

**ВЫСОКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ
В НАЦИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
УНИВЕРСИТЕТАХ**

Том 3



Санкт-Петербург
Издательство Политехнического университета
2013

Министерство образования и науки Российской Федерации		
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет		
Координационный совет Учебно-методических объединений и Научно-методических советов Минобрнауки России	Учебно-методическое объединение вузов России по университетскому политехническому образованию	
Комиссия по образованию Санкт-Петербургского научного центра Российской академии наук		
Ассоциация технических университетов	Международная академия наук высшей школы	Ассоциация технических университетов России и Китая

**ВЫСОКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ
В НАЦИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
УНИВЕРСИТЕТАХ**

*Материалы Международной
научно-методической конференции*

28 февраля – 1 марта 2013 года

Том 3

**Интеллектуальные технологии формирования
профессиональных компетенций**

Санкт-Петербург
Издательство Политехнического университета
2013

УДК 378.1

Высокие интеллектуальные технологии и инновации в национальных исследовательских университетах. Материалы Международной научно-методической конференции. 28 февраля – 1 марта 2013 года, Санкт-Петербург. Том 3. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. - 175 с.

Приоритетными направлениями конференции являются: методическая подготовка к реализации нового Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» и федеральных государственных образовательных стандартов в системе высшего профессионального образования России.

В сборнике представлены материалы, отражающие опыт вузов в проектировании педагогических интеллектуальных технологий, основных образовательных программ на основе ФГОС ВПО, технологий управления качеством и информационных технологий.

Материалы издаются в авторской редакции.

Ответственность за содержание тезисов возлагается на авторов.

ISBN

© Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет, 2013

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

- А. И. Рудской (председатель) – ректор ФГБОУ ВПО «СПбГПУ», член-корреспондент РАН
- Ю. С. Васильев (сопредседатель) – президент ФГБОУ ВПО «СПбГПУ», академик РАН
- А. И. Боровков (зам. председателя) – проректор ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»
- В. Н. Козлов (зам. председателя) – заместитель председателя Совета УМО по университетскому политехническому образованию
- П. И. Романов (ученый секретарь) – директор НМЦ УМО ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»

ЧЛЕНЫ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА

- А. В. Белоцерковский – ректор Тверского государственного университета (по согласованию)
- М. Б. Гузаиров – ректор Уфимского государственного авиационного технического университета (по согласованию)
- М. М. Благовещенская – проректор Московского государственного университета пищевых производств (по согласованию)
- В. В. Изранцев – ученый секретарь Санкт-Петербургского отделения МАН ВШ, проректор Международного банковского института (по согласованию)
- С. В. Коршунов – заместитель председателя Совета УМО по университетскому политехническому образованию, проректор Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана (по согласованию)
- В. Н. Кошелев – первый проректор по учебной работе Российского государственного университета нефти и газа им. И. М. Губкина (по согласованию)
- В. Л. Петров – проректор Московского государственного горного университета (по согласованию)
- Н. М. Розина – проректор Финансового университета при Правительстве Российской Федерации (по согласованию)
- В. И. Хименко – первый проректор Санкт-Петербургского государственного аэрокосмического приборостроения (по согласованию)
- А. А. Шехонин – проректор Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики (по согласованию)
- Н. Ю. Егорова – заместитель директора НМЦ УМО ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»

СЕКЦИЯ 5

Компетенции и технологии профессиональных дисциплин

ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ В ОБУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНАМ ГЕОМЕТРО-ГРАФИЧЕСКОГО ЦИКЛА

Афанасьева И. Б., Бежанова А. И., Димент Л. И., Меркулова О. В.
*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Информационно-образовательная среда — это образовательное пространство, заполненное программным обеспечением и предназначенное для повышения эффективности и качества обучения. Структура и содержание информационно-образовательной среды должны быть в первую очередь ориентированы на совместную деятельность участников образовательного процесса. Большинство образовательных ресурсов направлено на реализацию дифференцированного подхода — учета индивидуально-типологических особенностей студентов. Каждый преподаватель пытается реализовать собственное видение способа представления учебной информации для облегчения ее понимания всеми студентами.

На наш взгляд, структура информационно-образовательной среды должна содержать следующие компоненты: — лекцию как основу представления теоретического учебного материала (одной из главных задач лектора является обоснование и выделение логических связей ключевых понятий и алгоритмов, определений — именно на эти аспекты студенты не всегда обращают внимание в самостоятельной работе); — практическую учебно-познавательную деятельность на основе системы дидактического обеспечения, учитывающую индивидуально-типологические особенности студентов; — учебную литературу, поддерживающую все этапы обучения,

в свободном доступе; — системы графического автоматизированного проектирования наряду с традиционным инструментарием.

Серьезной проблемой является обоснование выбора графического пакета, используемого на этапе начального обучения основам инженерной графики. В настоящее время на кафедрах, осуществляющих инженерно-графическую подготовку, используются различные системы автоматизированного проектирования. Преподаватели, разрешающие применение их в качестве чертежного инструмента при выполнении индивидуальных заданий по инженерной графике, зачастую ограничивают студенту свободу выбора инструментария. При этом одновременное использование различных систем при выполнении студентами графических работ значительно замедляет и усложняет деятельность преподавателя.

Таким образом, для формирования информационно-образовательной среды в обучении дисциплинам геометро-графического цикла мы считаем необходимым оптимальное соотношение традиционных и инновационных технологий в учебном процессе.

АКТИВИЗАЦИЯ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА ВУЗА

Ахмедьянова Г. Ф., Пищухин А. М., Тугов В. В.

Оренбургский государственный университет

Для современной системы высшего образования характерны тенденции усиления теоретических изысканий по созданию новой педагогической парадигмы, основанной на принципах гуманистического и личностно-ориентированного подходов; пересмотр традиционных образовательных моделей и увеличение комплекса новейших технологий, основанных на широком использовании индивидуальных, дистанционных и активных форм обучения с целью сокращения аудиторного времени, предоставления студентам условий для самостоятельных занятий, получения и переработки информации, ведения самостоятельных научных исследований. Решение этих задач осуществляется посредством поиска содержания, форм, методов и средств активизации самостоятельной познавательной

деятельности, обеспечивающих более широкие возможности развития, саморазвития и самореализации личности.

Ученые определяют активизацию познавательной деятельности студентов как умение и стремление творчески подходить к окружающей действительности, что обеспечивает успех и придает учебному труду студентов характер самостоятельного и творческого поиска истины (И. Я. Лернер, П. И. Пидкасистый, Н. А. Половникова и др.).

Новая парадигма образования предопределяет смену приоритетов — с традиционного усвоения готовых знаний в ходе лекционно-семинарских занятий на самостоятельную активную познавательную деятельность каждого студента. При такой организации учебного процесса педагогу отводится роль компетентного консультанта, менеджера самостоятельной активной познавательной деятельности студентов.

Проблема активизации самостоятельной работы студентов в процессе профессиональной подготовки представляется нам особо актуальной и в связи с тем, что за последние десятилетия в образовательный процесс все более глубоко проникают информационные технологии, базирующиеся на технических достижениях, таких как персональные компьютеры, мультимедийное оборудование, глобальные телекоммуникационные сети Internet. Компьютерные телекоммуникации способствуют созданию познавательной среды, используемой для решения различных дидактических задач (познавательных, информационных и т. д.). Главной особенностью данной среды является то, что она пригодна как для массового, так и для индивидуального обучения и самообучения.

Сложный многоаспектный и многоуровневый процесс активизации самостоятельной работы студентов проходит более успешно при разработке и внедрении соответствующей модели. Модель активизации самостоятельной работы студентов строится на основе обеспечения процесса образования и самообразования, его содержания, форм, методов; интеграции целей, задач и функций самостоятельной работы; связей между всеми блоками модели с учетом поэтапного перехода исследуемого процесса на более высокий уровень.

Модель зависит от вида самостоятельной работы, используемого в педагогическом процессе. Большинство дидактов и методистов проводят

классификацию самостоятельных работ /1/ либо по степени самостоятельности, выделяя такие виды, как работы по подражанию, тренировочные работы, упражнения, работы творческого характера и др. Их характер обычно предопределяется источником знания. Либо по дидактическому назначению — самостоятельные работы для получения новых знаний или для повторения и проверки знаний, умений и навыков.

Следовательно, исходным принципом классификации служит степень самостоятельности и творчества учащихся при выполнении самостоятельной работы. С этой точки зрения можно разделить самостоятельные работы на:

- 1) воспроизводящие по образцу;
- 2) реконструктивно-вариативные;
- 3) частично-поисковые или эвристические;
- 4) исследовательские (творческие).

«Типы самостоятельных работ тесно связаны и взаимообусловлены. Тот или иной тип самостоятельной работы в реальном процессе обучения — носитель целого ряда элементов, составляющих содержание познавательной деятельности ученика, характерных и для самостоятельных работ другого типа. В этом выражается преемственность между типами самостоятельных работ, которая по сути дела является основой и для обеспечения оптимального усвоения учащимися знаний, и для развития их творческих способностей, овладения опытом творческой деятельности» (2, с. 104).

Обучение самостоятельной работе является одной из сторон научной организации труда, как студентов, так и преподавателей. Для активизации и систематизации этого обучения необходима соответствующая модель, как идеал самостоятельной деятельности. Без этого трудно рассчитывать на положительные результаты.

Таким образом, самостоятельная работа должна осуществляться студентами как познавательная деятельность, стать средством развития профессионально-личностных качеств, таких как самостоятельность, инициативность, креативность.

Список литературы:

1. Агибова И. М., Куликова Т. А. Самостоятельная работа студентов в вузе: виды, формы, классификации Вестник Ставропольского государственного университета 2010 г.

2. Пидкасистый П. И. Организация учебно-познавательной деятельности студентов. — М.: Педагогическое общество России, 2005.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ФУНКЦИЙ УПРАВЛЯЮЩИХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ

Ахметвалеева Л. В.

*Казанский государственный
энергетический университет*

В настоящее время возможности традиционных форм обучения значительно расширяются за счет применения новых технологий. Инновационные формы особенно актуальны при изучении современных электронных устройств, проектировании и создании микропроцессорных систем управления.

Большинство задач управления, возлагаемые на микропроцессорные системы, должны выполняться в реальном времени. Управление в реальном масштабе времени означает способность микропроцессорной системы получить информацию о состоянии управляемого объекта, выполнить необходимые расчеты и сформировать управляющие воздействия в течение интервала времени, по истечении которого эти воздействия вызовут желаемое изменение поведения объекта [1].

Возможность использования того или иного микроконтроллера для управления конкретным устройством в реальном времени определяется в первую очередь производительностью процессорного ядра, так как микроконтроллер должен успеть за строго ограниченное время выполнить расчет корректирующего воздействия. Однако только высокой производительности не достаточно. Необходимо организовать прием информации с датчиков и выдачу управляющих сигналов таким образом, чтобы при сохранении требуемой точности на эти операции расходовалось как можно

меньше времени. В противном случае не останется времени для выполнения вычислений.

Эффективное распределение задач управления между различными модулями микроконтроллера обеспечивает возможность качественного управления в реальном времени. Для решения этих задач, в первую очередь используются подсистема прерываний и модуль таймера/счетчика или процессор событий. Развитая подсистема прерываний позволяет сократить время реакции управляющей системы на изменения состояния объекта. Процессор событий служит для приема информации от датчиков с времяимпульсным выходом, а также для формирования управляющих воздействий в виде последовательности импульсов с изменяющимися параметрами.

Проектирование, программирование, создание систем реального времени на основе микроконтроллера требует наличие большого опыта и значительного задела практической работы с ними. Эффективность функционирования таких систем определяется оптимальным выбором компонентов, встроенных средств используемых микроконтроллеров, а также методов и способов реализации и программирования временных функций. К типовым временным функциям относятся отсчет равных интервалов времени заданной длительности, контроль и измерение параметров входных сигналов (режим входного захвата), формирование выходных импульсных сигналов, последовательности импульсов с программируемой частотой (режим выходного сравнения) и программируемым коэффициентом заполнения (ШИМ- режим) [1].

