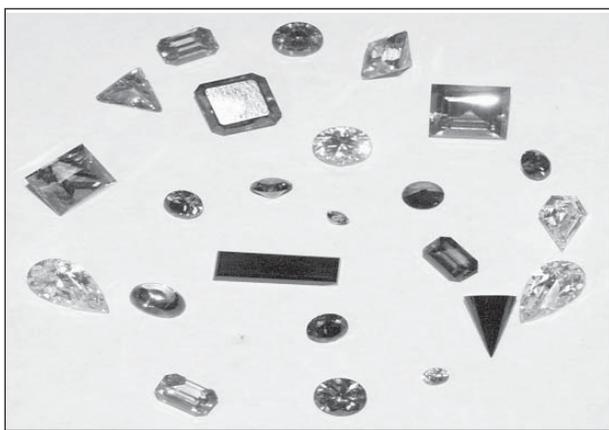


Рис. 4. Ювелирные изделия из кристаллов ЧСЦ

Проведенные в различных странах исследовательские работы были подтвердили высокую эффективность применения кристаллов на основе циркония в медицинских целях [9].

Исследования, проведенные российскими учеными, позволили применить новый материал из ЧСЦ для изготовления хирургических и офтальмологических режущих инструментов [5].

Однако препятствием для массового внедрения изделий из ЧСЦ стала высокая твердость и плохая обрабатываемость данного материала.

Низкая теплопроводность материала исключает скоростную высокопроизводительную механическую обработку, размерная обработка лучевыми методами приводит к изменению физико-химических свойств монокристалла и ухудшению эксплуатационных характеристик.

Специалистами ООО «Грань» и учеными РГУТиС проводятся совместные исследования по определению оптимальных режимов обработки монокристаллов ЧСЦ и изготовления из них изделий различного назначения.

В настоящее время разработаны и внедрены в производство установки для разрезания монокристаллов и получения заготовок режущих инструментов. На рис. 5 показан общий вид установки для резки кристаллов и на рис. 6 показаны полученные заготовки.

При выполнении следующих операций заготовке придается необходимая конфигурация и производится заточка режущей кромки.

Нами разработана установка для точной размерной обработки монокристаллов с устройством для восстановления абразивного круга [2] (рис. 7).

Особенностью данного устройства является то, что оно позволяет восстанавливать рабочую

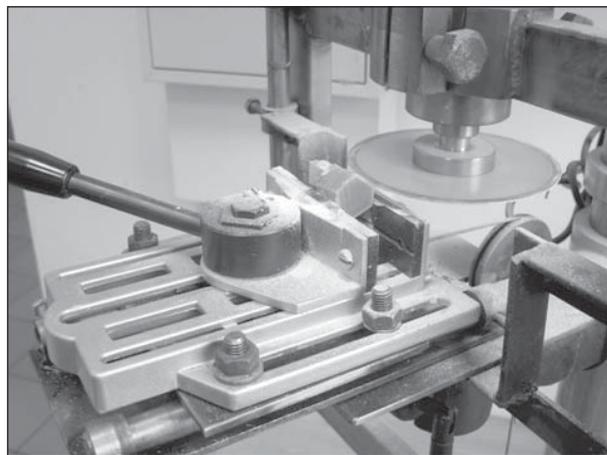


Рис. 5. Общий вид установки для резки кристаллов

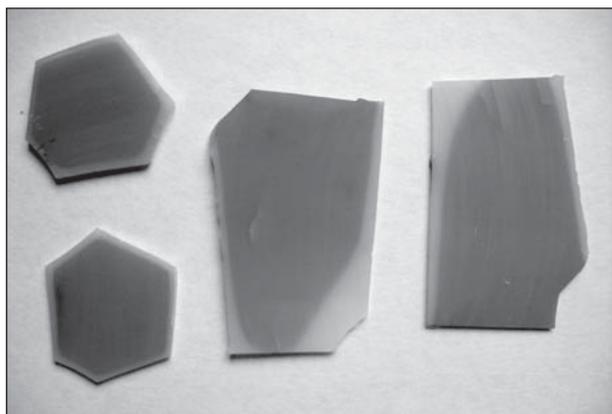


Рис. 6. Заготовки из монокристаллов

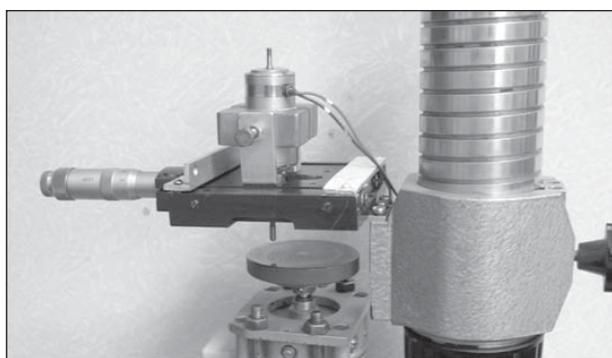


Рис. 7. Устройство для восстановления рабочей поверхности абразивного круга

поверхность абразивного инструмента без демонтажа, непосредственно на рабочем месте.

Это значительно сокращает подготовительно-наладочные работы и повышает точность обработки изделий.

Предложенные устройства и технологии позволяют получить высококачественный хирургический режущий инструмент, который прошел необходимые испытания и рекомендован к внедрению (рис. 8).

При размерной обработке монокристаллов образуется большое количество мельчайших



Рис. 8. Хирургический режущий инструмент из монокристаллов ЧСЦ

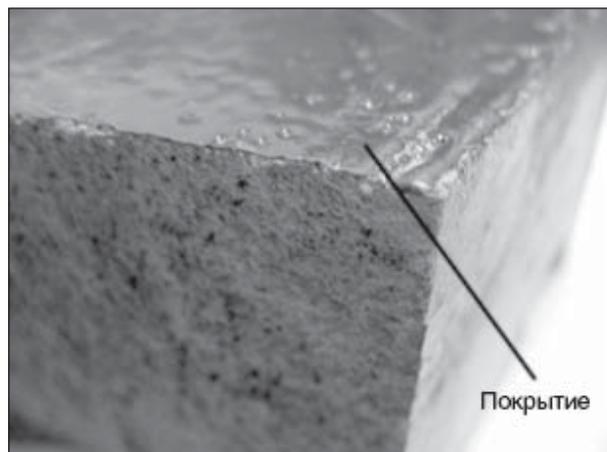


Рис. 9. Нанесенное низкотемпературной плазмой покрытие с наполнителем из ЧСЦ

частиц размером от нескольких нанометров до нескольких микрон. Нами были проведены исследования по использованию этих частиц в качестве наполнителей при нанесении покрытий с помощью низкотемпературной плазмы (рис. 9) и газодинамическим методом (рис. 10) по оригинальным технологиям, разработанным специалистами вышеупомянутых организаций [6].

При проведении работ по определению триботехнических характеристик материалов были модернизированы испытательные установки 77МТ-1 и ТК-1.

На рис. 11. показан общий вид установки для испытания материалов на трение и износ 77МТ-1, а на рис. 12 и 13 представлены общий вид испытуемых образцов и запись параметров трения во время испытаний.

Предварительные результаты исследований показали большую перспективу применения

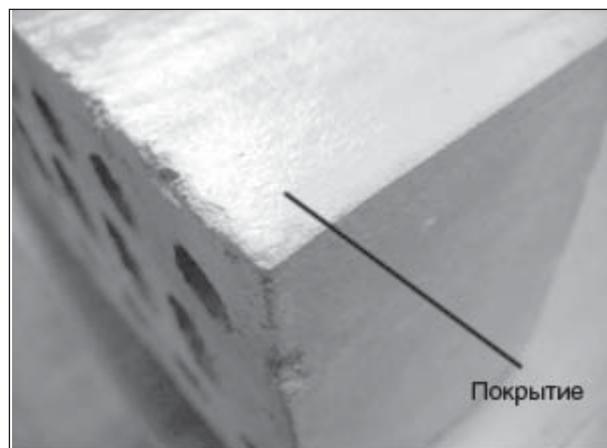


Рис. 10. Нанесенное газодинамическим способом покрытие с наполнителем из ЧСЦ

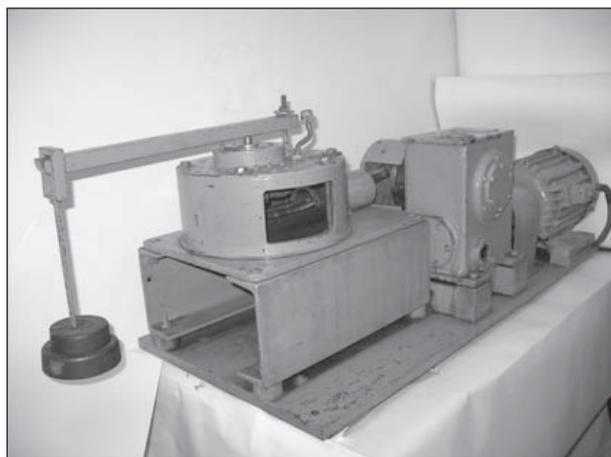


Рис. 11. Общий вид модернизированной установки для испытаний на износ 77MT-1

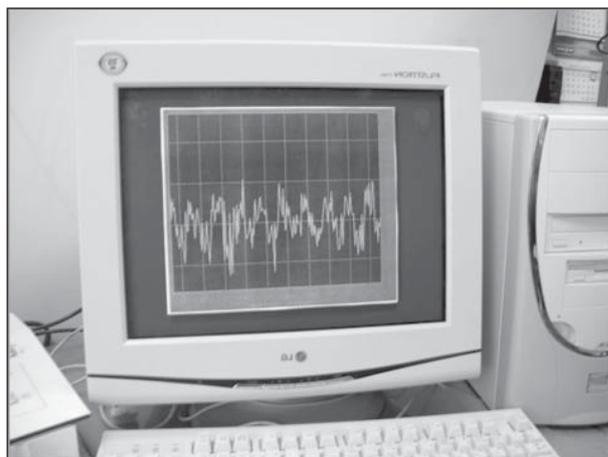


Рис. 13. Запись параметров трения на компьютере

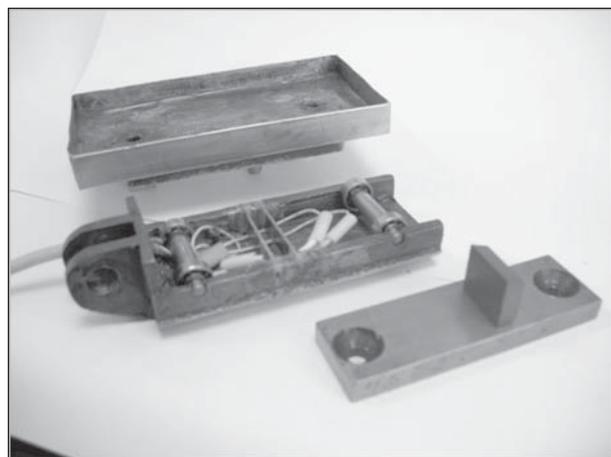


Рис. 12. Испытуемые образцы и подвижная платформа испытательной установки

монокристаллов и побочных продуктов их обработки для формирования многофункциональных покрытий на различные конструкционные элементы и детали машин технологического оборудования, бытовой техники и предметов бытового назначения.