Предлагаемая нами разработка представляет собой программные средства, моделирующие выполнение широкого спектра временных функций для исследования режимов работы встроенного процессора событий *TIM08* универсального восьмиразрядного микроконтроллера *MC68HC908GP32* фирмы *Motorola*. Программное обеспечение написано на языке ассемблера, отлажено в интегрированной среде разработки *Win IDE ICS08*.

Исследования проводились в лаборатории микропроцессорной техники кафедры Промышленная электроника Казанского государственного энергетического университета. Лабораторный стенд представляет собой

программно-аппаратный комплекс, состоящий из ПК и стартового набора разработчика *Starter Kit* -отлаженной производителем специальной платы со стандартным набором устройств на базе микроконтроллера *MC68HC908GP32* фирмы *Motorola*, а также дополнительной платы расширения, предназначенной для отображения результатов исследования и тестирования основных режимов процессора событий *TIM08*. Она состоит из блока светодиодной индикации и блока переключения режимов. Блок светодиодной индикации включает в себя линейку светоизлучающих диодов, многоразрядный семисегментный индикатор и набор *RGB*-светодиодов.

Как показали исследования, разработанные программные средства обеспечивают достаточно подробное и глубокое изучение возможностей встроенных модулей таймера/счетчика и процессора событий микроконтроллеров, формируют начальные навыки программирования на языке ассемблера, наглядно демонстрируют алгоритмы реализации типовых временных функций управляющих систем.

Литература:

1. Крейдл Х., Куприс Г., Ремизевич Т. В., Панфилов Д. И. Работа с микроконтроллерами семейства HC(S)08/под ред. Д. И. Панфилова. — М.: Изд-во МЭИ, 2005. — 444 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ САПР В ОБУЧЕНИИ — ОСНОВА РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Балтруков Н. Н., Скворцов А. Н., Никитин А. А.
*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Современная концепция проектирования сложных электронных систем, предусматривает широкое использование систем автоматизированного проектирования, обеспечивающих реализацию проекта на разном технологическом уровне:

- в виде печатной платы (PCB-design),

- в виде интегральной схемы (IC-design) различной степени интеграции от средней (СИС) до уровня сверхбольшой (СБИС).

Последние, позволяют выполнять проекты систем на кристалле (SOC) различного назначения, востребованные в настоящее время на рынке.

ФГОС предъявляет к специалисту в области проектирования современных электронных систем (бакалавру, а в дальнейшем к — магистру) достаточно полный перечень базовых знаний, умений и навыков. Однако, наполнение последних содержанием тесно связано с особенностями инструментальных и программных средств, используемых в процессе обучения.

Традиционно в процессе обучения бакалавров связанных с проектированием электронных систем для закрепления теоретического материала используется лабораторный практикум на основе натурального эксперимента. Такой подход обеспечивает получение практических навыков постановки эксперимента по тестированию и отладке электронных устройств. Однако, требует существенных затрат на приобретение и обслуживание лабораторных контрольно-испытательных комплексов.

Машинный эксперимент, в области изучения смешанной аналого-цифровой электроники, обладает на первый взгляд определенной привлекательностью. В частности, гибкостью в постановке задач и перечня объектов исследования, меньшими затратами на организацию рабочего места студента, учитывая относительную доступность средств вычислительной техники и различных симуляторов электронной лаборатории. Однако, при таком подходе очень часто «игровой момент» присущий всем симуляторам нивелирует данные достоинства. Кроме того, в ряде случаев интерпретация результатов моделирования зачастую требует привлечение знаний более высокого уровня.

Многолетний опыт преподавания базовых дисциплин «Теоретическая электротехника», «Электроника и схемотехника» на кафедре «Компьютерные системы и программные технологии» (КСиПТ) показал, что в данной области должен быть установлен определенный компромисс. Он предполагает:

- сохранение на первом этапе обучения натурального эксперимента, как основы для закрепления теоретического материала и адекватности принятия решений в дальнейшем;

- на втором этапе использование машинного эксперимента для расширения области изучения и получения практических навыков работы с системами автоматизированного проектирования.

На взгляд авторов очень важным является уровень используемых на втором этапе обучения программных средств и систем. Различные симуляторы электронных лабораторий или «учебные САПР», в целом покрывают задачи обучения, но полученные навыки и умения не соответствуют современному уровню, предъявляемому к проектировщику электронной аппаратуры.

Существует ограниченный перечень зарубежных фирм занимающих лидирующие позиции в области САПР электронных систем на различном технологическом уровне, умение и навыки работы в которых для специалистов являются критерием профессиональной пригодности и основой для решения в дальнейшем инновационных задач. В частности, компании Cadence, Mentor Graphics, Synopsys, предоставляют САПР электронных систем различной сложности, ориентируемые на различные технологические приложения, взаимно дополняя друг друга.

Коммерческое использование данных продуктов сопряжено с очень высокими затратами, однако использование их в системе подготовки кадров, даже с учетом ряда ограничений, является вполне приемлемым вариантом для университетов, в особенности имеющих статус национальных исследовательских центров России. Реализация этой концепции достижения через участие вузов в программе «Евро-Практика».

На кафедре КСиПТ для постановки машинного эксперимента в области изучения объектов электротехники, аналого-цифровой электроники используются программные продукты компании Cadence, полученные в рамках программы «Евро-Практика».

Компанией Cadence выпускаются две основные линейки продуктов:

- Cadence Allegro, обеспечивающих полный спектр проектных процедур ориентированных на решение задач технологического уровня PCB-design, а также анализа схемотехнического (транзисторного) уровня фрагментов IC-design;

- Cadence Virtuoso, реализующую автоматизацию всех этапов проектирования иерархически сложных систем в рамках проекта IC-design с различной степенью интеграции.

Первая линейка продуктов — Cadence Allegro с избытком обеспечивает постановку машинного эксперимента для закрепления теоретических знаний учебных курсов бакалаврской подготовки по направлению «Информатика и вычислительная техника» с профилем «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети». При этом прививает студенту навыки и умения свойственные пользователям профессиональных систем САПР.

Вторая линейка продуктов — Cadence Virtuoso, сохраняя преемственность подхода, обеспечивает подготовку студентов в рамках магистерской программы «Проектирования программно-аппаратных средств вычислительной техники» ориентированных на разработку электронных систем различной сложности включая системы на субмикронном уровне.

Таким образом, используемый на кафедре КСиПТ подход в обучении разработчиков сложных электронных систем позволяет выпускать специалистов полностью подготовленных, как для решения современных практических задач, так и способных разрабатывать наукоемкие, инновационные проекты в данной области.

МЕХАНОХИМИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Бальмаков М. Д.

Санкт-Петербургский государственный университет

Блинов Л. Н.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Механохимия изучает влияние упругих и пластических деформаций на реакционную способность. Механохимические реакции обусловлены не только непосредственным действием упругих напряжений, но и процессами релаксации упругой энергии. Микроскопическим механизмам данных процессов в литературе уделено мало внимания, что можно объяснить трудностями как их теоретического, так и экспериментального изучения

[1-2]. Интенсивное развитие в последнее время механохимии стало возможным благодаря фундаментальным исследованиям и синтезу принципиально новых функциональных материалов, например, сверхпроводящей керамики.

Границы механохимии постоянно расширяются. Так, методология механохимии фактически была использована при создании сканирующего туннельного микроскопа, который за счет механического перемещения иглы «способен» «капать» любые атомы, в любом числе на любые грани, ребра, террасы любого кристалла ...» [3, с. 105]. Наконец, с помощью скотча за счет механического воздействия был получен из графита графен, за что была присуждена Нобелевская премия [4].

Энтропия управления S_g , используемых в механохимии методик, как правило, существенно меньше максимально возможного значения $\ln G$

$$0 \leq S_g \leq \ln G, \quad (1)$$

здесь G число различных стабильных структурных модификаций синтезируемой наносистемы из M атомов. С увеличением M величина G экспоненциально быстро возрастает

$$G \sim \exp(\beta_n M) \quad (2)$$

Численные значения параметра β_n (2) обычно отличаются от $\ln 2 \approx 0,69$ меньше, чем на порядок [5].

Используемые в механохимии методики фактически оперируют с ограниченным числом G_s структурных модификаций. Поэтому выполняются неравенства

$$S_g \leq \ln G_s \ll \ln G. \quad (3)$$

Проиллюстрируем справедливость неравенств (3) на примере механомодифицирования. материалы состава AgI (рис. 1).

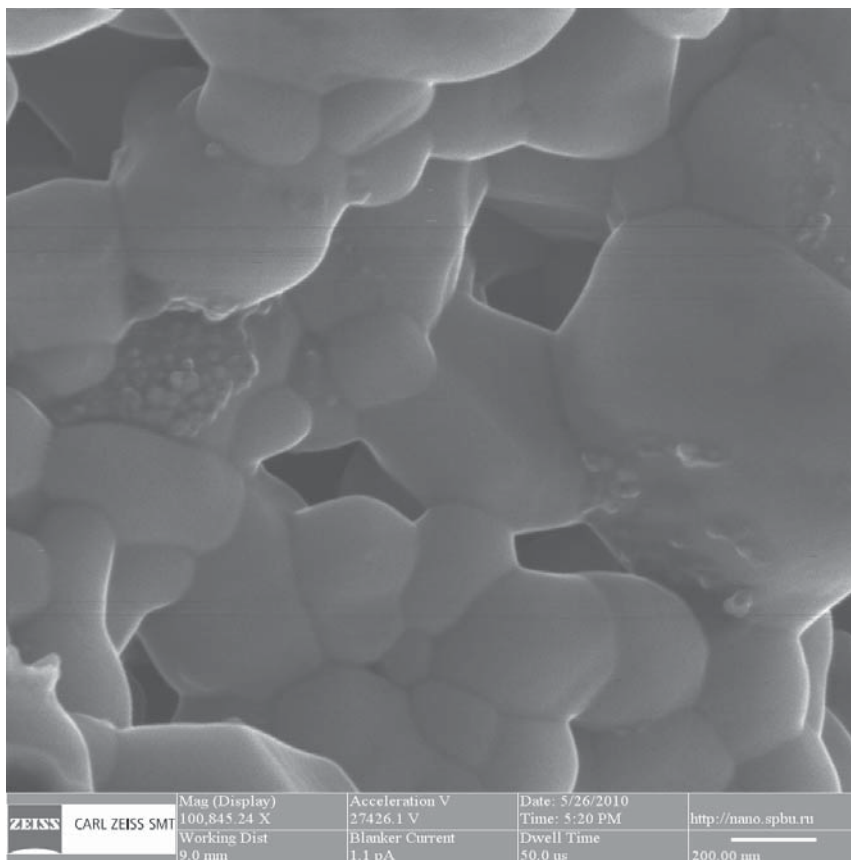


Рис. 1. Исходный до механомодифицирования материал состава AgI .
Изображение получено с помощью сканирующего электронного микроскопа Zeiss Supra 40VP с полевым катодом

В результате механомодифицирования исходного материала его текстура существенно меняется (рис. 2). В основном, модифицируется структура поверхностного слоя нанофрагментов. Это ограничивает по сравнению с G (1-3) число G_s потенциально возможных структурных модификаций, реализующихся в ходе синтеза

$$G_s \sim \exp(\beta_n M \chi \delta / d) \quad (4)$$

Здесь δ — толщина поверхностного слоя, d — средний диаметр частиц. Множитель $\chi \geq 6$, учитывающий форму частиц, свое минимальное значение, равное 6, данный множитель принимает в случае сферических частиц.

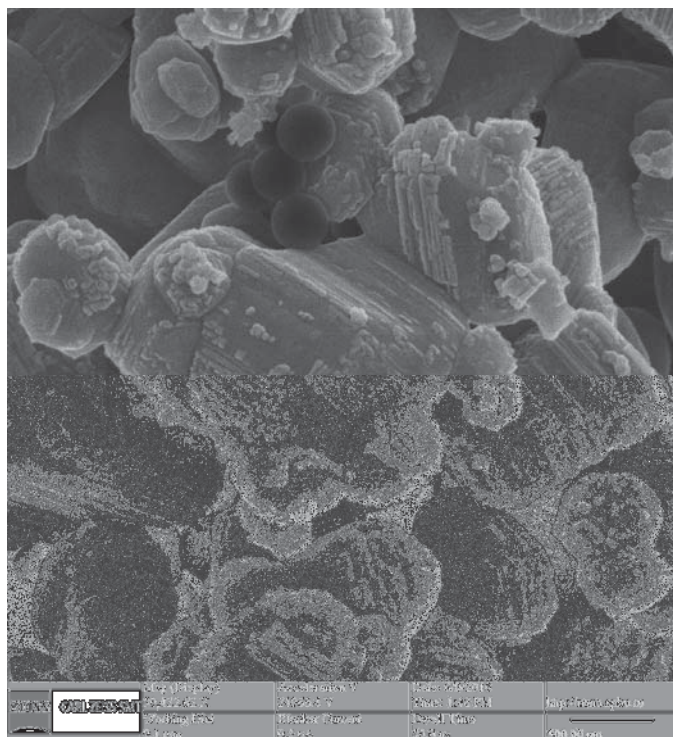


Рис. 2. Наноструктурированный материал состава AgI , механомодифицированный в вибрационной мельнице *VIBRATOR GM – 945 B*

Как следует из рис. 1 и рис. 2

$$\delta / d \ll 1. \quad (5)$$

Из (2, 4, 5) непосредственно следуют соотношения

$$S_g \leq \beta_n M \chi \delta / d = \ln G_s \ll \ln G = \beta_n M, \quad (6)$$

подтверждающие справедливость неравенств (3).

Таким образом, использование методик механохимии позволяет существенно уменьшить энтропию управления. Это важно для разработки нанотехнологий, достаточно точно воспроизводящих физико-химические свойства наноструктурированных функциональных материалов [6].

Список литературы:

1. *Бутягин П. Ю.* Проблемы и перспективы развития механохимии. // *Успехи химии*, 1994, т. 63, № 12, С. 1031–1043.
2. *Болдырев В. В.* Механохимия и механическая активация твердых веществ. // *Успехи химии*. 2006. Т. 75, № 3, С. 203-216.

3. Бучаченко А. Л. Химия на рубеже веков: свершения и прогнозы // Успехи химии. 1999. Т. 68, № 2. С. 99 - 118.

4. Meyer J. C., Geim A. K., Katsnelson M. I., Novoselov K. S., Obergefell D., Roth S., Girit C., Zettl A. On the roughness of single- and bi-layer graphene membranes // Solid State Communications 2007. V. 143. P. 101-109.

5. Бальмаков М. Д. Информационная емкость конденсированных сред // УФН. 1999. Т. 169. № 11. С. 1273 - 1280.

6. Музалевский А. А., Федоров М. П., Блинов Л. Н. Нанохимия и наноматериалы: экологические аспекты и риски // Материалы VII Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы. СПб., Изд-во Политехн. ун-та, 2008. С. 38-47.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АГРЕГАЦИИ НАНОЧАСТИЦ

Безрукова А. Г.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Бурное развитие нанотехнологий заставляет задуматься о последствиях увеличения концентрации токсических наночастиц в природных 3D дисперсных системах (ДС, дисперсии, коллоиды, воздух, вода, кровь и т. д.). Одной из важных проблем фундаментальных исследований природных 3D ДС является контроль агрегации наночастиц, при которой могут образовываться агрегаты (агломераты) различной формы микронного размера и однородного или смешанного состава. Оптические данные в комплексе с данными других методов могут дать ценную информацию о взаимодействиях внутри 3D ДС и для on-line контроля их состояния. При решении прямой оптической задачи используются методы математического моделирования. Лидером в этой области является Институт Исследований Космического Пространства (*Goddard Institute of Space Science — GISS* [1]) имени американского теоретика в области ракетно-космической техники, изобретателя и экспериментатора — Роберта Х. Годдара (1882–1945). GISS входит в состав Национального Управления по Воздухоплаванию и Исследованию Космического Пространства (*National Aeronautics*

and Space Administration, NASA). Для расчета электромагнитного поля используются различные методы и их модификации (*discrete dipole approximation — DDA, volume integral equation formulation — VIEF, extended boundary condition method or null field method — EBCM or NFM* и другие). EBCM (метод расширенных граничных условий) или так называемый метод Т-матриц впервые был предложен Питером Уотерманом (P. C. Waterman, 1928-2012) в 1965-1970 годах для решения задачи рассеяния света на однородной одиночной частице произвольных параметров (формы, размера и оптических постоянных). На данный момент методом Т-матриц можно решать задачи определения рассеянного и внутреннего полей в любой точке пространства для оптически неоднородных рассеивателей и, что особенно важно, для агрегатов рассеивателей. На сайте GISS [1] опубликованы коды расчета электромагнитного поля для разных моделей. Материалы исследований, проводимых в GISS, используются при подготовке магистров по программам направлений «140400 — Техническая физика» и «010600 — Прикладные математика и физика».

Литература:

1. NASA GISS: www.giss.nasa.gov/staff/mmishchenko/t_matrix.html
T-Matrix Codes for Computing Electromagnetic Scattering. This webpage is dedicated to the creator of the T-matrix method Peter Waterman.

ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС

Бердников А. Я., Головин А. В.,
Голиков И. Г., Котов Д. О.
*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

В соответствии с ФГОС, магистр по направлению «Физика» должен обладать способностью использовать знания современных проблем физики, новейших достижений физики в своей научно-исследовательской деятельности. Поэтому подготовка магистров по направлению «Физика» невозможна без постоянного совершенствования образовательной про-

граммы с целью использования новейших результатов научных исследований в учебном процессе.

На кафедре «Экспериментальная ядерная физика» с 2010 г. по настоящее время в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы выполняется ряд работ по физике высоких энергий. Результаты НИР использованы при разработке в соответствии с ФГОС рабочих программ дисциплин магистерской программы «Физика ядра и элементарных частиц» («Физика высоких энергий», «Введение в стандартную модель элементарных частиц», «Введение в квантовую хромодинамику высоких энергий», «Введение в теорию ядерных реакций», «Физика ядерных взаимодействий»). Также результаты НИР применяются для ежегодной модернизации лабораторного практикума, курсов лекций, практических занятий, разработки заданий для курсовых проектов. В лабораторном практикуме (дисциплины «Специальный физический практикум» и «НИР магистра в лабораториях ядерной физики и физики высоких энергий») и при выполнении курсовых проектов используются новые методики проектирования ядерно-физических экспериментов и моделирования ядерных процессов, разработанные при выполнении НИР.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, соглашение 14.В37.21.1300.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ ECLIPSE В ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Бердников Я. А., Сафонов А. С., Суетин Д. П.
*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Обучение в рамках магистерской программы «Физика атомного ядра и элементарных частиц» требует активного вовлечения студентов в фундаментальные исследования мирового уровня. Это предполагает умение работать с вычислительными ресурсами и программными пакетами, используемыми крупнейшими международными коллаборациями. Доступ

студентов к мировым вычислительным центрам зачастую ограничен. Цель данной работы — разработка корректно работающих кроссплатформенных портативных проектов в среде Eclipse для использования на вычислительных средствах университета.

Широко распространенным программным комплексом, используемым при проектировании ядерно-физических экспериментов, детекторных систем, томографических и интроскопических устройств, ускорительной техники и т. д. является пакет GEANT4. Помимо этого широко используются пакет STARlight (моделирование ультрапериферических столкновений ядер при ультрарелятивистских энергиях), пакет HIJING (моделирование столкновений тяжелых ионов), пакет HARDPING (моделирование лептон-ядерных взаимодействий) и пакет обработки данных ROOT.

В результате были разработаны корректно работающие кроссплатформенные портативные проекты GEANT4, STARlight, HIJING, HARDPING и ROOT в среде Eclipse.

Таким образом, получена возможность быстрого и легкого тиражирования рассмотренных выше программных комплексов для использования в лабораторном вычислительном практикуме и самостоятельной работе студентов.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, Соглашение 14.В37.21.1300.

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УДАЛЕННОЙ АУДИТОРИИ

Боброва Л. В., Курунова Е. В.

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

Совершенствование качества и эффективности высшего образования привели к формированию общероссийской системы контроля и оценки качества обучения. В Северо-Западном государственном заочном техническом университете (СЗТУ), в течение шести лет осуществлялась работа по проведению всех видов учебных занятий для распределенной аудитории. Чтение лекций осуществляется путем трансляции презентаций через сети Интернета с использованием программы Adobe Acrobat Connect Pro. В

этом случае преподаватель находится в специально оборудованной аудитории в Санкт-Петербурге, а студенты — в аудитории филиала, снабженной компьютером, проектором, экраном и микрофоном для организации обратной связи. Для активизации работы студентов использовалась балльно-рейтинговая система. Текущий контроль знаний студентов осуществлялся следующим образом:

- Блиц-опросы на лекции. После изложения фрагмента теоретического материала и разбора примеров на данную тему студентам предлагается решить аналогичную задачу;

- Индивидуальный текущий контроль. В конце лекции 15 минут отводится на индивидуальное тестирование. Каждый студент получал 4-5 индивидуальных задач (для удаленной аудитории варианты заданий за час до лекции высылаются по электронной почте и распечатываются методистами);

- Контроль на практических занятиях. Оценивались работа каждого студента и результаты тестирования в конце занятия.

- Контроль на лабораторных работах.

Результаты контрольных мероприятий (зачетов и экзаменов), проведенных с использованием аналогичной методики, продемонстрировали успеваемость такого же уровня, как при стационарной работе преподавателя на филиале. Такая статистика позволяет говорить о перспективности предложенной методики для удаленной аудитории.

ВНЕДРЕНИЕ БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ: ПЛЮСЫ И МИНУСЫ

Боброва Л. В., Машкара Л. В.

*Национальный минерально-сырьевой
университет «Горный»*

Процесс интеграции отечественной системы высшего профессионального образования в международное образовательное пространство привел к необходимости обновления его содержания и методологии, разработке единой внешней и внутренней системы контроля и оценки знаний студентов — балльно-рейтинговой системы (БРС).

В основу БРС положены: модульная структура дисциплин; организация текущего, промежуточного и итогового контроля; накопление баллов студента по дисциплине с учетом всех видов учебной работы; определение рейтингов студентов по группам и курсам; публикация рейтингов.

Внедрение БРС имеет как положительные, так и отрицательные стороны. К плюсам введения модульной системы следует отнести:

- систематический характер работы студентов в течение семестра;
- повышение качества полученных знаний за счет постоянного усвоения отдельных «порций» информации;
- снижение субъективности в оценке знаний, что признается как преподавателями, так и студентами;
- повышение мотивации студента к регулярному посещению занятий и получению знаний.

Однако опыт использования БРС высветил и ее отрицательные стороны:

- существенно увеличивается нагрузка преподавателей при подготовке большого числа тестов и проверке их;
- уменьшается время передачи знаний в сторону их контроля;
- сложно решать проблему с компенсацией пропущенных студентом по уважительной причине занятий.

Все эти проблемы еще предстоит решать вузам и преподавателям при реализации ФГОС в высшей школе.

НЕОБХОДИМОСТЬ В СБОРНЫХ КОНТЕЙНЕРАХ НА ЮЖНО-УРАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Гаганова Е. А.