Специалистами предприятия и учеными вуза продолжают работы по совершенствованию технологии обработки монокристаллов, по повышению производительности с использованием новых физико-механических и физико-химических методов, снижения себестоимости операций и расширения областей применения новых материалов.

#### Литература

1. Зоря В. И., Еремеев С. В. Применение нового наноструктурированного конструкционного материала // Материалы секции «Новые материалы и триботехнологии» XI Международной научно-практической конференции «Наука-сервису». — М., 2006. — С. 26–27.
2. Еремеев С. В. Технология формирования рабочей поверхности абразивного инструмента для обработки материалов повышенной твердости // Материалы секции «Новые материалы и триботехнологии» XI Международной научно-практической конференции «Наука-сервису». — М., 2006. — С. 18–19.
3. Кузьминов Ю. С., Ломонова Е. Е., Осико В. В. Тугоплавкие материалы из холодного тигля. — М.: Наука, 2004. — 369 с.
4. Патент РФ № 2157431. Способ получения высокопрочного материала (варианты), устройства на основе этого материала и способ их изготовления.
5. Патент РФ № 2220674. Материал на основе диоксида циркония. Хирургический режущий инструмент из материала на основе оксида циркония. Инструмент на основе оксида циркония.
6. Прокопенко А. К. Повышение ресурса технических систем предприятий сервиса и объектов жилищно-коммунального хозяйства // Теоретические и прикладные проблемы сервиса. — 2007. — №1 (22). — С. 59–67.
7. Christel P., Meunier A., Dorbot J. M. Biomechanical compatibility and design of ceramic implants for orthopaedic surgery. Bioceramics material characteristics versus in vivo behavior. Ann NY Acad. Sci., 1988, 523:234–56.
8. Helmer G. D., Driskell T. D. Research on bioceramics. Symp. on Use of Ceramics as Surgical Implants, South Carolina (USAE Clemson University, 1969.
9. Piconi C, Maccauro G. Zirconia as a ceramic biomaterial // Biomaterials. — 1999. — 20. — P. 1–25.

## Физические исследования в области атмосферы и ионосферы для повышения качества жизни и безопасности

*В. М. Сорокин, Г. В. Голубков*

*Российский государственный университет туризма и сервиса*

В июле 2008 года в г. Калининграде (Россия) состоится первая Международная конференция «Атмосфера, ионосфера, безопасность» (AIS-2008), в список организаторов которой включен РГУТиС. На этой конференции будут обсуждаться вопросы развития исследований в области рационального природопользования и живых систем. Это направление непосредственно связано с перспективами развития исследований проблемной лабораторией «Физических основ высокотехнологичных процессов», которая создана при кафедре Общей и прикладной физики. В подготовке конференции участвуют следующие сотрудники кафедры «Общая и прикладная физика»: доцент, д.т.н. С. С. Звездинский, в качестве члена Оргкомитета — заведующий кафедрой, профессор, д.ф.-м.н. В. Ю. Фоминский, в качестве председателей Программного комитета — профессор, д.ф.-м.н. В. М. Сорокин и профессор, д.ф.-м.н. Г. В. Голубков. Ниже остановимся на тех проблемах, которые будут обсуждаться на конференции.

Физико-химические явления, протекающие в верхней атмосфере и ионосфере, происходят в условиях и масштабах, недостижимых для обычных лабораторий. Более того, при изучении отклика окружающей среды на внешнее возмущение можно создавать такие неравновесные условия, которые вообще трудно реализовать на Земле. Существующие здесь проблемы представляют интерес для широкого круга специалистов, работающих в различных областях науки и техники. Вместе с тем возникает потребность проведения дополнительных исследований, необходимость которых диктуется значительным усилением жизнедеятельности человека в атмосферно-ионосферной системе, приводящим к появлению новых рисков. Они связаны с активным развитием обитаемых и необитаемых орбитальных систем, авиации (в том числе использующей высоты средней атмосферы), новых видов связи, протяженных линий электропередач и т. п. Нестационарная атмосферно-ионосферная система подвержена мощным природным воздействиям.

Нижняя ее часть возмущается землетрясениями, извержениями вулканов, тайфунами, грозами, а сверху на нее воздействует совокупность процессов, составляющих геомагнитную бурю. В результате этих процессов формируются такие воздействующие факторы, как мощные атмосферные возмущения, электрические токи, электромагнитные возмущения в различных спектральных диапазонах, плазменные и оптические возмущения, ускоренные частицы, повышенный уровень радиоактивности и измененный ионный и молекулярный состав. Более того, микроволновое излучение высоковозбужденных частиц ионосферы, сопровождающее процессы повышения солнечной активности и возникновения магнитных бурь, оказывает негативное воздействие на человека. Его спектральный состав, по-видимому, полностью определяется нейтральной компонентой ионосферы. Знание природы воздействующих факторов позволяет использовать их в качестве средства мониторинга катастрофических процессов и создавать на этой базе соответствующие системы.

Конференция «Атмосфера, ионосфера, безопасность» (AIS-2008) посвящена анализу реакции системы атмосфера — ионосфера на протекающие в ней природные и антропогенные процессы, причин возникновения различных сопутствующих геофизических явлений, оценке возможных последствий воздействия их на человека и технологические системы, изучению возможности мониторинга окружающей среды и поиску способов снижения уровня рисков. Предполагается обсуждение физических и химических процессов, сопровождающих наблюдаемые геофизические явления.

На секции «Элементарные процессы в верхней атмосфере и ионосфере» будут представлены доклады по динамике элементарных процессов с участием электронно-возбужденных и заряженных частиц, включая ионизацию и рекомбинацию, процессы тушения возбужденных состояний и воздействия микроволнового излучения (активно влияющего на живые орга-

низмы). По данным аэрокосмических измерений оно формируется на высоте порядка 1000 км от поверхности Земли и связано с возбуждением ридберговских атомов и молекул. При этом значительное внимание предпологается уделить влиянию окружающей среды на характеристики рассматриваемых процессов.

Результаты исследований Проблемной лаборатории представит в своем докладе профессор Г. В. Голубков, где планирует осветить некоторые проблемы, имеющие важное значение для жизни человека. Прежде всего, это относится к интенсивно исследуемой в последние годы проблеме влияния на кровь человека и живые организмы микроволнового излучения (МВИ). Это излучение, сопровождающее процессы повышения солнечной активности и возникновения геомагнитных бурь, формируется в верхней атмосфере Земли [1]. Возникновение МВИ обусловлено оптическими переходами между ридберговскими состояниями атомов и молекул, находящихся в окружении нейтральных частиц среды [2]. Например, для главных квантовых чисел  $n = 10-20$  (соответствующего излучению от сантиметрового до дециметрового диапазона) на высотах (больших 100 км) в объеме излучаемого высоковозбужденного атома находится, по крайней мере, конечное число таких частиц [3]. Таким образом, для описания спектра МВИ решается задача об излучении ридберговского атома, находящегося в поле хаотически расположенных нейтральных частиц. Влияние одного возмущающего атома (или молекулы) подробно изучено ранее [4]. При наличии нескольких возмущающих центров учет такого влияния связан с изучением структуры энергетического спектра составной системы. Решение этой задачи было получено в работе [5]. Для определения оптических характеристик спектра МВИ необходимо построение электронных волновых функций с учетом влияния конечного числа нейтральных частиц  $N$ , хаотически расположенных в объеме высоковозбужденного атома. Разработка метода расчета этих многочастичных функций в настоящее время проводится коллективом сотрудников ИХФ РАН им. Н. Н. Семенова, Санкт-Петербургского университета и РГУТиС. Следующая важная практическая проблема связана с разработкой плазменной технологии физико-химической дистанционной стерилизации окружающей среды, основанной на использовании атмосферного импульсного углеводородного генератора.

Плазменные технологии получили широкое развитие в науке и технике начиная с 80-х годов прошлого столетия. В настоящее время они ак-

тивно используются в машиностроении, металлургии, медицине и других отраслях промышленности. Их основой является низкотемпературная плазма, которая может быть создана на современных компактных и относительно недорогих экспериментальных установках. Разработки плазменных технологий стерилизации активно ведутся в США, Франции, Германии, Канаде, Китае, Японии, Австралии, России и Украине. Общими недостатками существующих приборов являются большая площадь их размещения и необходимость вакуумной установки.

Предлагаемый для использования прибор был создан в Московском институте приборостроения с целью моделирования процессов, связанных с атмосферным электричеством. Он является портативным и достаточно мощным устройством, которое работает в воздухе при нормальном атмосферном давлении от стандартных источников питания. По сравнению с существующими стерилизаторами он не требует громоздкой противолучевой защиты, является дешевым, экологически чистым и может быть использован в стационарных и полевых условиях. Более того, как показали предварительные исследования, обнаружено его сильное воздействие на химические и микробиологические объекты в водных растворах. Несколько миллисекундных импульсов создают очищающий и обеззараживающий объемный эффект в воздухе и в контейнерах из диэлектрических материалов (включая стекло, полистирол и другие современные материалы). Последнее позволяет значительно ускорить решение проблемы очистки и стерилизации объектов живой и неживой природы и существенно расширить многообразие экологически небезопасных объектов воздействия (без применения вакуумных установок, на большие расстояния, через различные материалы контейнеров).

Для разработки технологии дистанционной стерилизации планируется решение целого ряда научно-технических задач на базе Проблемной лаборатории РГУТиС совместно с Федеральным Государственным унитарным предприятием ГНЦ ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем» и Института химической физики РАН им. Н. Н. Семенова. Полученные результаты позволят создать образец пилотного модуля генератора, перейти к разработке практических методов его внедрения в процесс дистанционной очистки и обеззараживания водных сред, загрязненных бактериями и вирусами, углеводородными загрязнителями (типа нефтепродуктов и спиртов), а также использовать его для быстрой стерилизации

хирургических помещений, инструментов и оборудования.

Коммерческим продуктом должны быть сам пилотный модуль и рекомендации к новой технологии, которая может найти применение в медицине, пищевой промышленности и сельском хозяйстве. При этом уменьшение времени и экономия энергетических затрат на стерилизацию и обеззараживание медицинских, пищевых и сельскохозяйственных объектов, значительное сокращение обслуживания персонала, безопасность работы с высокотоксичными веществами на больших расстояниях позволят существенно уменьшить финансовые затраты на существующие технологические процедуры. Таким образом, положительный финансовый эффект связан с широкой номенклатурой возможных применений и перечисленных преимуществ.

На секции «Динамика ионосферы и атмосферно-ионосферные связи» будут представлены доклады по следующим направлениям исследований: формирование источников возмущений системы атмосферы — ионосфера, связанных с катастрофическими явлениями (землетрясения, тайфуны, извержения вулканов, антропогенные катастрофы и т. д.); реакция ионосферы на воздействующие факторы различной природы (электродинамические, акустические, радиационные, химические); генерация и распространение электромагнитных и плазменных возмущений в ионосфере. Результаты исследований Проблемной лаборатории представит в своем докладе профессор В. М. Сорокин, где планирует осветить проблемы обеспечения безопасности авиационного транспорта.