*Челябинский институт
путей сообщения — филиал Уральского государственного
университета путей сообщения, г. Челябинск*

Южно-Уральский полигон имеет достаточно выгодное транзитное географическое расположение, а также значительное количество промышленных ресурсов благополучно экспортируемых за пределы нашей страны. Одним из наиболее развивающихся направлений транспортировки грузов,

позволяющее унифицировать и оптимизировать процесс перевозки грузов, а также обеспечить их сохранность в пути следования, стоит признать контейнеризацию грузов на РЖД.

Лидером контейнерного российского рынка на железнодорожном транспорте является ОАО «ТрансКонтейнер» — дочерняя компания ОАО «РЖД», на балансе которой состоит 48 тыс. универсальных контейнеров, 24 тыс. фитинговых платформ и 47 контейнерных терминалов [3].

Итоги контейнерных перевозок в 2011 году в целом по ОАО «ТрансКонтейнер» показали увеличение погрузки в среднем на 20 % к показателям 2010 года, а объем терминальной переработки транзита — на 15 % [1].

Крупнейший терминал на Южно-Уральской железной дороге находится на станции Челябинск-Грузовой, обеспечивающий основной объем переработки грузов, перевозимых в контейнерах, бесперебойная работа которого, в свою очередь, тоже повлияла на увеличение показателей погрузки в целом в 2011 году.

Но, наряду с этим, существуют внутренние проблемы контейнерных перевозок на ЮУЖД:

- нехватка собственного подвижного состава;
- не в полной мере развитая терминально-складская инфраструктура;
- недостаточно высокий уровень технической оснащенности погрузочно-разгрузочных фронтов;
- недостаточное использование грузоподъемности крупнотоннажных контейнеров;
- отсутствие четкой отлаженной схемы предоставления грузовладельцу комплексных услуг мультимодальных перевозок грузов «от двери до двери».

Изменить сложившуюся ситуацию возможно путем создания логистических системных цепочек взаимодействия перевозчика с операторами контейнерных перевозок, привлечения новой номенклатуры грузов, а также рассмотрения вопроса возможности перевозки отдельных наименований груза совместно в КТК (сборными мелкими отправлениями).

Предлагаемые пути решения выше обозначенных проблем:

- изучение требований, предъявляемых к условиям и срокам хранения грузов, перевозимых в контейнерах;

- разработка и внедрение договорной системы предоставления подвижного состава для перевозки контейнеров для обеспечения безусловной и согласованной подачи одновременно и контейнера, и вагона под погрузку;

- просчет возможности совместной перевозки отдельных видов хозяйственных грузов сборными крупнотоннажными контейнерными отправлениями;

- создание логистической цепочки по транспортировке «домашних вещей».

Анализ перевозки грузов в среднетоннажных пятитонных контейнерах отправлением с ЮУЖД назначением на Западно-Сибирскую железную дорогу за период с 31.12.2011г. по 29.05.2012 г. указывает на то, что грузы для личных бытовых нужд в январе месяце могли быть отправлены одним сборным 20-ти тонным контейнером взамен четырех пятитонных (период 12.01 – 13.01), аналогично в феврале и марте месяцах (период 10.02 – 14.02; 26.03 – 28.03), а груз — изделия из черных металлов упакованные и запасные части к тракторам за тот-же анализируемый период мог быть перевезен шестью 20-ти тонными контейнерами взамен 24-х пятитонных контейнеров (период 17.01 – 27.01), в феврале — четырьмя 20-ти тонными контейнерами взамен 20-ти пятитонных (период 8.02 – 14.02) и в марте тремя 20-ти тонными взамен 11 пятитонных (период 22.03 – 28.03).

Следовательно:

Существует необходимость дальнейшего глубокого анализа и просчета возможностей перевозки грузов сборными контейнерами на Южно-Уральском регионе с учетом изучения специфики работы Южно-Уральских контейнерных терминалов тупикового типа. Данная позиция диктуется требованиями, предъявляемыми к таким показателям, как полное использование грузоподъемности и вместимости КТК, использование собственных специализированных фитинговых платформ для их перевозки и максимальное исключение порожних пробегов, что значительно

уменьшит затраты на перевозку грузов в контейнерах и позволит повысить уровень контейнеризации на ЮУЖД и в стране в целом.

Список литературы:

1. В. Меркушева. Контейнерное оживление // РЖД-Партнер-Контейнер № 18 (214) 2011 г.
2. ОАО «Трансконтейнер»: официальный сайт [Электронный ресурс] URL:<http://www.trcont.ru> 2011 г.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ЛЕКЦИЙ

Голиков И. Г., Головин А. В.
*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

В СПбГПУ большинство курсов лекций уже обеспечено электронными конспектами. Как правило, они имеются в электронной библиотеке Политехнического Университета, доступны для копирования и распечатки. В новых условиях традиционный процесс чтения лекции, в котором лектор что-то пишет на доске, иногда диктует, а слушатели переписывают с доски в тетрадь и пытаются законспектировать наиболее важные положения, в наше время информационных технологий становится анахронизмом. Авторы на протяжении ряда лет накапливали опыт проведения лекций в интерактивном режиме на кафедре «Экспериментальная ядерная физика» физико-механического факультета.

За неделю до лекции преподаватель информирует студентов о теме следующего занятия. К нему учащиеся должны самостоятельно ознакомиться с темой по конспекту и при необходимости прочитать дополнительную литературу.

Проведение самого занятия состоит из трех этапов. На первом студенты задают вопросы, возникшие в процессе самостоятельной подготовки. Далее следует фронтальный опрос учащихся по теме. Следующий — объяснение моментов, вызвавших затруднения при опросе. Также возможно чтение дополнительных вопросов, которые не отражены в конспекте.

По результатам преподаватель объявляет оценки каждого студента, которые учитываются при выставлении итоговой оценки за курс на экзамене. Наиболее активным учащимся, получившим высокие баллы по всем лекциям, возможно поставить оценку без сдачи экзамена.

Результаты тестирования уровня остаточных знаний показали более глубокое, чем при классическом проведении лекции усвоение материала. Студенты также высказались за преимущество интерактивной формы занятий.

Опыт показал, что максимальное число студентов в группе, при котором удастся провести фронтальный опрос — 15 человек.

ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ШИРИНЫ ЛЕНТОЧКИ СРЕЗАННОГО ПАЛЬЦА НА ВЕЛИЧИНУ ПРОДОЛЬНОГО ЗАЗОРА

Гринев Д. В.

Псковский государственный университет

При обработке деталей типа корпус, плита, крышка и т. п. одной из наиболее рациональных схем базирования традиционно принимают установку заготовки по плоскости и двум отверстиям на цилиндрический и срезанный пальцы.

Традиционная литература [1, стр. 14-17], описывающая условия установки заготовки на срезанный палец оперирует расчетной схемой, изображенной на рис. 1.

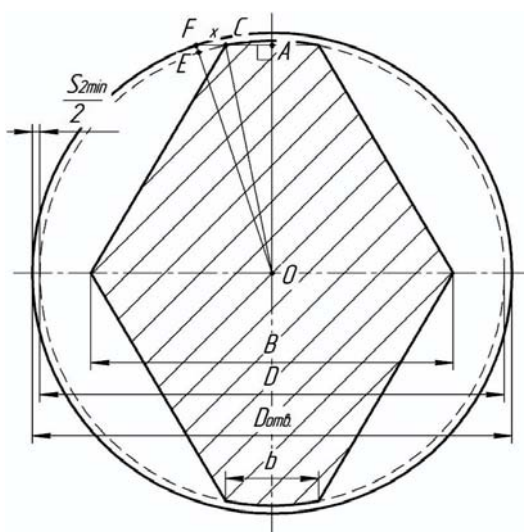


Рис. 1. Расчетная схема для определения смещения заготовки в продольном направлении на величину x

Совместное рассмотрение прямоугольных треугольников ΔOAC и ΔOAF позволяет получить зависимость вида

$$\left(\frac{D}{2} + \frac{S_{2\min}}{2}\right)^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2} + \frac{x}{2}\right)^2, \quad (1)$$

где D — диаметр срезанного пальца; $S_{2\min}$ — минимальный зазор между пальцем и отверстием; b — ширина ленточки срезанного пальца; x — величина возможного смещения заготовки в продольном направлении.

В ходе дальнейшего рассмотрения данной зависимости известные авторы изымают из нее квадратичные параметры как несущественно малые, получая конечную формулу вида

$$x = \frac{D}{b} S_{2\min}. \quad (2)$$

Таким образом, происходит искусственное искажение расчетной точности установки заготовки.

Проанализируем зависимость (1) с учетом квадратичных значений входящих в нее величин. Данный анализ позволяет получить более корректную формулу для определения величины смещения заготовки в продольном направлении:

$$x = \sqrt{b^2 + 2D \cdot S_{2\min} + S_{2\min}^2} - b. \quad (3)$$

Тогда традиционное условие установки заготовки на цилиндрический и срезанный пальцы примет новый вид:

$$S_{1\min} + \sqrt{b^2 + 2D \cdot S_{2\min} + S_{2\min}^2} - b \geq \delta_o + \delta_n, \quad (4)$$

где $S_{1\min}$ — минимальный зазор между цилиндрическим пальцем и отверстием; δ_o — допуск на межцентровое расстояние отверстий в заготовке; δ_n — допуск на межцентровое расстояние установочных пальцев.

Из формулы (4) следует, что ширина ленточки срезанного пальца должна удовлетворять условию

$$b \leq \frac{2D \cdot S_{2\min} + S_{2\min}^2 - (\delta_o + \delta_n - S_{1\min})^2}{\delta_o + \delta_n - S_{1\min}}. \quad (5)$$

Оценим степень влияния отклонения ширины ленточки на смещение заготовки в продольном направлении, используя зависимость (3). Результаты анализа представим в виде графика (рис. 2) и сводной таблицы.

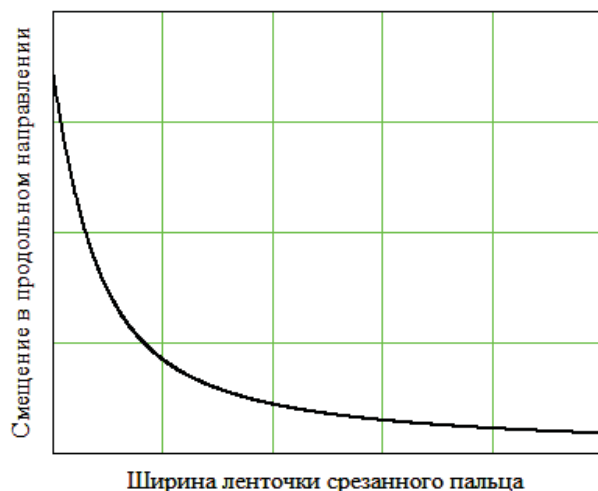


Рис. 2. Зависимость величины смещения заготовки в продольном направлении от ширины ленточки

Таблица

Влияние отклонения ширины ленточки на смещение заготовки в продольном направлении

Диаметр пальца D , мм, ГОСТ 16895-71	Ширина ленточки b , мм, ГОСТ 16895-71	$S_{2\min} \frac{F8}{(g6)}$, мм	Δb , мм	x_{\max}	x_{\min}	Δx , мм
10	2	0,016	± 0,1	0,082	0,075	0,008
12	4	0,022		0,067	0,064	0,003
16	4	0,022		0,089	0,085	0,004
20	4	0,027		0,136	0,130	0,006

Традиционная зависимость (2) предлагает обратно пропорциональную связь между x и b . Однако, эта закономерность значительно отличается от таковой и носит гиперболический вид.

Из таблицы видно, что колебание размера ленточки срезанного пальца на величину $\pm 0,1$ мм влечет за собой изменение продольного зазора между пальцем и отверстием на величину в пределах от 3 до 6 мкм.

Данное наблюдение полезно использовать при изготовлении срезанных пальцев и при проектировании высокоточной технологической оснастки в условиях серийного производства.

Литература:

1. Ансеров М. А. Приспособления для металлорежущих станков / Издательство «Машиностроение». — 1966, 649 с.

ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ИННОВАТИКА» В ОРИЕНТАЦИИ НА ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Дубнищева Т. Я.

*Новосибирский государственный
университет экономики и управления*

Развитие интеллектуальных возможностей личности, коллектива или социальной группы всегда было важнейшей проблемой практики образования. Подготовка специалиста определяется не объемом полученных знаний и навыков, а овладением общей системой ориентации в жизни, умением постоянно пополнять, достраивать свою личную систему знаний, находить путь к уже существующему знанию и уметь генерировать новое знание. В решении этой задачи первостепенная роль принадлежит высшей школе, причем в современных условиях требования к содержанию и качеству образования возросли.

Кафедра современного естествознания и наукоемких технологий нашего университета осуществляет подготовку студентов по направлению 220600 «Инноватика». Направление аккредитовано, было выпущено два потока бакалавров техники и технологии, начата подготовка магистров с профилем «Управление инновациями в сфере наукоемких технологий». В рабочем учебном плане представлены дисциплины всех циклов, предусмотренные государственным образовательным стандартом. Студенты

изучают естественнонаучные и инженерные дисциплины, которые подкреплены экономико-управленческими основами инновационной деятельности. Преподаватели кафедры связаны с несколькими научными институтами Академгородка, что позволяет в рамках кафедры поддерживать междисциплинарное взаимодействие, положенное в основу организации так называемого «треугольника Лаврентьева»: наука + кадры + производство.

В соответствии с приоритетными направлениями науки и техники на кафедре разработаны курсы, которые реализуются за счет региональной компоненты блоков ОПД и СД. Так, целью дисциплины «Основы наукоемких технологий» является получение профессиональных знаний теоретических основ в области нанотехнологий и биотехнологий. Здесь же студенты знакомятся с существующими проектами и программами государственного, регионального и территориального уровня, относящихся к инновационной деятельности с использованием нанотехнологий и биотехнологий. Разработанные дисциплины «Физические основы оптических информационных технологий», «Основы энергетики и энергосберегающих технологий» и несколько современных курсов по информационным системам и технологиям (кафедра входит в состав факультета прикладной информатики) ориентируют студентов также в мире современных технологий, обеспечивая соответствующие приоритетные направления науки и техники грамотными менеджерами. Структура дисциплин «по выбору» в рабочем учебном плане в целом соответствует рекомендациям УМО.

Выпускные работы большинства бакалавров, как и их производственные практики, выполняются в научных лабораториях институтов Академгородка и предприятий Технопарка «Академгородок». В значительной степени ориентация учебного процесса определяется и договорными соглашениями с Новосибирским авиационным предприятием им. В. И. Чкалова, Конструкторско-технологическим институтом научного приборостроения, ЗАО «НЭВЗ-Керамикс» и другими. Студенты активно участвуют в работе молодежных форумов, выступают с докладами на научных конференциях молодых ученых, многие из них продолжают обучение в магистратуре. Остается только ждать, когда промышленный комплекс страны станет восприимчивым к новым технологиям и достижениям науки.

РЕАЛИЗАЦИЯ УЧАСТИЯ СТУДЕНТОВ
В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
(МОНИТОРИНГ ПАССАЖИРОПОТОКА В ПРИГОРОДНЫХ ПОЕЗДАХ)

Жабреев В. С., Губская С. А.
*Челябинский институт путей сообщения — филиал
федерального государственного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Уральский государственный университет путей сообщения»,
г. Челябинск*

Одной из возможностей ускорения адаптации к производственной деятельности студентов является привлечение студентов к исследовательской работе. Актуальной задачей — является приобретение опыта работы студентов в экспериментальных мероприятиях, связанных с будущей специальностью, например мониторинг пассажиропотока на пригородных участках Южно-Уральской железной дороги [1].

В период летней практики, студенты факультета высшего профессионального образования Челябинского института путей сообщения (ЧИПС) производили мониторинг по трем направлениям: Челябинск – Шумиха, Челябинск – Троицк, Челябинск – Миасс, Златоуст. Анализировались следующие показатели пригородных перевозок: количество пассажиров, (посадка / высадка) на каждом остановочном пункте; населенность состава; средняя дальность и регулярность поездок пассажира; удовлетворенность расписанием движением электропоездов; возрастной контингент; место и удобство приобретения билета; учет пассажиров, садящихся в поезд без проездных документов.

Ставилась задача: провести сравнительный анализ места и удобства приобретения билета, количества пассажиров, садящихся в поезд без проездных документов и выработка предложений по совершенствованию оплаты проезда в пригородных поездах.

Статистическая обработка результатов исследования показала фактическую населенность каждого вагона пригородного поезда по маршруту, среднюю дальность поездки пассажира и что практически половина

пассажиры не покупают билеты или покупают на одну зону, а следуют дальше [2]. Исследуемая система мониторинга показала возможность исключения «зайцев», дотаций и получения прибыли от перевозок в пригородных поездах. В процессе мониторинга студенты приобрели опыт в экспериментальных исследованиях, ознакомились с технологическим процессом обслуживания пассажиров в пригородном сообщении и приобрели навыки статистического анализа.

Список литературы:

1. Жабреев В. С., Губская С. А. Автоматизированный способ обеспечения покупки билетов пассажирами на пригородных поездах / Вестник Южно-Уральского государственного университета № 3 (262) 2012. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. Изд-во ЮУрГУ. Выпуск 15.2012. — С. 68 -71.

2. Губская С. А. Мониторинг условий организации перевозки пассажиров в пригородном сообщении на Южно-Уральской железной дороге // Общие вопросы транспорта. Моделирование и оптимизация в логистических транспортных системах: сб. научных трудов / Отв. ред. Е. Н. Тимухина. — Екатеринбург: Изд-во УрГУПС. Вып.89(172). 2011. — С. 31–37.

ИНТЕРАКТИВНЫЙ МЕТОД ОБУЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ГРУППАМИ (ИМО ДГ)

Жевлаков Б. П., Отцовский А. Г.

*Военно-морской политехнический институт ВУНЦ ВМФ
«Военно-морская академия»*

В качестве вступления отметим, что основной формой познавательной деятельности студентов, обеспечивающей реализацию целей ИМО ДГ, является их активная параллельная с другими речевая работа при выполнении учебных заданий, а стимулирующими условиями внедрения ИМО ДГ в образовательный процесс служат наличие в содержании учебного материала частей, обладающих логической завершенностью, и наличие технического обеспечения рабочих мест.

Наибольшее распространение получило применение ИМО ДГ при проведении семинарских и практических занятий по изучению назначения, устройства и принципа действия различных функциональных и конструктивных элементов, узлов, блоков специальной техники.

Предварительная подготовка преподавателя-руководителя учебного занятия, планируемого к проведению в ИМО ДГ, состоит:

- в отборе для ИМО ДГ соответствующего модуля, блока, темы учебного материала, определения учебной цели занятия, способа контроля и доведения их до студентов;

- в подборе студентов — руководителей обучения на соответствующие рабочие места и их инструктаже по методике планируемого занятия. При этом с первой встречи, с первого контакта с потенциальными руководителями необходимо приучать их к самостоятельности, ответственности и исключать мелочную опеку;

- и в разработке, размножении и выдаче методических рекомендаций руководителям групп — это наиболее трудоемкая часть подготовки.

Количество выносимых на одно 2-х часовое занятие вопросов Q должно на 10-15 % превышать количество обучающихся наибольшей из динамических групп M_{\max} : $Q \geq 1,15 M_{\max}$. Поскольку списочная численность студентов одной группы на младших курсах может достигать 25 человек, а на старших не превышает 20, то при 4-х групповой организации ИМО ДГ можно установить, что $4 \leq M \leq 7$, а значит $Q \geq 10$.

Характер оформления методических рекомендаций руководителю ИМО ДГ иллюстрируется фрагментом, приведенным в табл. 1.

Предварительная подготовка студентов к занятию проводится традиционно. Вместе с тем, студенты, назначенные и получившие методические рекомендации для руководства обучением динамических групп, готовятся по индивидуальному плану. В отличие от других студентов, они должны быть заранее ознакомлены с расположением и оборудованием рабочих мест. А учитывая, что работа осуществляется в полголоса, им рекомендуется потренироваться в произнесении вопросов, обращая внимание на артикуляцию и интонацию.

**Фрагмент методических рекомендаций
руководителям обучения ИМО ДГ**

<p>Методические рекомендации руководителю обучения на рабочем месте № ... /Фрагмент/ Тема занятия: Функциональные узлы цифровой электроники. Частная тема: АЦП напряжение — код. Цель занятия:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Проверить и оценить знания курсантов динамических групп по вопросам назначения, состава и работы АЦП напряжение — код. 2. Дать практику устного изложения и на этой основе углубить знания студентов теории устройства и работы элементов и узлов цифровой электроники; 3. Воспитывать самостоятельность, целеустремленность, ответственность и творческое отношение к работе. <p>Метод обучения: индивидуальная речевая деятельность и активное слушание студентов при их работе в составе динамической группы.</p> <p align="center">Отрабатываемые вопросы</p>														
№ п/п	Содержание	Ключевые понятия ответов												
1	Что такое электрический сигнал?	Аналоговый: U, I, P изменение во времени параметров которых, — код информации; Цифровой: то же, но код информации — многоразрядное двоичное число.												
2	Как преобразуется аналоговый сигнал в цифровой код.	Дискретизируется по времени, квантуется по уровню и кодируется набором соответствующих цифр.												
...												
15	В чем состоит подготовка узла к работе?	В очистке счетчика импульсов /СТ/ и установке $T_{\text{упр}}$ в состояние I по сигналу ГТИ.												
...												
21	Сколько разрядов (n) минимально должен содержать счетчик АЦП, если максимальное число шагов квантования 900?	$n = 10$, так как $2^{10} = 1024, 2^9 = 512$, что меньше 900												
<p align="center">При выставлении оценок рекомендуется использовать символы:</p> <table border="0"> <tr> <td align="center">+</td> <td align="center">и</td> <td align="center">варианты итога:</td> </tr> <tr> <td align="center">+ полно, точно, грамотно</td> <td></td> <td align="center">5 + + + или + ~ +</td> </tr> <tr> <td align="center">~ неполно или неточно</td> <td></td> <td align="center">4 + ~ ~ или ~ ~ ~</td> </tr> <tr> <td align="center">- ошибка или нет ответа</td> <td></td> <td align="center">3 - ~ ~ или - - -</td> </tr> </table>			+	и	варианты итога:	+ полно, точно, грамотно		5 + + + или + ~ +	~ неполно или неточно		4 + ~ ~ или ~ ~ ~	- ошибка или нет ответа		3 - ~ ~ или - - -
+	и	варианты итога:												
+ полно, точно, грамотно		5 + + + или + ~ +												
~ неполно или неточно		4 + ~ ~ или ~ ~ ~												
- ошибка или нет ответа		3 - ~ ~ или - - -												

Можно рекомендовать на первые занятия в ИМО ДГ назначать руководителей обучения студентов из числа успешно осваивающих учебную дисциплину или неформальных лидеров учебной группы.

Для обеспечения получения педагогической практики всего обучающегося контингента необходимо предусмотреть плановую ротацию руководителей групп на ближайшие 7-8 практических занятий.

Деятельность преподавателя-руководителя занятия при практическом использовании ИМО ДГ определяется этапами его проведения: организационным и основным.