Около 29 активных вулканов на Камчатском полуострове ежегодно производят по 3–4 извержения взрывного типа, выбрасывающих в атмосферу огромное количество мелких твердых частиц — вулканического пепла, который достигает высот более 15 км и переносится на расстояния до нескольких тысяч километров от источника, заполняя воздушное пространство над северной частью Тихого океана. Через эту зону проходит значительное количество международных авиатрасс между Соединенными Штатами Америки и азиатскими странами, на которых ежедневно перевозится более 15000 пассажиров и на миллионы долларов грузов. Поскольку облака вулканического пепла представляют большую опасность для современных реактивных самолетов из-за возможности разрушения двигателей при воздействии абразивных частиц, их плавлению на высокотемпературных

лопатках турбин и последующем осаждении на деталях двигателя, проблема краткосрочного прогнозирования и раннего обнаружения извержений с быстрым оповещением соответствующих служб управления воздушным движением чрезвычайно актуальна. В настоящее время мониторинг активности камчатских вулканов и оповещение об извержении успешно осуществляет KVERT — Камчатская группа реагирования на вулканические извержения, базирующаяся в Петропавловске-Камчатском. Она создана в 1993 г. совместными усилиями специалистов ДВО РАН, Геофизической службы РАН при тесном взаимодействии с Вулканической Обсерваторией на Аляске (США) и поддержке Геологической Службы США, Международной Ассоциации Воздушного Транспорта, Агентства Международного развития США и ряда других организаций. В связи с устойчивым ростом объемов авиаперевозок и интенсивности воздушного движения над северной частью Тихого океана существенно возрастают риски авиакатастроф, связанных с прохождением облаков вулканического пепла от камчатских вулканов. Это обстоятельство требует дальнейшего развития применяемых KVERT сейсмических и визуальных методов мониторинга активности вулканов и создания новых методов краткосрочного прогнозирования извержений, основанных на наблюдении других (несеismicких) явлений, развивающихся в активной зоне.

Проводимые исследования направлены на разработку и практическое внедрение новых методов мониторинга вулканической активности и прогнозирования извержений большой мощности с использованием приборов для плазменно-волновых и оптических наблюдений на низкоорбитальном микроспутнике. Результаты экспериментальных исследований, проведенных на спутниках, свидетельствуют о воздействии на ионосферу интенсивных процессов, протекающих в литосфере и приземных слоях атмосферы Земли [6–7]. Анализ спутниковых данных показал наличие возмущений электрического поля, электромагнитных возмущений в КНЧ/ОНЧ диапазонах и УНЧ эмиссий. Обнаружены флуктуации плотности электронов с относительной амплитудой до 10% и периодами 1–10 с в ионосфере в магнитной силовой трубке, сопряженной с сейсмически возмущенной областью. Анализ снимков земной поверхности в инфракрасном (ИК) диапазоне, полученных на спутниках, показал усиление потока излучения над сейсмически активными разломами. Это усиление соответствует увеличению температуры приземного слоя

на несколько градусов. В сейсмически активных районах наблюдается возрастание на порядки величин концентрации почвенных газов (например  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ), увеличение уровня атмосферной радиоактивности (связанной с такими радиоактивными элементами, как радон, радий, уран, торий, актиний, и продуктами их распада) и усиление инжекции почвенных аэрозолей.

Совокупный анализ результатов наблюдения позволяет сделать вывод о том, что усиление вулканической активности стимулирует развитие электрофизических процессов в нижней атмосфере. На нижнюю атмосферу одновременно воздействуют колебания земной поверхности, химически активные и радиоактивные вещества, электрически заряженные аэрозоли. Происходит нагрев нижней атмосферы, интенсификация ее конвективных движений, генерация акустических волн, изменение электрофизических параметров и формирование сторонних электрических токов в атмосфере. Электродинамическое воздействие на ионосферу осуществляется в результате изменения величины электрического тока в глобальной атмосферно-ионосферной электрической цепи. Его источником служит сторонний электрический ток, который формируется в результате конвективного переноса вверх заряженных аэрозолей в нижней атмосфере. На рис. 1

приведена схема, иллюстрирующая электродинамическое воздействие на ионосферу процессов, протекающих в нижней атмосфере. Аэрозоли инжектируются в атмосферу почвенными газами в регионе, в котором расположены вулканы. Интенсивность инжекции резко возрастает в периоды усиления вулканической активности и выбросов пепла перед извержениями вулканов. Расчеты показали [8, 9], что в эти периоды электрическое поле тока, протекающего в ионосфере, может достигать величины порядка 10 мВ/м. Такие поля наблюдались на спутнике как над тайфунами [10], так и над сейсмически активным регионом [11]. Усиление электрического поля в ионосфере стимулирует развитие плазменных и электромагнитных эффектов [12]. Возникает неустойчивость акустико-гравитационных волн в нижней ионосфере, которая приводит к формированию горизонтальных неоднородностей ее проводимости, генерации продольных токов в магнитосфере и образованию в ней плазменных слоев. При пересечении спутником этой возмущенной области наблюдаются флуктуации плотности плазмы и колебания магнитного поля, регистрируемые на эксперименте. Схема эксперимента приведена на рис. 2. Взаимодействие неоднородностей проводимости с электромагнитным полем грозовых разрядов приводит к

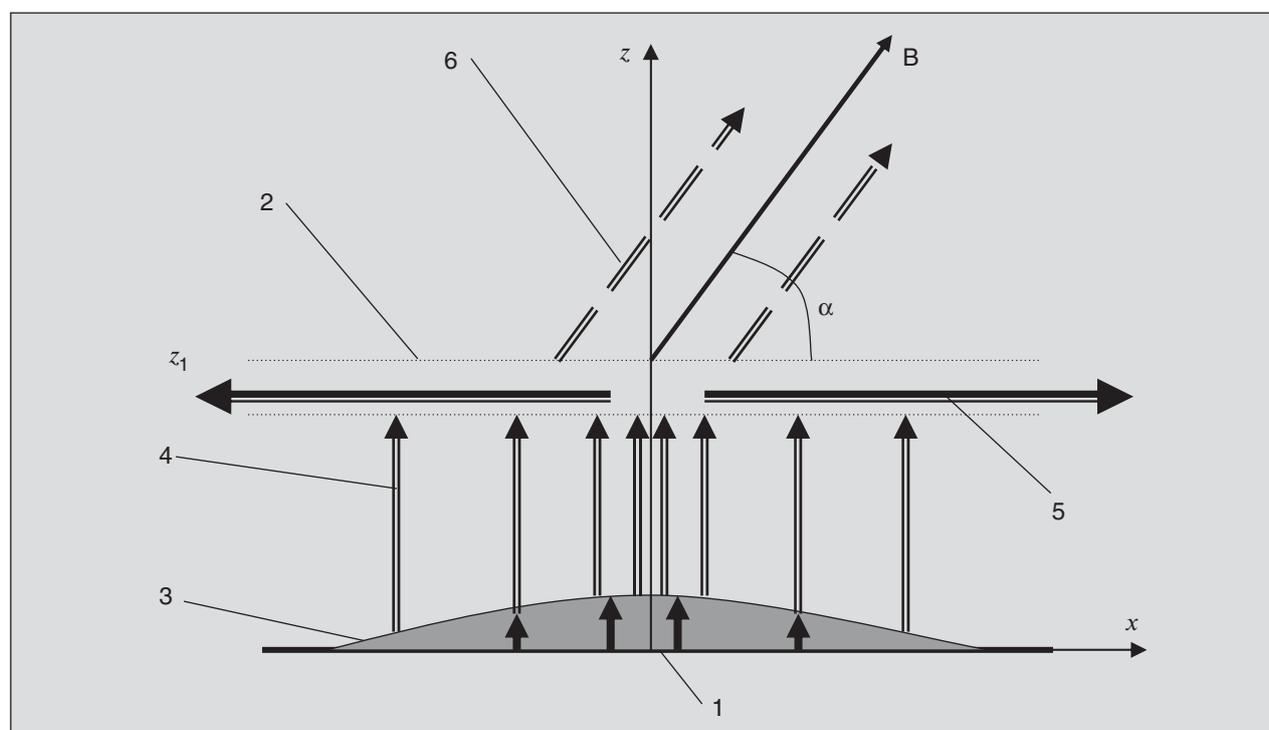


Рис. 1. Схема участка атмосферно-ионосферной электрической цепи: 1 — поверхность Земли; 2 — электропроводящий слой ионосферы; 3 — сторонние электрические токи; 4 — токи проводимости в атмосфере; 5 — токи проводимости в ионосфере; 6 — продольный ток

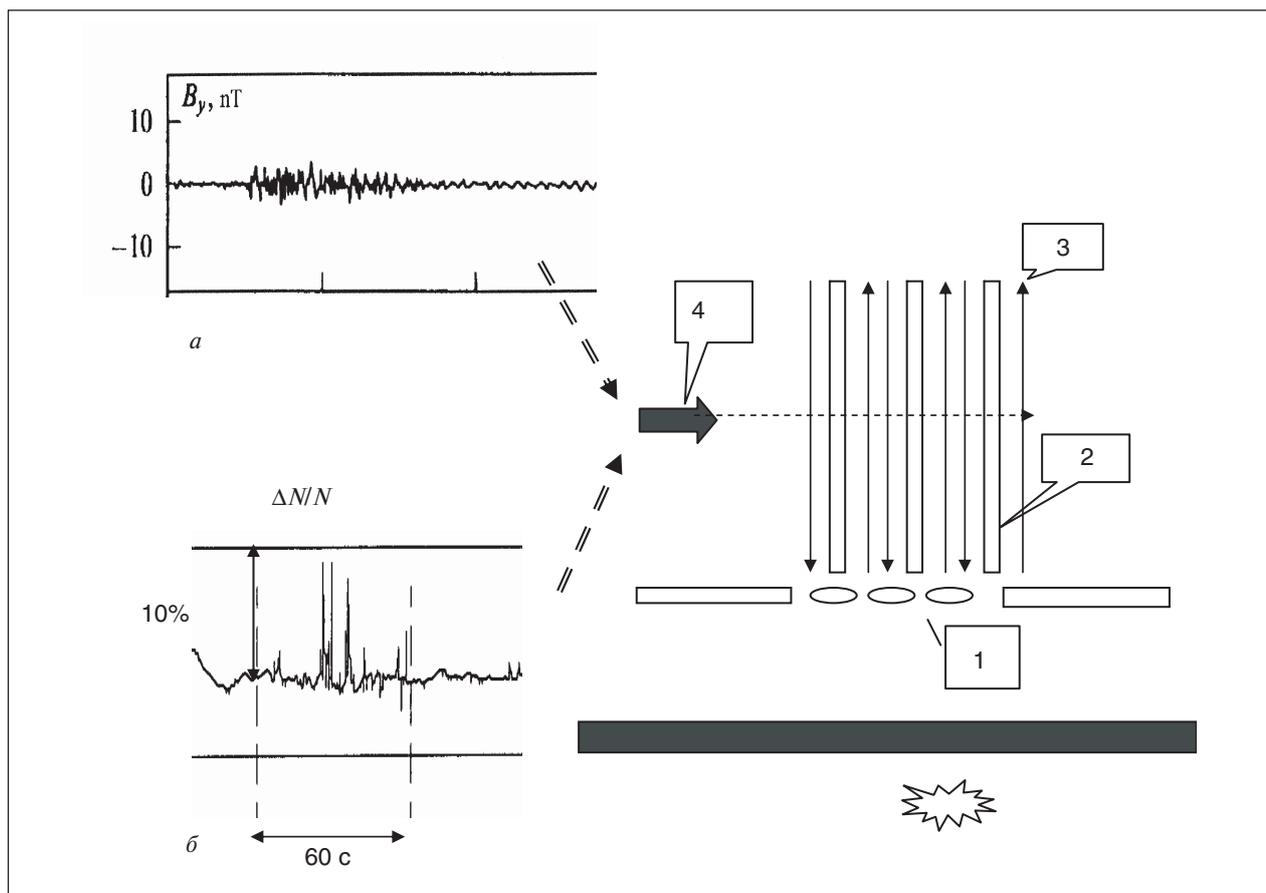


Рис. 2. Схема спутниковых наблюдений неоднородностей плотности плазмы (а) и УНЧ колебаний геомагнитного поля (б): 1 — горизонтальные неоднородности ионосферной проводимости; 2 — неоднородности плотности плазмы, вытянутые вдоль геомагнитного поля; 3 — продольные электрические токи; 4 — спутник

излучению в магнитосферу КНЧ эмиссий, наблюдаемых на спутниках, и колебаниям магнитного поля в УНЧ диапазоне. Усиление электрического поля в ионосфере приводит к модификации высотного профиля ионосферы, связанного как с дрейфом плазмы, так и с ее разогревом джоулевым теплом ионосферного тока.