Организационный момент начала занятия обычно включает встречу, приветствие, объявление темы занятия, его учебных целей, метода проведения и приглашение назначенных руководителей обучения занять свои рабочие места. Далее, разделив количество оставшегося личного состава N на число рабочих мест K , оперативно определяется численный состав одной динамической группы: $M = N / K$. Это позволяет объявить номера групп и сформировать их, называя по алфавиту фамилии студентов каждой из них. Об этом делаются пометки в кафедральном журнале учета успеваемости. Так одновременно оказывается осуществленной и необходимая проверка наличия студентов на занятии. Заканчивается организационный момент начала занятия пояснениями порядка работы, организации смены рабочих мест, например, по часовой стрелке, и осуществлением их развода по рабочим местам 1-й смены. Для удобства первоначально каждая динамическая группа занимает исходное рабочее место, номер которого совпадает с номером самой динамической группы. Обычно на все это затрачивается от 3 до 5 минут.

Основная часть учебного занятия начинается по сигналу преподавателя-руководителя занятия «Начать работу в группах», по которой студенты передаются под управление руководителей групп. Она состоит в параллельной речевой деятельностью всех обучающихся:

- руководители ставят вопросы, выслушивают, оценивают и регистрируют качество ответов, помогая слушателям исправить их ошибки;
- члены динамических групп, услышав вопрос, уясняют его сущность, продумывают содержание ответа, про себя формулируют его и сигнализируют руководителю о своей готовности к ответу. Получив

разрешение или будучи вызванным, студент начинает устный доклад своего ответа. Остальные в это время находятся в «активном слушании»: внимательно слушая отвечающего, сопоставляют его представления со своими, и должны быть готовы в любой момент продолжить или уточнить доклад, добавить к нему или высказать свою точку зрения.

- преподаватели, если они не выполняют функций руководителя обучения на конкретном рабочем месте, целенаправленно занимаются индивидуальной работой со слабоуспевающими студентами. При этом они осуществляют постоянный контроль над общей обстановкой на занятии и при необходимости корректируют деятельность того или иного участника занятия.

Через рассчитанный временной интервал руководитель сигналом: «Закончить работу 1-й смены. Произвести смену мест!» организует перемещение динамических групп в установленном направлении на новые рабочие места. В результате, группы получают новых руководителей обучения, а руководители — новых обучающихся. По сигналу «Начать работу 2-й смены» (аналогично, 3-й и 4-й) образовательный цикл повторяется. Обычно при 90 минутном занятии и $K = 4$ временной интервал между сменами мест лежит в пределах 17-19 минут.

По завершению последнего цикла работы в группах преподаватель-руководитель занятия подачей сигнала: «Окончить работу в группах. Составам групп занять исходные места в аудитории для подведения итогов. Руководители обучения — к столу преподавателя!» организует его окончание.

Подведение итогов занятия состоит в объявлении оценок каждому участнику занятия четырьмя руководителями, а, если требуется, то и замечаний и рекомендаций по их устранению. Преподаватель утверждает объявленные результаты, выставляет в классный журнал итоговые осредненные оценки и дает задание на самостоятельную работу. После этого преподавателю следует поблагодарить руководителей обучения групп за их усердие.

Важной особенностью работы в ИМО ДГ является возможность создания разнохарактерных групп: более многочисленных из хорошо успевающих студентов и в меньшем составе — из слабоуспевающих. Это позволяет дифференцировать работу с контингентом по сложности и темпу рассмотрения элементов вопроса.

В заключение отметим, что интерактивный метод обучения динамическими группами (ИМО ДГ) позволяет создавать и поддерживать высокую интенсивность познавательной работы каждого обучающегося, эффективность которой обеспечивается его индивидуальной речевой деятельностью, непосредственно контролируемой и корректируемой руководителями обучения, и продуктивностью атмосферы педагогики сотрудничества.

И, наконец, очень важно то, что применение ИМО ДГ позволяет:

- обеспечить привитие студентам в ходе занятий менеджерских навыков за счет получения ими начальной педагогической практики; а также естественным образом создавать и поддерживать высокую трудовую дисциплину в группе в течение всего учебного занятия.

Список литературы:

1. Архангельский В. И. Учебный процесс в высшей школе, его закономерные основы и методы. М.: Высшая школа, 1980.

2. Беспалько В. П. Слагаемые педагогической технологии. М.: Педагогика, 1989.

3. Жевлаков Б. П. Методы и формы обучения и воспитания курсантов военно-морских институтов. Теория и практика, Монография. СПб.: СПб ВМИ-2, 2008.

4. Жевлаков Б. П., Отцовский А. Г. Методические рекомендации к практическим и семинарским занятиям по электронике (ИМО ДГ). СПб.: СПб ВМИ - 2, 2009.

СОВРЕМЕННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Жуковский Ю. Л.

*Национальный минерально-сырьевой
университет «Горный»*

Энергосбережение и повышение энергетической эффективности следует рассматривать как один из основных источников будущего экономического роста [1]. При этом оценивается эффект, который может быть получен за счет как технологических, так и организационных

мероприятий, в том числе за счет совершенствования системы управления энергосбережением и повышением энергетической эффективности. Именно объединение технологической и организационной составляющих позволит сократить потребление энергетических ресурсов при производстве продукции на 40 % к 2020 году по отношению к 2007 году.

Важным звеном системы энергосбережения и энергоэффективности является обучение и повышение квалификации персонала предприятия. В технологическом процессе может использоваться энергосберегающее оборудование, энергоэффективные механизмы, внедряются инновационные решения, но обслуживают и управляют всем люди. Если квалификация сотрудников недостаточна, то они могут не понимать как решения, которые они принимают, могут отражаться на процессе нерационального расхода энергетических ресурсов. Персонал современного предприятия должен быть просвещен в области энергетической стратегии предприятия и государства в целом, причем эти знания должны быть донесены в доступной и понятной форме не только до специалистов энергетиков, но и до персонала каждого отдела предприятия, поскольку нерациональное потребление на рабочем месте играет существенную роль в энергосбережении. Развитие наукоемких технологий набирает колоссальные обороты, знания, полученные в вузе, достаточно быстро устаревают, поэтому модернизация оборудования должна идти синхронно с модернизацией знаний работников, а так же знаний преподавателей в этой области.

Социологи и психологи, проводящие исследование мотивации общественной активности молодежи, пришли к выводу, что нынешнее поколение прагматично. Если активность современного студента и направлена на изменение окружающей действительности, то только в соответствии с его собственными потребностями, взглядами и интересами [2]. Бережливое отношение к потреблению энергоресурсов, как на предприятии, так и в бытовых условиях необходимо воспитывать, начиная с самых ранних лет жизни человека. Популяризация энергосбережения должна носить пропагандистский характер и затрагивать все слои общества. С выходом ФЗ № 261 такая пропаганда ведется, но она видна только в кругу заинтересованных людей находящихся в сфере энергетики. К тому же зачастую не раскрытым остается главный вопрос, без ответа на который экономить не

начнет даже ребенок: «А почему я должен беречь энергию?». Прежде чем взяться за то или иное дело современный студент задается вопросом: «А что мне за это будет?». Раскрывать этот вопрос и находить ответы необходимо вместе с обучающимися, постепенно подводя их к осознанию того, что рационально потреблять и беречь это не признак скупости или жадности, это в первую очередь признак образованности и заботы о своем будущем. Потребность в энергосбережении должна прийти не из-под палки, а в результате постепенного понимания необходимости этого процесса и важности роли индивида в этом процессе.

Создать в России «энергоэффективное общество» это задача не на год или два, это задача на десятки лет. В рамках высшего образования об этом нужно говорить всерьез, начиная с первого курса постепенно приводя обучающегося к технологиям, посредством которых он будет реализовывать энергосбережение, когда начнет работать на предприятии.

Список литературы:

1. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. Гудков Л. Д., Дубин Б. В., Зоркая Н. А. Молодежь России. — М.: Московская школа политических исследований, 2011. — 96 с.

АЛГОРИТМ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ОПУХОЛЕЙ МЯГКИХ ТКАНЕЙ ПРИ СЕРОШКАЛЬНОЙ ЭХОГРАФИИ

Зайцев А. Н., Грызунов В. В.

*ФГБУ НИИ онкологии им. проф. Н. Н. Петрова, Санкт-Петербург
Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Введение. Серошкальное исследование является наиболее простым, широкодоступным и потому — основным в комплексе ультразвуковых методик, традиционно используемых в диагностике новообразований мягких тканей. С него начинается обучение специалистов, причастных к эхографии.

Цели, задачи исследования. Построение дифференциально-диагностического алгоритма опухолей мягких тканей при серошкальном ультразвуковом обследовании.

Материал и методы. Исследованы на аппаратах ультразвуковой диагностики Hitachi HI Vision 900, Logiq-400, Aloka-650, Aloka-2000 датчиками 5-13 МГц 704 пациента с верифицированными 332 (47,2 %) саркомами и 319 (45,3 %) доброкачественными новообразованиями, тремя метастазами в мягких тканях, 50 (7,1 %) неопухолевыми изменениями. Проведен анализ серошкальной картины этих патологических процессов.

Результаты. Липомам (170-98,8 %), доброкачественным сосудистым опухолям (33-76,7 %), липосаркомам (62-76,5 %) была присуща гиперэхогенность с разной выраженностью сосудов, отличавшей гемангиомы от образований из жировой ткани. В липосаркомах присутствовали нелинейные включения низкой эхогенности. Другие особенности новообразований с большим объемом гиперэхогенности (не менее 30 % структуры в целом) не представлялись существенными в процессе дифференциальной диагностики. Преимущественно гипоэхогенные и анэхогенные изменения составили группы со значимостью четкости контуров, дорсального усиления. Последнее имелось у кист (6-85,7 %), лимфангиом (5-83,3 %), миксом (3-50 %). Анэхогенными были 5 (17,2 %) новообразований из оболочек периферических нервов. Они отличались вытянутостью вдоль нерва (22-75,9 %), гиперэхогенным ободком (7-24,1 %). При гипоэхогенности нечеткость контуров встречалась у десмоида (45-91,8 %), фиброзной гистиоцитомы (25-92,3 %); четкость контуров и неоднородность структуры — у эхографически недифференцируемых по своему гистотипу сарком (240-72,3 %), однородность — у нейриномы (14-73,7 %), нейрофибромы (14-82,4 %), лейомиомы (5-83,3 %), ГКО (5-71,4 %).

Выводы. Необходим поэтапный анализ эхографических признаков, начиная с эхогенности, разделяющей образования на три группы, в которых анализ других симптомов точнее определяет их природу. Выбор таких симптомов зависит от эхогенности опухоли, что, прежде всего, может быть значимо для молодых специалистов.

ПРИМЕНЕНИЕ ВИДЕОФРАГМЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ

Кимстач А. В.

*Национальный минерально-сырьевой
университет «Горный»*

В учебных планах по различным техническим дисциплинам для практического усвоения теоретического материала предполагается выполнение лабораторных и практических работ.

Для лучшего восприятия результатов практических лабораторных занятий по некоторым сварочным дисциплинам применяется следующая методика проведения занятий.

Перед проведением занятий проводится краткий технический инструктаж по тематике проводимых работ, последовательности выполнения экспериментов, а также инструктаж по технике безопасности. Работы непосредственно выполняются самими студентами при обязательном контроле преподавателя. Результаты заносятся в журнал для последующего анализа. Технический процесс выполнения лабораторных работ снимается на видео.

После выполнения лабораторных работ производится просмотр видео роликов на мониторе компьютера с оценкой исполнителями своих действий при проведении тех или иных операций. Предлагается всем студентам, участвовавшим в проведении данных работ, принять участие в обсуждении действий своих коллег. Использование такой методики способствует улучшению восприятия теоретического курса и повышает уверенность студента в технически грамотном выполнении поставленного перед ним практического задания.

Данное утверждение базируется на обратной связи, т. е. сам исполнитель работы может наблюдать за своими действиями, визуально контролировать собственное выполнение элементов процесса, констатировать свои ошибки и определять причины их вызывающие.

Данная методика не претендует на исключительность, но положительные результаты ее применения несомненны.

ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИЙ. ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР

Косалимова О. А.