Существующий уровень исследований и развития технологий позволяет приступить к разработке спутникового метода контроля вулканической активности и прогноза сильных извержений вулканов. Повышение концентрации почвенных аэрозолей и вулканического пепла в атмосфере в районах прохождения авиационных трасс сопровождается повышенным износом авиационных двигателей и связанным с ним усилением рисков для авиации в этих районах. Почвенные аэрозоли и вулканический пепел, являясь фактором угрозы для самолетов, в то же время являются агентом, формирующим сторонний электрический ток. Этот ток служит источником усиления поля в ионосфере и генерирует в ней

плазменные и электромагнитные возмущения. Интенсификация выбросов аэрозолей в атмосферу почвенными газами сопровождается формированием тепловых аномалий, характеризующихся значительными градиентами температуры в активной зоне. Поэтому, спутниковые методы мониторинга вулканов должны включать в себя как прямые измерения электромагнитных полей в различных спектральных диапазонах, так и дистанционное зондирование Земли в ИК диапазоне. В течение многих лет проводятся исследования воздействия на ионосферу интенсивных процессов сейсмической и метеорологической природы с использованием спутниковых данных совместно со специалистами Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им Н. В. Пушкова РАН, Института физики Земли РАН, Университета электросвязи (Токио, Япония) в рамках проектов РФФИ и контрактов МНТЦ. Накоплен большой опыт теоретических исследований электродинамических процессов в ионосфере, а также в обработке и

анализе спутниковых данных. Для разработки методов мониторинга необходимо дальнейшее развитие теоретических исследований электродинамических и химико-физических процессов в глобальной системе литосфера — атмосфера — ионосфера с использованием спутниковых данных, а также изучение геофизических процессов, которые связаны с подготовкой мощных вулканических выбросов в зонах интенсивных авиационных полетов.

Результаты исследований могут быть использованы для изготовления микроспутника и бортового аппаратного комплекса для прямых измерений некоторых типов ионосферных возмущений над вулканами и дистанционного определения параметров тепловых полей и влажности в активной зоне. Предполагается, что регулярные

прямые измерения плазменных и электромагнитных эффектов в ионосфере, стимулированных вулканической активностью, и дистанционное зондирование активных областей в инфракрасном и видимом диапазонах длин волн могут обеспечить оперативное обнаружение признаков интенсификации процессов в активной зоне и локализации источников. Спутниковые наблюдения расширенного набора параметров, чувствительных к повышению активности вулканов, позволяют создать практические методы краткосрочного прогнозирования сильных вулканических извержений и обеспечить своевременное (за 1–7 дней) предупреждение соответствующих служб управления воздушным движением в России, США, Японии, Корее, Канаде и других заинтересованных странах.

### Литература

1. Авакян С. В. Микроволновое излучение верхней атмосферы // Оптический журнал. — 2005. — Т. 72. — № 8. — С. 41–49.
2. Голубков Г. В., Иванов Г. К. Ридберговские состояния атомов и молекул и элементарные процессы с их участием. — М.: УРСС, 2001. — 302 с.
3. Ридберговские состояния атомов и молекул / Под ред. Р. Стеббингса и Ф. Даннинга. — М.: МИР, 1985. — 603 с.
4. Голубков Г. В., Иванов Г. К., Голубков М. Г. Электронно-возбужденные состояния наносистем // Химическая физика. — 2005. — Т. 24. — № 9. — С. 3–18.
5. Голубков Г. В., Иванов Г. К. Ридберговские состояния атомов и молекул в нейтральной среде // Химическая физика. — 2003. — Т. 22. — № 10. — С. 25–18. 22(10), 25 (2003).
6. Бучаченко А. Л., Ораевский В. Н., Похотелов О. А., Страхов В. Н., Сорокин В. М., Чмырев В. М. Ионосферные предвестники землетрясений // Успехи физических наук. — 1996. — Т. 166. — № 9. — С. 1023–1029.
7. Сорокин В. М., Чмырев В. М. Электродинамическая модель ионосферных предвестников землетрясений и некоторых видов катастроф // Геомагнетизм и аэрономия. — 2002. — Т. 42. — №6. — С. 821–842.
8. Sorokin V. M., Chmyrev V. M., Yaschenko A. K. Theoretical model of DC electric field formation in the ionosphere stimulated by seismic activity // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. — 2005. — V. 67. — P. 1259–1268.
9. Sorokin V. M., Yaschenko A. K., Hayakawa M. A perturbation of DC electric field caused by light ion adhesion to aerosols during the growth in seismic-related atmospheric radioactivity // Natural Hazards and Earth System Sciences. — 2007. — V. 7. — P. 155–163.
10. Chmyrev V. M., Isaev N. V., Bilichenko S. V. and Stanev G. A. (1989) Observation by space — borne detectors of electric fields and hydromagnetic waves in the ionosphere over on earthquake center // Phys. Earth Planet. Inter. — V. 57. — P. 110–114.
11. Sorokin V. M., Isaev N. V., Yaschenko A. K., Chmyrev V. M., Hayakawa M. Strong DC electric field formation in the low latitude ionosphere over typhoons // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. — 2005. — V. 67. — P. 1269–1279.
12. Сорокин В. М. Плазменные и электромагнитные эффекты в ионосфере, связанные с динамикой заряженных аэрозолей в нижней атмосфере // Химическая физика. — 2007. — Т. 26. — №4. — С. 45–80.

## Основные направления развития системы автосервиса с целью повышения безопасности автотранспортного комплекса

*В. С. Шупляков, И. Э. Грибут*

*Российский государственный университет туризма и сервиса*

В настоящее время автомобиль является одним из основных источников опасности для жизни человека:

1) в соответствии со статистическими данными в дорожно-транспортных происшествиях ежегодно погибает 30–35 тыс. чел.;

2) до 80% загрязнения окружающей среды приходится на автомобильный комплекс.

Одна из причин – неудовлетворительное техническое состояние подвижного состава, которое обусловлено, с одной стороны, очень высоким средним возрастом парка автомобилей, и с другой низкой эффективностью функционирования существующей системы технического обслуживания и ремонта.

В настоящее время управление процессом поддержания автомобилей индивидуального пользования (АИП) в работоспособном состоянии осуществляется путем выполнения заданных в эксплуатационно-технической документации (ЭТД) объемов контроля технического состояния АИП и профилактических работ через заранее определенные интервалы времени. При этом учитывается состояние автомобиля только на момент контроля, а предприятия автосервиса не могут гарантировать работоспособность автомобиля до следующего контрольного срока.

До 70% неисправностей по системам и агрегатам автомобиля можно отнести к постепенным отказам. Существующая планово-предупредительная система ТО и ремонта не предусматривает проведение диагностических работ на системах и агрегатах автомобиля. Поэтому заключение о реальном техническом состоянии автомобиля на сегодняшний день сделать нельзя. Выходом из этой проблемы может служить переход на более эффективную стратегию — стратегию поддержания автомобиля в работоспособном состоянии по реальному техническому состоянию (стратегия технического обслуживания и ремонта автомобиля по фактическому состоянию — СФТС). Актуальность проблемы создания и функционирования эффективной СФТС обусловлена тем, что по

мере усложнения конструкции автомобиля, повышения эксплуатационных и экологических требований к ним заметно возрастает стоимость их изготовления, а также затраты на их техническое обслуживание и ремонт. С точки зрения общей теории систем — автомобиль можно рассматривать как объект, управлять техническим состоянием которого в различные периоды эксплуатации можно с помощью определенных видов технического воздействия, таких как техническое обслуживание и ремонт.

Объединение технического обслуживания и ремонта в единую систему обусловлено общим характером технического воздействия на автомобиль.

Глубина технического воздействия и, как следствие, его эффективность определяются конечной целью, обусловленной необходимостью поддержания автомобиля в работоспособном состоянии на протяжении всего периода эксплуатации автомобиля.

За последние 12 лет (1995–2007 гг.) парк легковых автомобилей в России вырос почти на 65% — с 14,7 до 26,8 млн единиц. В связи с этим увеличилось количество дорожно-транспортных происшествий: общее число ДТП на дорогах нашей страны за 11 лет (1995–2006 гг.) увеличилось с 167 тыс. до 203,4 тыс.

Одна из причин такой неутешительной статистики — неудовлетворительное техническое состояние подвижного состава, обусловленное, во-первых, высоким средним возрастом парка автомобилей. Средний возраст российского автомобиля составляет, по данным ГИБДД, 10,8 года. Вторая причина обусловлена низкой эффективностью функционирования существующей системы технического обслуживания и ремонта.

В настоящее время оценка технического состояния автомобиля осуществляется диагностированием его основных систем.

Параметры технического состояния автомобиля имеют определенный разброс, заложенный в эксплуатационно-технической документации

завода-изготовителя. Если при проведении диагностирования эти параметры находятся в указанных пределах, то системы автомобиля техническим воздействиям при техническом обслуживании не подвергаются. Однако средние или, тем более, нижние значения параметров не могут гарантировать безаварийную эксплуатацию автомобиля до следующего установленного технического обслуживания. Именно в этот момент с автомобилем может произойти аварийный отказ, который, как правило, приводит к ДТП. Предотвратить аварийный отказ можно, спрогнозировав его.

В процессе эксплуатации на автомобиль воздействует множество факторов: тип дорожного покрытия, климатические условия, манера вождения и др. Результаты воздействия этих факторов носят вероятностный характер и являются случайными величинами, подчиняющимися определенным законам распределения. Знание законов распределения позволяет предвидеть вероятности событий и прогнозировать дальнейшее их развитие.