*Санкт-Петербургский государственный
экономический университет*

Значение инноваций постоянно возрастает, так как практика бизнеса буквально заставляет каждую компанию вводить разнообразные новшества и рационализировать производство. Необходимость инноваций диктует не только изменяющаяся внешняя среда, но и угроза устаревания существующих продуктов. В результате трансформаций среды возникают как новые потребности, так и новые знания, и способы удовлетворения этих потребностей.

Невозможно игнорировать человеческий фактор, говоря о любых видах изменений. Именно человеческий фактор в организационных изменениях является фундаментальным, так как поведение людей в организации в итоге определяет, что можно изменить и какую это даст пользу.

Происходят также перемены в ценностях и отношениях, так как без них невозможны какие-либо реальные изменения.

Психологические причины отвержения инновационных идей:

- боязнь ухудшения положения или страх потерять то, что имеешь;
- отсутствие убежденности в необходимости изменений;
- недовольство переменами, насаждаемыми сверху;
- недовольство неожиданностями (отсутствие информации, страх перед неизвестностью);
- нежелание иметь дело с непопулярными проблемами (особо касается руководителей, старающихся оттянуть выполнение неприятных и непопулярных действий);
- страх перед неспособностью выполнения чего-либо, боязнь неудач;
- нарушение установленного порядка, а также взаимоотношений;
- отсутствие уважения и доверия к лицу, производящему изменения.

Основные принципы преодоления сопротивления персонала организационным изменениям вытекают из его причин:

- максимально открытое и честное общение руководства с подчиненными всех уровней;
- доведение до всех максимума информации о происходящем;
- вовлечение сотрудников в процесс принятия решений;
- дополнительное обучение.

Концептуальной моделью процесса организационных изменений может быть схема «размораживание - изменение – замораживание».

Первая стадия — «размораживания» происходит автоматически, но дальнейшие требуют значительных усилий. На второй стадии — «изменение» необходимо четко обозначить желаемые преобразования, а на третьей стадии — «замораживание» — ввести серьезные стимулы для следования новым принципам.

Среди основных практических задач, которые должны быть решены на этих этапах: проведение информационной кампании (обеспечивающей, помимо прочего, и эмоциональную поддержку персонала); построение единой команды (включая проведение сокращения, если таковое требуется) и дополнительное обучение сотрудников.

Успех интеграционного процесса начинается с продуманной информационной кампании, запускаемой еще до начала преобразований.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДИАГНОСТИКИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И НАПОЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ СЦБ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ И НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Костров А. А., Семенов А. Е.

Челябинский институт

*путей сообщения — филиал Уральского государственного
университета путей сообщения, г. Челябинск*

Среди общего объема отказов железнодорожной техники, большой процент занимают отказы рельсовых цепей. На цепи оказывают влияние колоссальные нагрузки проходящих поездов, сложные климатические условия. В современных системах ЖАТ в качестве датчиков

свободности / занятости пути используются электронные педали и напольные электронные модули системы счета осей [1].

Поскольку педали обеспечивают безопасность движения, обучению студентов принципу действия таких систем уделяется много внимания. В условиях лабораторного комплекса Челябинского института путей сообщения для изучения систем КТСМ, ЭССО, ГАЦ и др. было разработано универсальное устройство, позволяющее имитировать проход реального поезда по участку контроля. Задачей для данного устройства является управление отдельными модулями и подсистемами, а также напольным оборудованием комплекса. Использование имитатора прохода поезда должно позволить не только изучить и проследить за работой аппаратуры систем, но и произвести поиск неисправностей и отладку системы, как в условиях лабораторного комплекса, так и на действующих установках. Устройство представляет собой телемеханический комплекс, предназначенный для коммутации электрических цепей систем лабораторного комплекса кафедры «А и Т».

Схема макета универсальна и может использоваться не только в пределах лаборатории, но и на действующих установках для обучения эксплуатационного штата и проверки исправности работы аппаратуры.

Литература:

1. И. Г. Тильк. Новые устройства А и Т на железнодорожном транспорте. — Екатеринбург: изд-во УрГУПС. — 2010 г.

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Котелева Н. И.

*Национальный минерально-сырьевой
университет «Горный»*

Одним из основных путей развития нашего государства, продиктованным президентом России, является переход к экономике инновационного типа, где основными направлениями развития являются повышение

энергоэффективности и энергосбережения, а также внедрение новых стратегических информационных технологий. Безусловно, современные промышленные предприятия, стараясь придерживаться основного вектора развития, заданного высшими органами власти, постепенно приходят к новому подходу в ведении бизнеса — созданию безопасного и эффективного производства. Совместное осуществление этих двух направлений требует модернизации существующих подходов к ведению производственной, экономической и хозяйственной деятельности предприятия. А модернизация любой деятельности предприятия на сегодняшний день наиболее эффективно осуществляется путем внедрения инноваций, что, в свою очередь, делает острым вопрос привлечения к этому процессу высококвалифицированных специалистов, не только обладающих нужной компетенцией, но и готовых к внедрению инноваций.

Сегодня большинство предприятий обладает рядом высококвалифицированных специалистов с высокой степенью компетенции, однако бурное техническое развитие, появление новых технических средств, а также многофункциональность, как основное требование к любому специалисту современного промышленного предприятия, делает невозможным рост его компетенции, а иногда и является хорошей почвой для активного ее снижения. Все это доказывает актуальность курсов повышения квалификации и курсов переподготовки кадров, проводимых в рамках системы дополнительного профессионального образования. Представляя собой качественный «отжим» существующего потока научной и технической информации по определенному вопросу, курсы повышения квалификации или переподготовки кадров способны за короткое время не только повысить уровень компетенции специалистов и расширить их кругозор, но также подготовить их к появлению новых инновационных идей и выдать направление для их реализаций. Однако сегодня промышленные предприятия чаще не доверяют системе дополнительного профессионального образования, что является небезосновательным. Находясь в переходном этапе своего развития, система дополнительного профессионального образования переживает ряд трудностей и, к сожалению, не всегда соответствует главному принципу «нужные знания в нужное время». Для увеличения привлекательности и прочному закреплению своих позиций в системе

переподготовки кадров предприятия система дополнительного профессионального образования должна быть максимально мобильной и эффективной. При этом мобильность подразумевает под собой не только способность изменяться в соответствии с постоянно расширяющейся сферой научных знаний, но и способность находиться в своих компетенциях в области решений острых и глобальных проблем производства выше самого предприятия. При этом последнее не возможно без установления прочного и тесного взаимодействия или сотрудничества между вузом и предприятием. Таким образом, современные курсы повышения квалификации должны представлять собой обзор современных технических решений в какой-либо области промышленности, делать акценты на новые инновационные подходы, приводящие к модернизации производства, а самое главное — они не должны противоречить основным экономическим, техническим и инновационным направлениям развития предприятия, что представляется возможным только при тесном взаимодействии вуза и предприятия.

Кроме того, сегодня обучение специалистов достаточно дорого обходится предприятию, а эффективность не только труднооценима, но также обладает достаточной инерционностью в своем проявлении. В связи с этим тесное взаимодействие вуза и предприятия и активное участие в этом процессе последнего не только повысит качество системы дополнительного профессионального образования, но и повысит гарантии предприятию в получении качественной образовательной услуги, что, безусловно, является «хорошей» основой для внедрения инноваций и повышения эффективности производства.

НЕПРЕРЫВНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Кравченко И. В.

*Челябинский институт путей сообщения — филиал
Уральского государственного университета
путей сообщения, г. Челябинск*

Непрерывное образование — это система взглядов на образовательную практику, которая провозглашает учебную деятельность человека как неотъемлемую и естественную составляющую часть его образа жизни во

всяком возрасте. Она предусматривает необходимость достройки образовательной лестницы новыми ступенями, рассчитанными на все периоды взрослой жизни.

Система непрерывного образования является ответом на требования современного общества максимально раскрыть индивидуальные способности, более полно учитывать интересы и склонности учащихся. Учащиеся 10-11 классов имеют уникальную возможность узнать о будущей выбранной специальности.

Невозможно быть высококлассным специалистом, если не продолжать учиться. Причем, неважно — на курсах повышения квалификации или самостоятельно — при помощи специализированных изданий.

Необходимость непрерывного образования вызвана следующими причинами:

- невозможно научить студента всему, чем ему придется заниматься в рамках профессиональных обязанностей;

- постоянные изменения, происходящие во всех отраслях — юриспруденции, экономике, технологиях, организации и т. д.

- несмотря на то, что профессиональная деятельность человека, как правило, осуществляется в какой-то узкой сфере, всесторонне и гармонично развитая личность должна разбираться во многом;

- совершенно очевидно, что непрерывное образование является важным компонентом процесса взаимодействия науки, образования и производства.

По статистике, в ряде регионов страны до 50 % выпускников вузов и до 64 % выпускников среднеспециальных учебных заведений меняют свою профессию сразу же после окончания учебного заведения. Огромное количество молодых людей вынуждены заново решать проблему организации своей профессиональной карьеры. В силу этих причин необходимо продвигать концепцию образования на протяжении всей жизни человека со всеми ее преимуществами — гибкостью, разнообразием и доступностью во времени и пространстве. Подобное образование, помимо адаптации к изменениям в профессиональной деятельности, непрерывного развития человеческой личности, знаний и навыков, способности выносить суждения и предпринимать различные действия, должно позволить человеку понять самого себя и окружающую среду, содействовать выполнению его социальной роли в процессе труда и жизни в обществе.

ПРОГРАММА ФАКУЛЬТАТИВНОГО КУРСА
«SELF-МЕНЕДЖМЕНТ В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ
РАБОТЕ АСПИРАНТА»

Латушкина В. М.

Санкт-Петербургский государственный университет

Одной из важных задач высшего учебного заведения является подготовка научных кадров высшей квалификации. Научная подготовка предполагает формирование и развитие личностных качеств аспиранта необходимых для дальнейшей самостоятельной исследовательской работы. Причем обучение в период взрослости, всегда будет идти параллельно с основной трудовой деятельностью, семейными обязанностями, что требует координации текущих процессов жизнедеятельности, актуальных профессиональных и личных задач. Для этого важно владеть технологиями самообучения и самоорганизации. Время — общая база всей совокупности деятельностей человека.

Умение учиться — регулярно встраивать новое знание в свой профессиональный и интеллектуальный багаж — это важное функциональное умение, которое современному ученому необходимо совершенствовать и использовать постоянно. Помимо углубления профессиональных знаний, которое обеспечивает институт аспирантуры, происходит сложный процесс совершенствования комплекса самоорганизационных компетенций аспиранта, обеспечивающий результативность его и учебной и научной деятельности. Развитие самоорганизации — во многом, сегодня, это стихийный процесс, который опирается на опыт достижений аспиранта на предыдущих образовательных ступенях и поддержку научного руководителя. Но лишь в условиях самостоятельной научной работы этот комплекс взаимосвязанных компетенций становится особенно востребованным, а недосформированность его компонентов особенно наглядной.

Научная работа представляет собой сложную, самостоятельную, самоуправляемую, многокомпонентную деятельность, протекающую в динамичной среде. Овладение спецификой научных исследований требует долгой и интенсивной подготовки, в которой аспирант формируется как субъект научной деятельности. Аспиранты часто не имеют целостного

представления о технологиях научной работы. Как показывает статистика, большинство аспирантов не защищает свои диссертации — квалификационные работы в нормативные сроки обучения. Очевидно, эти трудности объясняются, в том числе и сложностью самой деятельности, за которую берется человек — освоение научной работы как профессиональной деятельности. Своевременная диагностика и коррекция самоорганизационных проблем аспиранта позволит вовремя взять этот процесс под контроль.

В рамках программ аспирантуры необходимо выделить учебное время для специального освоения технологий самоорганизации и самоуправления в рамках интенсивных курсов по Self-менеджменту, которые закладывают базу для повышения личной организационной продуктивности будущего ученого. Это позволит будущим кандидатам наук эффективно распределять имеющиеся ресурсы, строить программы личностного развития и достигать намеченных целей вовремя.