Для осуществления прогноза технического состояния автомобиля и его систем необходимо выявить определенные закономерности изменения технического состояния при помощи математических законов, то есть создать математическую модель изменения параметров, подходящую для любого транспортного средства и для любой его системы. Составление алгоритма поддержания автомобиля и его систем в работоспособном состоянии позволит в результате выдать рекомендации по периодичности и трудоёмкости технического обслуживания автомобиля с учётом реальной информации о техническом состоянии транспортного средства. Для получения достоверного результата по определению остаточного ресурса автомобиля и по оценке вероятности безотказной работы необходимо наблюдать за автомобилем на определённом временном отрезке и фиксировать те или иные параметры. Имитационная модель, разработанная на основе математических функций, будет наглядно демонстрировать изменение технического состояния автомобиля во времени. Применяв различные языки программирования для написания компьютерной программы, возможно внедрить данную систему на предприятия автосервиса. Создание универсальной программы прогнозирования технического состояния автомобиля и его систем, адаптированной для работников автосервиса с различным уровнем знаний компьютера, ускорит процесс получения конечного результата.

При современном развитии науки и техники осуществление данной программы возможно и необходимо для предотвращения аварийных отказов и для улучшения экологической эффективности автомобиля.

Создание программы прогнозирования технического состояния автомобиля и его систем, влияющих на безопасность движения, — одно из перспективных направлений современного автосервиса. Данная программа поможет определять ресурс той или иной системы (узла, детали), позволит корректировать сроки и объём технического обслуживания и ремонта индивидуально по каждому автомобилю. Очевидны «плюсы» как для предприятий автосервиса, так и для их клиентов: для первых — это дополнительно оказываемая услуга, наличие постоянных клиентов, оптимальный расход запасных частей; для вторых — сокращение временных и финансовых затрат на обслуживание своего автомобиля.

**Поэтому задачи в этой области** — исследование сложившейся и перспективных систем поддержания автомобилей индивидуального пользования в работоспособном состоянии:

- проведение научных исследований по разработке методов и технических средств определения технического состояния узлов и агрегатов автомобилей индивидуального пользования;
- изучение конструкционных и эксплуатационных факторов, влияющих на техническое состояние автомобилей;
- выбор показателей эффективности системы поддержания автомобилей индивидуального пользования в работоспособном состоянии;
- разработка математических зависимостей и имитационных моделей изменения технического состояния систем автомобиля, с учетом различных внешних воздействий;
- разработка научно-методических основ реализации стратегии обслуживания по фактическому техническому состоянию на основе диагностического контроля параметров технического состояния и коррекции технических воздействий с учетом индивидуальных особенностей конкретного автомобиля;
- решение задачи прогноза остаточного ресурса и оценки вероятности безотказной работы автомобилей индивидуального пользования на межконтрольном периоде.

Для решения проблемы обеспечения безопасности дорожного движения было принято постановление Правительства РФ от 20.02.2006 №100 «О федеральной целевой программе повышения безопасности дорожного движения в 2006–2012 годах».

Основными целями и задачами программы являются:

- сокращение числа погибших в результате дорожно-транспортных происшествий;
- предупреждение опасного поведения участников дорожного движения;
- развитие системы подготовки водителей транспортных средств и их допуска к участию в дорожном движении;
- сокращение детского дорожно-транспортного травматизма;
- сокращение времени прибытия соответствующих служб на место ДТП, повышение эффективности их деятельности по оказанию помощи лицам, пострадавшим в ДТП;
- повышение уровня безопасности транспортных средств.

В связи с вышеуказанным РГУТиС уже сегодня взял на себя функцию по решению и реализации ряда задач, предусмотренных *федеральной целевой программой*.

С этой целью создан Автомобильный научно-производственный центр, оборудованный современными приборами, позволяющими проводить системные исследования, направленные на совершенствование научных основ выявления закономерностей возникновения дорожно-транспортных происшествий по причине неудовлетворительного технического состояния автомобилей и построение оптимальных моделей управления системой поддержания автомобилей в работоспособном состоянии.

Во РГУТиС в скором времени начнутся работы по строительству Автогородка, в котором будут проводиться работы по следующим направлениям.

**Во-первых** — совершенствование системы начальной подготовки водителей транспортных средств и их допуска к участию в дорожном движении.

**Во-вторых** — повышение профессионального мастерства водителей, имеющих право управления транспортными средствами категорий «В» и «С». Для этого предусматривается создание условий для значительного повышения качества подготовки водителей транспортных средств и совершенствование системы повышения их квалификации.

**В третьих** — сокращение детского дорожно-транспортного травматизма. При этом предусматривается выполнение мероприятий, направленных на совершенствование работ по профилактике детского дорожно-транспортного травматизма. Для профилактики детского дорожно-транспортного травматизма необхо-

димо формировать у детей навыки безопасного поведения на транспорте, во дворе, на улице и на дорогах.

**В четвертых** — развитие системы оказания первой доврачебной помощи пострадавшим в дорожно-транспортных происшествиях. Будут изучены организационные и правовые основы оказания первичной медицинской помощи пострадавшим на месте дорожно-транспортных происшествий. По этому вопросу планируется проведение в специализированных аудиториях, занятий по медицинской подготовке с привлечением квалифицированных медицинских работников. Предусматривается обучение этому всех участников дорожного движения.

Стремительный рост уровня автомобилизации несет населению не только блага цивилизации в виде удобства, комфорта, быстроты в транспортных перемещениях, но также создает массу проблем, связанных с потреблением природных и энергетических ресурсов, загрязнением окружающей среды твердыми отходами и газообразными веществами, параметрическим загрязнением, необходимостью обеспечения безопасности населения, включая безопасность дорожного движения и экологическую безопасность.

На долю автомобильного транспорта приходится около 40% всех выбросов вредных веществ в атмосферу, а в крупных городах эта цифра достигает 60–80%. При этом вклад стационарных источников, которые находятся на балансе предприятий автосервиса, составляет 15–20%. Таким образом, производственно-техническая база предприятий автосервиса, предназначенная для хранения подвижного состава и проведения технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) автомобилей, является одной из важнейших структур в части экологической безопасности автотранспортного комплекса в целом.

Снижение токсичности отработавших газов автомобиля до допустимых пределов представляет собой сложную научно-техническую задачу, при решении которой большое значение имеет стоимость тех или иных мероприятий, а также необходимость обеспечения сохранения высоких экономических, энергетических и других показателей двигателей.

Исторически снижение токсичности ОГ осуществлялось в *первую очередь* путем совершенствования традиционных процессов смесеобразования и сгорания при одновременной оптимизации управления двигателем (состав смеси и угол опережения зажигания). Практика показала, что достичь при этом уровня токсичности ОГ,

требуемого законодательством развитых стран, нельзя. Поэтому получил широкое применение *второй путь* — нейтрализация ОГ в системе выпуска, при которой токсичные газы (СО, СН и NO<sub>x</sub>), нейтрализуются в системе выпуска до выброса их в атмосферу.

Использование этих двух путей не позволяет устранить выбросы соединений свинца, SO<sub>2</sub> и ПАУ до нормативных значений ПДК. Это вызывает необходимость использовать *третий путь* — ограничивать содержание в топливе свинца, серы и ароматических углеводородов. Например, по действующим в РФ стандартам в этилированных бензинах А-76 и АИ-92 содержание свинца не должно превышать 0,17 и 0,37 г/дм<sup>3</sup>, соответственно, а в неэтилированном бензине свинец практически отсутствует (менее 0,013 г/дм<sup>3</sup>). В дизтопливе допускается содержание серы по массе не более 0,20–0,05%. Уменьшение ароматики в бензинах обеспечивает снижение выбросов бензола и ПАУ. Разрешенное содержание свинца, серы и ароматических углеводородов в топливах для ДВС постоянно уменьшается.

*Четвертый путь* снижения вредных выбросов с ОГ связан с улучшением топливной экономичности двигателей (снижением расхода углеводородного топлива) или с переходом к альтернативным топливам, в том числе не содержащим углерода (например, водород).

Существенное влияние на уровень экологической безопасности автомобилей оказывает качество работ по ТО и Р. Известно, что неисправности различных систем двигателя могут привести к увеличению выбросов вредных веществ в 5 и более раз. Вместе с тем наряду с главной целью — обеспечением заданного уровня работоспособности и уровня экологической безопасности автомобильного парка перед СТОА стоит также цель обеспечения собственной экологической безопасности.

С учетом вышеуказанного задачами этого направления являются:

- исследование экологического воздействия автомобильных двигателей на окружающую среду;
- исследования методов, снижающих токсичность автомобильных двигателей;
- методика расчета экстернатальных издержек влияния загрязнения окружающей среды;
- научные исследования по применению альтернативных видов топлив;
- управление охраной окружающей среды в транспортно-дорожном комплексе;
- уменьшение загрязнения атмосферы путем

совершенствования организации дорожного движения и градостроительных мероприятий;

- уменьшение загрязнения водных ресурсов и очистка сточных вод;

- уменьшение количества загрязняющих веществ от стационарных источников автотранспортных предприятий и предприятий автосервиса.

Помимо выбросов в атмосферу, при эксплуатации и техническом обслуживании автомобиля образуются отходы, такие как отработанные масла, аккумуляторы, тормозные и охлаждающие жидкости, упаковочные материалы от этих средств, автошины, фильтры, сточные воды от его мойки. Когда автомобиль отправляется «на покой», отходом становится он сам. Ущерб, наносимый окружающей среде брошенным автотранспортом, достаточно велик. В выброшенном автомобиле сохраняются жидкости (обычно 20–25 литров), которые представляют серьезную опасность для окружающей среды, — это масла, жидкости, содержащие метанол, и т. д. Ржавление автомобиля приводит к заражению почвы тяжелыми металлами. Доказано, что если брошенный автомобиль гниет, например, в лесопарковой зоне, то загрязнение почвы происходит в радиусе около 1,5 км от его остова. Еще больший ущерб природе приносят автомобили, брошенные в водоемы или вблизи от них: ядовитые жидкости и тяжелые металлы в этом случае попросту вымываются, попадая в водоем и отравляя его. Количество отходов на автомобильном транспорте достигает в год почти 3,3 млн т, в том числе 330 тыс. т отработавших масел и спецжидкостей, 1500 тыс. т лома и отходов черных металлов, 1200 тыс. т отходов резины, 180 тыс. т свинцовых аккумуляторов, 70 тыс. т отходов пластмасс. В условиях слабой организации сбора и утилизации брошенных и разукомплектованных автомобилей (ежегодно примерно 1,2 млн ед.) обостряется проблема захламления городских территорий, загрязнения почв и водных объектов отходами автотранспорта.

По данным Всероссийского НИИ автотранспорта, ежегодно во всем мире предприятия, специализирующиеся на утилизации старых машин, обеспечивают работой свыше полутора миллиона человек. При этом общая стоимость продукции, произведенной из полученных после их вторичной переработки, превышает 250 млрд долл. Как правило, за рубежом объем материалов, остающихся не пригодными к дальнейшему использованию, составляет не более 20% от общей массы автомобиля. К тому же Европейской

Комиссией приняты законы, предусматривающие, что при утилизации автомобилей начиная с 2015 года минимум 85% (в 2015 году — 95%) веса должно подвергаться вторичной переработке, только 10% могут быть сожжены и всего 5% — захоронены.

Российские автомобили в принципе не предназначены для переработки. В ходе пресования — самого распространенного сегодня в нашей стране метода переработки автомобилей — получившийся черный металл загрязняется примесями меди, олова, цинка, свинца, хрома и других металлов, применяемых для изготовления оснастки, отделки, электрооборудования, защитных и декоративных покрытий.

Заставить сейчас автовладельца самостоятельно заняться утилизацией, то есть снять автомобиль с учета (пусть даже не предъявляя его отделу регистрации ГИБДД) и на собственные средства отбуксировать в пункт приема металлолома, практически невозможно.

Необходимо принять закон об утилизации транспортных средств и взимать определенную сумму с первого владельца авто, как это делается за рубежом. В его правовом поле можно будет создать систему учета, контроля и сертификации компаний, специализирующихся на авторециклинге, чтобы пресечь появление запчастей, уже бывших в эксплуатации, под видом новых, и загрязнение окружающей среды.

### Литература

1. Амбарцумян В. В., Носов В. Б., Тагасов В. И. Экологическая безопасность автомобильного транспорта: Учебное пособие для вузов. — М.: Научтехлитиздат, 1999.
2. Егорова Н. Е., Мудунов А. С. Автосервис. Модели и методы прогнозирования деятельности. — М.: Экзамен, 2002. — 256 с.
3. Управление автосервисом: Учебное пособие для вузов / Под общ. ред. д. т. н., проф. Л. Б. Миротина. — М.: Экзамен, 2004. — 320 с.
4. Гиссин В. И. Управление качеством (2-е издание). — Москва: ИКЦ «МарТ», Ростов — н/Д: Издательский центр «МарТ», 2003. — 400 с.
5. Федеральный закон «О специальном техническом регламенте об эксплуатационной безопасности колесных транспортных средств».

### ТЕМАТИЧЕСКИЕ ИЗДАНИЯ

#### **О. В. Лебедев, Т. И. Пашковская, И. Э. Пашковский.**

Инженерная графика: Учебное пособие для вузов. М.: ГОУВПО «МГУС», 2006. — 200 с., ил.

В пособии рассматриваются основные виды разъемных и неразъемных деталей машин и изделий, правила их изображения, рассмотрены основные правила построения и чтения чертежей различных изделий; подробно рассмотрены вопросы построения перспективных изображений, в том числе фронтального и углового интерьеров.

**Т. Ю. Воронкова.** Проектирование швейных предприятий  
(Технологические процессы пошива одежды на предприятиях сервиса):  
Учебное пособие. — М.: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2006. — 128 с., ил.  
(Высшее образование).

Изложены современные методы проектирования технологических процессов швейных цехов на предприятиях сервиса. Дана характеристика основных особенностей производства одежды по индивидуальным заказам, определяющим подход к проектированию швейных предприятий сервиса и технологических процессов. Рассмотрены основные принципы совершенствования технологических процессов, критерии и показатели прогрессивности процессов.

Для студентов вузов и инженерно-технических работников швейных предприятий сервиса. Может использоваться учащимися техникумов и колледжей.

## Фракталы и современные методы анализа качества информационных услуг

О. И. Шелухин, А. В. Осин

Российский государственный университет туризма и сервиса

### Современные тенденции развития сетей и систем связи

Развитие современных систем и сетей связи, а также услуг в совокупности привело к возникновению нового явления — конвергенции сетей связи и интеграции услуг. Конвергенция подразумевает слияние, взаимное проникновение, множества различных сетей и систем связи. В качестве примера можно привести телефонные сети общего пользования (ТфСОП), сети передачи данных, спутниковые сети, распределительные сети радиовещания и телевидения, сети Интернет, сети мобильной (подвижной) связи. Наиболее известный пример развития систем сотовой связи. Хотя радиосвязь между двумя абонентами как техническое средство появилось еще в XIX веке, однако настоящего расцвета она достигла только в конце XX века. Связано это прежде всего именно с конвергенцией. Сегодня абонент сотовой радиосвязи имеет возможность подключиться к абонентам ТФОП, или сети Интернет. С помощью сетей спутниковой связи или волоконно-оптических сетей обеспечивается решение проблемы роуминга. Как видно, налицо конвергенция сетей различного назначения и физической природы.

Конвергенция сетей, в свою очередь, приводит к интеграции множества различных сервисов, включая услуги связи и информационные сервисы в произвольных сочетаниях в виде мультимедиа. Обращаясь к уже приведенному примеру сотовой радиосвязи, можно проиллюстрировать динамику интеграции услуг. Действительно, помимо собственно телефонной связи современные системы сотовой связи обеспечивают услуги передачи данных (SMS сообщения), видеоизображений непосредственно с сотового телефона или услугу Интернет-сервисов.

Услуги связи и информационные услуги в произвольных сочетаниях образуют информационный сервис населения.

Таким образом, основным направлением развития современных систем и сетей связи является интеграция связных и вещательных технологий, обеспечивающих передачу интегри-

рованного трафика (телефонии, IP-телефонии, Интернет, трафика локальных сетей, цифрового телевидения).

Конвергенция сетей и интеграция услуг, в свою очередь, приводят к унификации методов передачи сообщений и методов оценки их качества.

В условиях цифровой передачи на смену методам коммутации сообщений пришли методы коммутации пакетов.

Однако на перечисленные современные тенденции неизменным остаются методы оценки качества передачи сообщений. И обусловлено это прежде всего различной природой предлагаемых сервисов. Так, голосовые и аудио-сервисы предполагают оценку качества на основе разборчивости. Видео-сервисы (начиная от телевидения до видеоконференций, видеотелефонии) оцениваются методами визуальной разборчивости. Сигналы передачи данных оцениваются по их достоверности в канале связи.

Вызвано это прежде всего различием в физической природе передаваемой информации.

Вместе с тем начиная с последнего десятилетия XX века в научной и инженерной среде, связанной с созданием и эксплуатацией систем и сетей связи, ведутся работы по разработке не только унифицированных методов описания всех перечисленных сервисов, унификации методов их передачи, но и методов оценки качества. Появилось новое направление, названное теорией фрактальных (самоподобных) процессов. На основании многочисленных экспериментальных исследований доказано, что телекоммуникационный трафик, независимо от его физической природы, может быть описан новым классом случайных процессов — самоподобными процессами. Смысл самоподобности заключается в том, что, изучив поведение того или иного процесса внутри телекоммуникационной сети, можно на основании его самоподобия не только предсказать его поведение в будущем, но и использовать это свойство для управления пропускной способностью сети, а также качеством передачи перечисленных информационных сервисов.

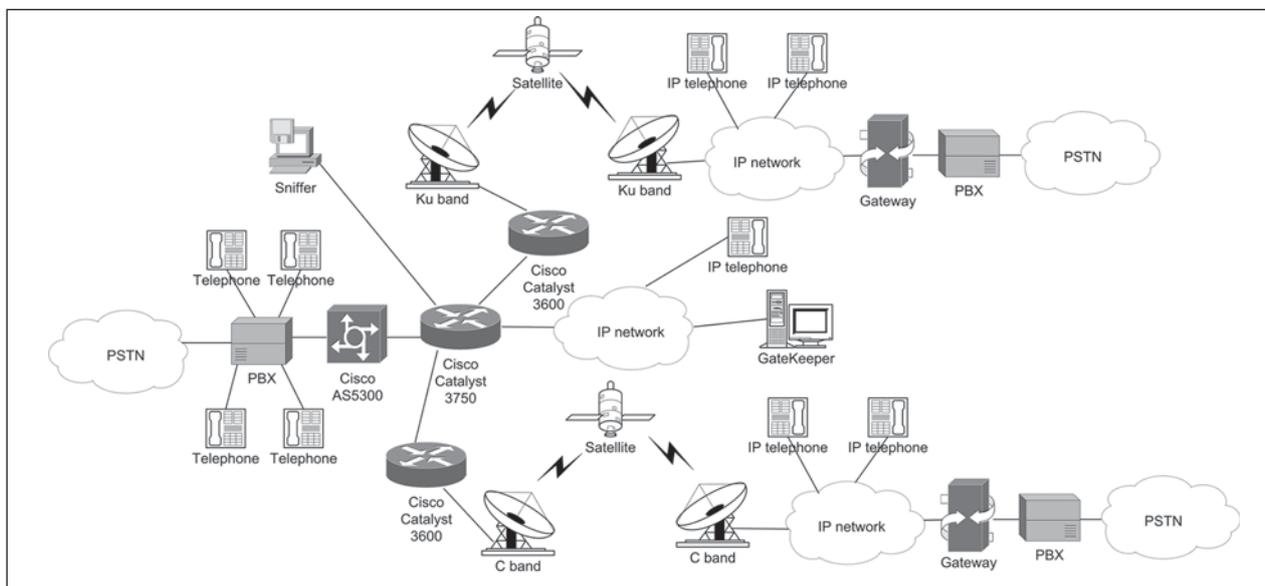


Рис. 1. Структура сети АО «Лукойл-Информ»

Создание подобного метода математического описания телекоммуникационных сервисов позволяет интерпретировать различные физические процессы от звуковых до двумерных видеоизображений с помощью единого класса моделей, отличающихся только параметрами. Подобная параметризация позволяет подойти к проблеме оценки качества передачи разнообразных сервисов с новых технических позиций.

### Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования телекоммуникационного трафика были проведены в двух крупных телекоммуникационных сетях «АО Лукойл-Информ» и АО «Ростелеком». Упрощенная конфигурация распределенной ТС «АО Лукойл-Информ» представлена на рис. 1. ТС охватывает значительную территорию и совмещает в себе большое количество различных протоколов канального уровня. На рисунке изображена лишь обобщенная структура сети, отображающая возможные пути прохождения речевых вызовов. В сети имеются как наземные, так и спутниковые каналы связи.

На рис. 2 изображена обобщенная структурная схема наземной VoIP сети АО «Ростелеком», в которой проводились измерения речевого трафика. В виде облаков на рисунке представлены ТС общего пользования с источниками трафика, а также IP-сети, которые также являлись источниками телефонных вызовов (IP-телефоны).

Сети традиционной телефонии через шлюз выходили в IP-сеть с узловым коммутатором (*Cisco Catalyst 3500*), через который проходили все телефонные вызовы в системе. Поэтому изме-

рительное оборудование подключалось к одному из портов коммутатора, на котором была создана SPAN-сессия с целью отвлечения трафика, проходящего через коммутатор на этот SPAN-порт.

На рис. 3 отображена последовательность шагов проведения эксперимента и получения статистических данных. Проведенные эксперименты и полученные при этом результаты статистической обработки экспериментальных данных подтвердили сделанные научные предположения.

### Программное обеспечение

На основе разработанных математических моделей в НИЛ «Анализ информационных систем и потоков сервиса» МГУС создано специализированное программное обеспечение (ПО), с помощью которого можно эмулировать реальные потоки сервисов для имитации разнообразных сервисов и их комбинации. Структура данных потоков отражает свойства произвольной совокупности

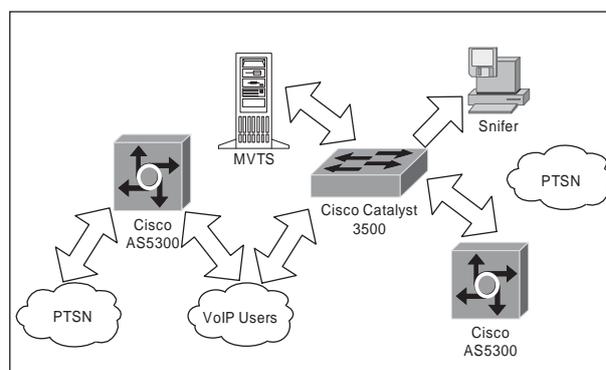


Рис. 2. Структура сети АО «Ростелеком»

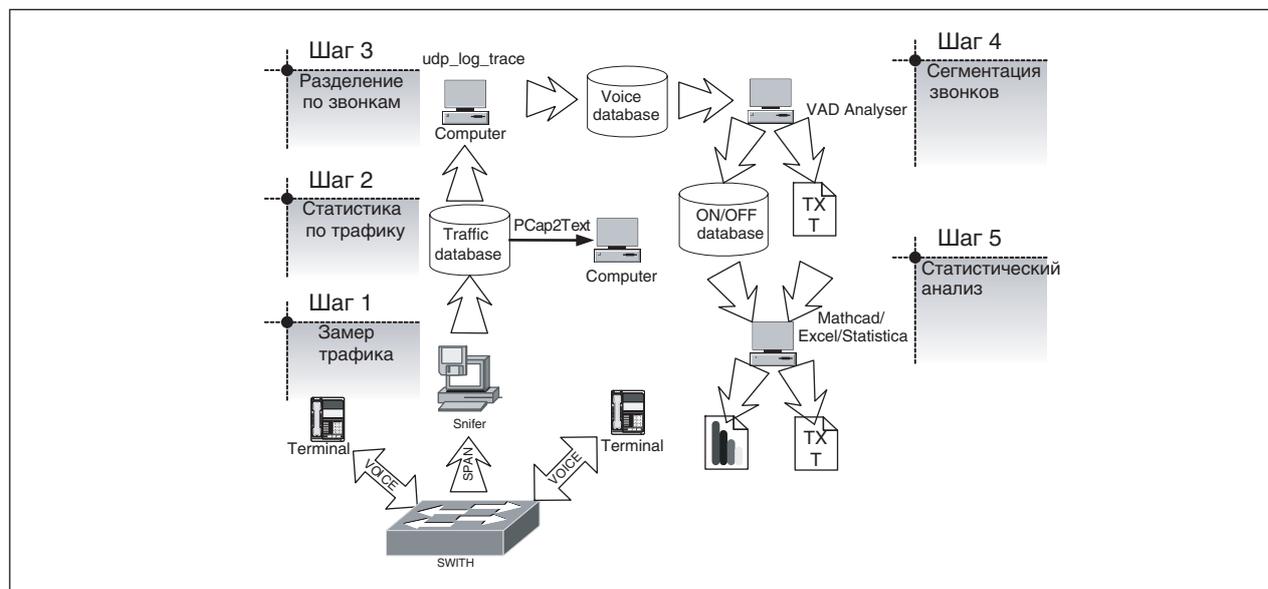


Рис. 3. Разработанный для исследования программно-аппаратный комплекс

сервисов в едином транспортном потоке. Подавая эти потоки на входы реальных или проектируемых телекоммуникационных сетей, можно оценить качество того или иного сервиса в заданном месте сети. В качестве параметров, характеризующих качество, можно использовать известные в настоящее время методы оценки качества QoS.

### Технические предложения

В настоящее время на базе созданного ПО ведутся работы по разработке стенда для тестирования качества передачи информации терминалами спутниковых станций. Типовая структура сети спутниковой связи VSAT приведена на рис. 4.

Подключая стенд к абонентской или центральной станции можно имитировать подключение к ее входу произвольного числа пользователей, с различной структурой телекоммуникационного трафика — речевого, видео или данных. Комбинация мультиплексированных данных может задаваться в произвольной комбинации. Использование стенда позволяет тестировать покупателю спутникового терминала его работоспособность и оценивать качество передачи информации, как всего трафика так и отдельных его компонент.

Основные научные результаты, полученные авторским коллективом НИЛ при работе в описанном направлении, приведены в списке публикаций.

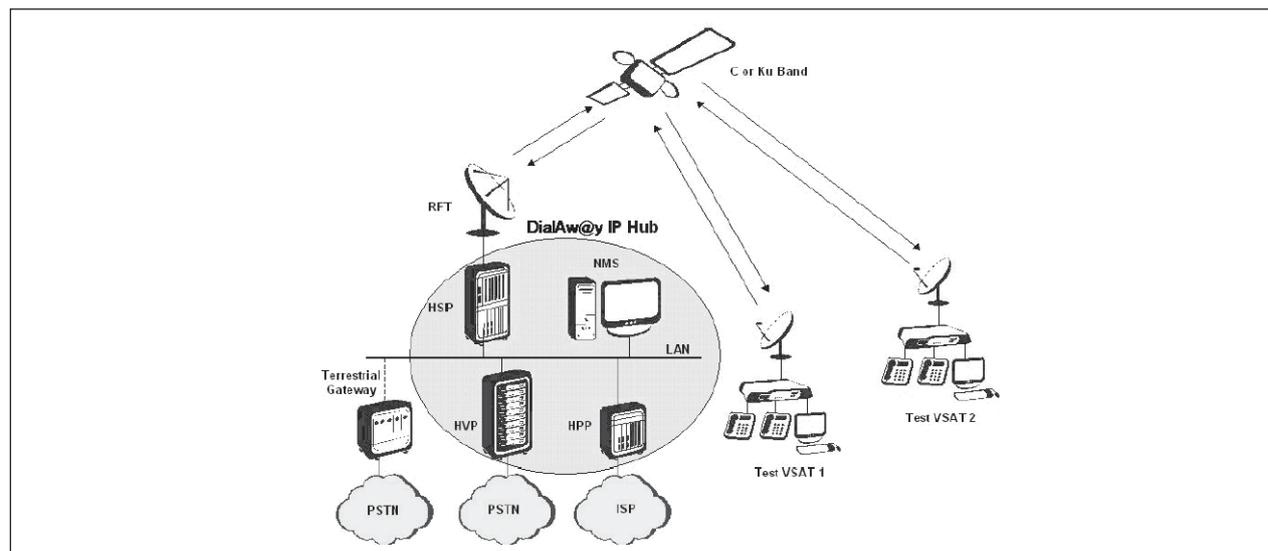


Рис. 4. Система спутниковой связи

*Литература*

1. *Sheluhin O. I., Smolskiy S. M. and Osin A. V. Self-Similar Processes in Telecommunications. John Wiley & Sons, Ltd. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, England, 2007. — 314 p.*
2. *Шелухин О. И., Тенякшев А. В., Осин А. В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях / Под ред. О. И. Шелухина: Монография. — М.: Радиотехника, 2003. — 480 с.*
3. *Шелухин О. И., Тенякшев А. В., Осин А. В. Моделирование информационных систем / Под ред. О. И. Шелухина: Учебное пособие. — М.: Сайнс-Пресс, 2005. — 368 с.*
4. *Шелухин О. И., Леднёв А. В., Осин А. В. О фрактальной структуре цифровых речевых потоков // Труды LVIII научная сессия, посвященная дню радио. Том 1, Секция 3: Общая радиотехника, 2003. — С. 63–65.*
5. *Шелухин О. И., Осин А. В. Методы моделирования фрактальных процессов // XXXVI научно-методическая конференция профессорско-преподавательского состава МТУСИ, Секция 9. — М., 2003. — С. 110–112.*
6. *Шелухин О. И., Осин А. В. Экспериментальные исследования фрактальных процессов в сетях Ethernet // XXXVI научно-методическая конференция профессорско-преподавательского состава МТУСИ, Секция 9. — М., 2003. — С. 112–113.*
7. *Шелухин О. И., Осин А. В. Научная конференция профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава МТУСИ, Книга 2, Секция 11. — М., 2004. — С. 140–141.*
8. *Шелухин О. И., Осин А. В. Исследования самоподобной структуры трафика Ethernet / Под ред. О. И. Шелухина // Вестник МГУС. Серия: «Радиоэлектроника и информатика» Сб. научных трудов. — М., 2002. — С. 12–27.*
9. *Шелухин О. И., Осин А. В. О фрактальности и нестационарности цифровых речевых потоков. Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике // Материалы V всероссийской научно-технической конференции. — Чебоксары, 2004. — С. 266–268.*
10. *Шелухин О. И., Осин А. В. Имитационное моделирование мультимплектора Frame Relay с речевыми потоками на входе, полученными с использованием марковской цепи. Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: Материалы V всероссийской научно-технической конференции. — Чебоксары, 2004. — С. 268–270.*
11. *Шелухин О. И., Осин А. В., Урьев Г. А. Результаты экспериментальных исследований сетевого трафика телекоммуникационной сети // Теоретические и прикладные проблемы сервиса. — 2005. — №4.*
12. *Шелухин О. И., Урьев Г. А. Измерение статистических характеристик речевого трафика телекоммуникационной сети, Международный форум информатизации (МФИ-2004) // Материалы конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы», 2004. — С. 280.*
13. *Шелухин О. И., Урьев Г. А. Результаты экспериментальных исследований видео трафика телекоммуникационной сети // Электротехнические комплексы и информационные системы. — 2006. — №1. — С. 24.*
14. *Шелухин О. И., Пружинин А. В., Осин А. В., Урьев Г. А. Математические модели и имитационное моделирование агрегированного трафика VoIP // Электротехнические комплексы и информационные системы. — 2006. — №1. — С. 32–37.*
15. *Шелухин О. И., Урьев Г. А., Осин А. В. Экспериментальные исследования речевых потоков в сетях VoIP // Электротехнические комплексы и информационные системы. — 2006. — №2. — С. 54–58.*
16. *Шелухин О. И., Урьев Г. А. Фрактальный анализ речевого трафика VoIP на уровне пакетов // Материалы научной конференции профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава МТУСИ, книга 1, 2005. — С. 43–44.*
17. *Шелухин О. И., Осин А. В., Невструев И. А., Урьев Г. А. Сравнительный анализ методов оценки стационарности самоподобных процессов // Электротехнические комплексы и информационные системы. — 2006. — №1. — С. 55–60.*
18. *Шелухин О. И., Осин А. В., Урьев Г. А. Результаты экспериментальных исследований сетевого трафика телекоммуникационной сети // Теоретические и прикладные проблемы сервиса. — 2005. — №1–2 (14–15). — С. 38.*
19. *Шелухин О. И., Лукьянцев Д. А. Многоуровневая ON/OFF-модель Интернет-трафика корпоративной сети спутниковой связи // Электротехнические и информационные комплексы и системы. — 2006. — Т. 2. — №2. — С. 59–62.*
20. *Шелухин О. И., Куюн А. В., Лукьянцев Д. А. Особенности влияния фрактальности трафика на построение очередей телекоммуникационных сетей // Электротехнические и информационные комплексы и системы. — 2006. — Т. 2. — №2. — С. 47–53.*
21. *Шелухин О. И., Осин А. В., Ахметшин Р. Р. Оценка самоподобности телекоммуникационного трафика с помощью вейвлетов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. — 2006. — Т. 2. — №3. — С. 29–35.*
22. *Шелухин О. И., Осин А. В. Мультифрактальные свойства трафика реального времени // Электротехнические и информационные комплексы и системы. — 2006. — Т. 2. — №3. — С. 36–43.*
23. *Шелухин О. И., Пружинин А. В., Осин А. В. Оптимизация параметров телекоммуникационных сетей методом регуляризации Тихонова // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2006. — Т. 4. — №6. — С. 63–72.*
24. *Шелухин О. И., Афонин М. Ю. Оценка и моделирование фрактальных свойств MPEG трафика // Теоретические и прикладные проблемы сервиса. — 2005. — №3.*
25. *Шелухин О. И. Самоподобные процессы и их применение в телекоммуникациях // Теоретические и прикладные проблемы сервиса. — 2002. — №3(4). — С. 62–71.*
26. *Шелухин О. И., Осин А. В. Влияние самоподобности речевого трафика на оптимизацию параметров QoS телекоммуникационной сети // Нелинейный мир. — 2006. — Т. 4. — №3. — С. 116–122.*

## Разработка методики формирования открытого депозитария научных исследований в сфере образования

*Е. С. Погребова*

*Российский государственный университет туризма и сервиса*

Проектирование открытого депозитария научных исследований в сфере образования, т. е. отбор НИР и научных проектов для включения в базу научных исследований и формирование перечня организаций-исполнителей этих работ, определяется:

- целями и задачами, для решения которых создается открытый депозитарий;
- объективными современными потребностями системы образования в научном и информационно-аналитическом обеспечении инновационных процессов;
- потребностями всех категорий пользователей депозитария в научной, методической, аналитической информации по проблемам образования;
- реальным (фактическим) наличием результатов, составом НИР и научных проектов, выполненных за конкретный (заданный) период времени.

Поэтому для разработки обоснованных методических рекомендаций по созданию открытого депозитария и проектирования структуры планируемой базы научных разработок депозитария необходим анализ сущности, цели и задач, основных параметров объекта исследования и проектирования, которым являются содержание и структура депозитария.

Наряду с этим необходимы анализ и учет основных потребностей системы образования в научном, научно-методическом, учебно-методическом, информационно-аналитическом обеспечении, т. е. «проблемного поля» её реформирования и развития.

Совмещение результатов этих анализов даст возможность выявить актуальные и необходимые для современной системы образования основания для избирательного поиска, отбора, классификации, выбора рационального объема и структуры наполнения, форм запроса и выдачи информации в рамках формируемой базы научных исследований открытого депозитария.

Такой подход создает условия для проектирования модели научного, научно-методического и информационно-аналитического обеспечения (научно-информационная модель), реализуемой через депозитарий, как параллельно действующей, но органичной составной части модели (кон-

цепции, программы) реформирования системы образования. Научно-информационная модель должна быть сконцентрирована на обеспечении научной, научно-методической, учебно-методической и аналитической информацией прежде всего решения фундаментальных и принципиальных проблем, лимитирующих реализацию основных направлений практических и научных работ по развитию образования.

В то же время необходимо обеспечить, чтобы содержание и структура наполнения депозитария проектировалось с учетом принципа целостности системы образования, являющегося фундаментальным принципом и обязательным требованием, которые необходимо соблюдать при разработке тех или иных компонентов для любого объекта и любой системы.

При возникновении противоречий между выдвинутыми требованиями и условиями в процессе проектирования депозитария (создания модели депозитария) необходим поиск компромиссных решений по критерию минимизации ущерба для развития системы образования и всех категорий пользователей базы научных исследований депозитария.

Состав и структура научно-исследовательских работ, научных проектов и их результатов, являющихся по своему характеру научными, информационно-аналитическими, научно-методическими и учебно-методическими, которые целесообразно отбирать для включения в открытый научный депозитарий, определяются рядом факторов, объективно вырастающих из сущности этих результатов. Эти факторы представляют собой достаточно широкий спектр требований и условий политического, социального, предметно-научного и научно-организационного характера. Только проанализировав влияние их совокупности на содержание депозитария, можно сформулировать подход к определению и формированию целесообразного перечня организаций, научные результаты которых следует включать в депозитарий, который является производным от перечня выбранных научных разработок, а затем и к составлению конкретных ретроспективных и перспективных перечней этих организаций.

На основе предложенного подхода к проектированию базы данных депозитария прежде

всего должен быть разработан обоснованный, современный и актуальный рубрикатор депозитария (содержательная структура базы научных исследований), который затем должен быть применен при его наполнении и эксплуатации.

Факторы (требования, условия), определяющие состав и структуру базы научных исследований депозитария, и, как следствие, перечень организаций для запроса или получения результатов НИР (НИОКР) для депозитария, можно определить двумя способами:

- анализом сущности, цели, задач и предназначения базы научных исследований депозитария;
- выявлением потребностей обслуживаемой системы (в данном случае системы образования) в научном и информационно-аналитическом обеспечении с привлечением в качестве критериев отбора содержания основополагающих законодательных, нормативных, программных, концептуальных документов, баз информации, аналогичных разрабатываемой, мировых перспективных тенденций развития образования.

Далее для выбора рациональных параметров депозитария необходимо провести сопоставительный анализ и последующий синтез данных о целесообразных составе и структуре научных исследований в депозитарии, полученных с использованием различных подходов, в сочетании с учетом масштабных факторов, а также ограничений, налагаемых техническими, организационными, кадровыми возможностями как при реализации проекта, так и при дальнейшем использовании депозитария. В частности, содержание научных, аналитических и информационных материалов предназначено и позволяет:

- обосновать значимость и важность того или иного научного направления и раздела и, следовательно, необходимость включения в рубрикатор (в структуру содержания базы научных исследований) депозитария соответствующей рубрики, а в базу научных исследований — включения НИР и проектов по этим направлениям и разделам;
- сформировать целостный оригинальный, обоснованный, актуальный, современный рубрикатор базы научных исследований в образовании;
- выявить перечень организаций, результаты научных исследований которых целесообразно собирать.

Кроме того, о создании настоящего депозитария должны быть проинформированы научные организации и учебные заведения, ведущие научные исследования в области образования, с целью представления результатов НИР для размещения в депозитарии.

Для выявления наиболее актуальных направлений и проблем в сфере образования с

целью определения на этой основе оптимальной структуры рубрик депозитария и их содержания, формирования перечня организаций, результаты которых могут быть рекомендованы для включения в депозитарий, необходимо установить и проанализировать соответствующие федеральные законодательные акты, концептуальные документы, программные документы, региональные программы развития образования, основные документы Болонского процесса.

Изучение концептуальных документов даст возможность сформулировать наиболее важные и перспективные направления и разделы научных исследований в соответствии с целями, задачами и положениями концепций.

Изучение целевых комплексных программ при наличии в них разделов научного обеспечения позволит не только сформулировать наиболее важные и перспективные направления и разделы научных исследований, но и установить тематику НИР и научных проектов, а также организации, обладающие информацией об их исполнителях.

Анализ научных и научно-технических программ Минобрнауки России, различных фондов, программ грантов Президента РФ необходим для того, чтобы выявить как актуальные направления научных исследований, так и тематику НИР, проектов и их исполнителей.

Результаты научно-исследовательских работ и научных проектов по проблемам образования, выполненных в рамках конкурсных научных программ федерального и отраслевого уровней, по грантам Президента РФ, а также различных фондов, и организации-исполнители должны быть, безусловно, включены в состав базы научных исследований депозитария, поскольку в ходе конкурсов экспертным путем подтверждены их актуальность, высокая научная и практическая значимость для решения приоритетных задач образования, высокая квалификация кадрового потенциала (исполнителей), а в ходе промежуточного контроля выполнения работ и приемки отчетов и продукции подтверждено высокое качество полученных в них результатов.

Обязательным источником формирования базы научных исследований в образовании должны стать зарекомендовавшие себя авторитетными научными центрами в области образования ведущие научные организации и учебные заведения, которые должны быть выбраны экспертным путем. В качестве претендентов на включение в их число целесообразно рассмотреть научно-исследовательские институты Российской академии образования, ведущие педагогические высшие учебные заведения и классические университеты, Высшую школу экономики, Федеральный институт развития об-

разования, базовые средние специальные учебные заведения и учебные заведения начального профессионального образования и ряд других.

Анализ обширного опыта построения баз данных в разных областях научных исследований, образования, отраслях промышленности, бизнеса и т. д., в частности депозитариев электронных изданий, библиотек-депозитариев, показал, что в первую очередь структура депозитария должна обеспечивать выполнение трех существенных условий:

- возможность получения описательной информации об общественно значимых проектах ведущих компаний или организаций;
- обмен профессиональным опытом;
- доступ к публичной информации, полученной непосредственно от компании или организации.

Исследование каталога «Российские базы данных» **Федерального государственного унитарного предприятия Научно-технический центр «Информрегистр» (ФГУП НТЦ «Информрегистр»)** показало, что общее количество реквизитов описания элемента информационного ресурса изменяется в широких пределах: от 8 до 250 (наиболее часто встречающиеся значения — от 50 до 100), а количество полей в одной записи обычно не превышает 15–20). При этом общий объем ресурса в мегабайтах обычно изменяется от 1 до 10 мегабайт, а объем ресурса в тысячах записей — от 0,1 до 5.

Эффективность работы с любой реляционной базой данных зависит от продуманного разбиения данных на отдельные таблицы. Для построения базы данных научных исследований в образовании можно рекомендовать структуру, состоящую из нескольких относительно небольших таблиц, что дает возможность для более простого изменения и расширения структуры данных, обеспечивает их быстрое обновление, при этом важно рассмотреть и отразить в модели все логические взаимосвязи, устранить избыточность данных.

Выбор методов классификации объектов должен обеспечивать выполнение требования полноты охвата объектов рассматриваемой области, однозначности реквизитов и возможности включения новых объектов.

Научные исследования, проводимые в образовании, необходимо сгруппировать и распределить по классам в соответствии с определенными признаками. Информация о каждом научном исследовании должна быть систематизирована и представлена посредством одинаковых реквизитов.

Для эффективного функционирования базы данных большое значение имеет выбранный механизм сбора исходных данных, в частности

рационально составленная карта (анкета) сбора информации.

Основываясь на анализе источников отчетной информации по научным исследованиям в области образования и обобщении анкет для предоставления информации в депозитарии и базы данных научных исследований по видам работ, рекомендуем следующие позиции реквизитов:

1. Раздел рубрикатора
  2. Вид источника научной информации
  3. Основание для выполнения работы
  4. Наименование научно-исследовательской работы, проекта
  5. Регион
  6. Организация-исполнитель
    - 6.1. Наименование
    - 6.2. Адрес
    - 6.3. Телефон
    - 6.4. Web-сайт
  7. Организации-соисполнители
  8. Научный руководитель
    - 8.1. ФИО
    - 8.2. Ученая степень,
    - 8.3. Ученое звание
    - 8.4. E-mail
    - 8.5. Телефон
  9. ГРНТИ
  10. УДК
  11. Год выполнения работы
  12. Объем финансирования
  13. Источники финансирования
  14. Уровень образования
  15. Полнота представляемой информации
    - 15.1. Реферат
    - 15.2. Аннотация
    - 15.3. Выводы
  16. Цель исследования
  17. Задачи исследования
  18. Используемые методы
  19. Надежность результата
  20. Научная продукция
    - 20.1. Наименование
    - 20.2. Краткое описание
  21. Публикации, отражающие содержание научного результата
    - 21.1. Наименование
    - 21.2. ФИО авторов
    - 21.3. Место публикации
    - 21.4. Год публикации
  22. Внедрение результатов НИР
- О создании открытого депозитария научных исследований в сфере образования должны быть проинформированы научные организации и учебные заведения, ведущие научные исследования в области образования, с целью представления результатов НИР для размещения в депозитарии.