Разработка программы факультативного курса «Self-менеджмент в научно-исследовательской работе аспиранта». В современных условиях, владение технологиями самоорганизации является практической необходимостью, элементом функциональной грамотности аспиранта, обеспечивающей адаптацию и функционирование аспиранта в новых для него условиях.

Дисциплина предназначена для аспирантов 1 года обучения и знакомит аспирантов с основными технологиями Self-менеджмента.

Цель курса: Оптимизировать распределение времени НИР аспиранта, повысить продуктивность его использования.

Задачи курса:

- расширить функциональную грамотность аспиранта, входящего в новую научно-образовательную среду;

- научить аспирантов определять бюджеты времени, распределять НИР и ее этапы во времени в соответствии с внешними требованиями и поставленными целями, соотносить запланированные работы с реальными условиями их выполнения;

- изучить приемы календарного планирования, и распределения нагрузки и ресурсов в течение всего периода научно-исследовательской работы;

- понять основные препятствия и проблемы Self-менеджмента;

- познакомиться с закономерностями развития процессов прокрастинации;

- разработать персональную программу саморегуляции, обеспечивающую реализацию цели — подготовку диссертации — в нормативные сроки обучения.

Место курса в профессиональной подготовке аспиранта. Дисциплина «Self-менеджмент в научно-исследовательской работе аспиранта» тесно связана с отраслями знания, изучающими деятельность человека — это психология, педагогика, менеджмент, а также теорией систем, проектированием, прогнозированием, моделированием. Знания основ этих наук способствуют всестороннему овладению технологиями Self-менеджмента, адекватному построению программ саморазвития в контексте научных, профессиональных и личностных приоритетов.

Курс требует от аспиранта включенности, систематической работы и обеспечивает развитие компетенций самоорганизации, необходимых для осуществления научной деятельности в заданные сроки.

Требования к уровню освоения. Курс «Self-менеджмент в научно-исследовательской работе аспиранта» рассматривается как важный, практический блок подготовки будущего ученого, расширяющий управленческий инструментарий научной деятельности, обеспечивающий возможность планомерной целенаправленной работы в период обучения в аспирантуре. В связи с этим, акценты смещены с трансляции знаний на интенсивные методы работы: большая часть занятий проводится в виде тренингов и практических занятий. Их основное назначение — выработка навыков Self-менеджмента, построение программ развития, создание собственного стиля организации НИР. Преподаватель выступает в роли модератора, тренера.

Объем дисциплины, виды учебной работы, форма текущего и итогового контроля. Общая трудоемкость дисциплины-64 часа: количество аудиторных занятий — 30 часов; самостоятельная работа — 34 часа. В связи с тем, что формирование компонентов самоорганизации требует времени в первом семестре занятия целесообразно проводить 1 раз в две недели.

Изучение дисциплины по семестрам:

1 семестр: 14 часов: лекции — 2 часа,

практические занятия — 12 часов, в т. ч. тренинги, круглые столы.
тестирование — 2 часа

самостоятельная работа — 18 часов

отчет № 1: разработка программы подготовки диссертации с использованием различных моделей организации деятельности.

2 семестр: 10 часов: лекции — 2 часа,

практические занятия — 8 часов

самостоятельная работа — 16 часов

отчет № 2 Комплексный календарный план-график подготовки диссертации.

Содержание дисциплины

Тема 1. Основы Self-менеджмента.

Самоорганизация. Структурно-функциональная модель самоорганизации деятельности. НИР аспиранта: цели, задачи технологии.

Тема 2. Целеполагание.

Методы построения целей. Временные параметры цели. Целеполагание и ресурсы личности.

Тема 3. Самодиагностика и самоанализ.

Психологический анализ ресурсов и препятствий в научной и учебной работе аспиранта. Диагностика ресурсов и прогнозирование результатов. Этапы самодиагностики: тестирование, определение проблемных зон, мишеней развития, анализ, интерпретация.

Тема 4. Проектирование.

Диссертация как проект. Жизненный цикл проекта. Технология подготовки проекта в Self-менеджменте. Понятие о модели и моделировании. Программирование.

Тема 5. Самобюджетирование.

Бюджет и бюджетирование ресурсов и времени аспиранта. Бюджетная структура и проектная структура. Анализ исполнения бюджетов. Трудоемкость. Работа с отклонениями. Равновесие. Оптимальное планирование.

Тема 6. Самоструктурирование.

Психологическая детерминация трудностей обучения взрослых. Построение организационной структуры деятельности аспиранта. Понимание

производительности, продуктивности, эффективности труда аспиранта. Факторы, влияющие на индивидуальное поведение человека в процессе реализации планов. Режимы труда и отдыха.

Тема 7. Саморегуляция.

Самооценка и саморегулирование. Построение программ коррекции. Я-концепция личности аспиранта. Контроли. Мониторинг. Завершение проекта. Незавершенные и незаконченные проекты. Прокрастинация.

Тема 8. Технологии и приемы эффективной работы.

Технологии самосовершенствования деятельности: тайм-менеджмент, тренинги достижений, развития самостоятельности.

Концепция устойчивого развития. Самоорганизация. Разработка программ развития личности и профессионального роста.

Заключение

Перспективы разработки этой темы многообещающи. Проектирование интенсивных учебных курсов, создание технологий самоорганизации, имеющих надежную психологическую основу и внедрение их в программы подготовки аспирантов, могут иметь широкое применение, с целью совершенствования общепрофессиональных компетенций соискателя ученой степени и повышения качества программ подготовки научных кадров высшей квалификации в целом.

Список литературы:

1. Архангельский Г. А. Тайм-драйв: Как успевать жить и работать. 2-е изд., доп. М. : изд-во Манн, Иванов и Фербер, 2006.
2. Берд П. Тайм-менеджмент. Планирование и контроль времени. — Пер. с англ. М.: изд-во ФАИР-ПРЕСС, 2004.
3. Бишоф А., Бишоф К. Самоменеджмент: Эффективно и рационально. М.: изд-во Омега-Л, 2005.
4. Дрю С., Бингхэм Р. Искусство быть студентом. НИРРО, 2004.
5. Ильин Е. П. Психология воли. 2-е изд. СПб.: Питер, 2009.
6. Костромина С. Н. Структурно-функциональная модель самоорганизации деятельности // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия: Психология. Социология. Педагогика. Серия 12. Вып. 4, Декабрь, 2010.

7. Костромина С. Н., Латушкина В. М. Технология подготовки научной публикации. // Гуманитарные технологии в вузовской и образовательной практике / под общ. ред. Бордовской Н. В. СПб, 2008.

8. Осницкий А. К. Психология самостоятельности. М., 2006.

9. Платонов К. К. Краткий словарь системы психологических понятий. М., 1984.

10. Психологический словарь / под ред. В. П. Зинченко, Б. Г. Мещерякова. М.: изд-во Прайм-Еврознак, 2003;

11. Новейший психолого-педагогический словарь / сост. Е. С. Рапацевич / под общ. ред. А. П. Астахова. — Минск: изд-во Современная школа, 2009.

12. Товб А. С., Ципес Г. Л. Управление проектами: Стандарты, методы, опыт. М.: изд-во Олимп-Бизнес, 2005.

ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ НАПРАВЛЕНИЯ «ИННОВАТИКА»

Макарова Д. С.

Новосибирский государственный университет экономики и управления

Подготовка специалиста в области инновационных технологий подразумевает не просто инженерное образование, а умение анализировать рынок, проводить мониторинг инноваций, быть в состоянии оценить научный потенциал организации или конкретной технической разработки.

Именно поэтому при подготовке студентов направления «Инноватика» важно уделять пристальное внимание научно-исследовательской работе студентов. Явными преимуществами такого вида самостоятельной работы является развитие профессиональных и личностных качеств, обеспечивающих полноценное формирование специалиста способного успешно осуществлять научную и трудовую деятельность.

Задача выпускающей кафедры организовать индивидуальное и коллективное участие студентов в научно-исследовательских работах и представление результатов в конференциях различного уровня. Эти мероприятия качественно дополняют учебный процесс и способствуют выявлению

учащихся имеющих повышенный уровень подготовки, которым можно рекомендовать поступление в магистратуру.

Для организации НИРС кафедра должна в режиме реального времени отслеживать студенческие мероприятия, проводимые в регионе, руководить научной деятельностью студентов и мотивировать их на принятие участия в региональных, и международных конференциях.

Научная работа студентов начинается на первом курсе, когда проводится внутривузовская конференция. По итогам ее работы можно выделить наиболее перспективных студентов, и готовить их к участию в конференциях более высокого уровня. Студенты, которые ведут научную работу, накапливают достаточное количество материала к выпускной работе.

Как показывает практика, студенты, ведущие активную научно-исследовательскую работу, уже в университете определяют спектр научных интересов и овладевают методами анализа информации на глубоком профессиональном уровне. У них возникает меньше сложностей в дальнейшей учебе и трудоустройстве.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА
ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В АППАРАТНОМ
ЦИКЛЕ ДИСЦИПЛИН ПО НАПРАВЛЕНИЮ
«ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА»

Мамутова О. В., Филиппов А. С.
*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Экспериментальные исследования на лабораторных установках и системах-прототипах являются неотъемлемой частью подготовки студентов, обеспечивая закрепление теоретических знаний и получение практических навыков работы с аппаратными средствами. В учебном плане по направлению 230100 «Информатика и вычислительная техника» профессиональный цикл включает в себя группу дисциплин для обучения студентов работе с аппаратными средствами современной вычислительной техники. В этот аппаратный цикл входят 6 дисциплин, требующих проведения лабораторных работ: ЭВМ и периферийные устройства, схемотехника,

автоматизация проектирования дискретных устройств, микропроцессорные системы и др. Традиционная схема обучения студентов предполагает проведение этих работ в отдельных лабораториях со специализированными лабораторными стендами. При таком подходе студенту требуется неоправданно большое время для знакомства с каждым новым для него лабораторным оборудованием и затрудняет проведение целевых исследований. Кроме того, развитие современных технологий приводит к быстрому моральному устареванию лабораторного оборудования. Использование единого универсального лабораторного стенда расширит возможности студентов по изучению основ современных аппаратных средств вычислительной техники.

Для проведения лабораторных работ в рамках аппаратного цикла на кафедре КСиПТ СПбГПУ разработана и используется плата DiLaV. Плата содержит расширенный набор типовых периферийных средств, используемых при исследовании цифровых устройств и систем и съемный модуль расширения с микросхемой программируемой логики (ПЛИС). Простота съемного модуля позволяет быстро организовать его изготовление с современными ПЛИС, в то время как системное окружение основной платы остается неизменным. Разработаны съемные модули с ПЛИС различных производителей. На рис. 1 представлен общий вид основной платы.



Рис. 1. Общий вид платы DiLaB

ПЛИС позволяет реализовать произвольное цифровое устройство: от триггера до системы на кристалле. Для ввода информации на плате установлены кнопки, переключатели и клавиатура, для вывода информации — светодиоды, семисегментные индикаторы, небольшой дисплей и VGA разъем с цифроаналоговым преобразователем. Также плата содержит различные периферийные разъемы, аналоговые входы/выходы, а также цифровые входы/выходы общего назначения. Для проведения части работ разработаны необходимые конфигурации ПЛИС и соответствующее программное обеспечение для инструментальной ПК.

Платы DiLaV используются для выполнения студентами лабораторных и курсовых работ по дисциплинам аппаратного цикла, начиная с 3 курса. Предложенный подход позволил заменить разные лабораторные стенды в нескольких лабораториях одним гибким и настраиваемым современным аппаратным решением.

ОПЫТ ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

Маховиков А. Б.

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

В настоящее время владение техническим английским языком является непременным атрибутом успешного и перспективного специалиста, особенно в области информационных технологий. Но, ни в средней школе, ни при обучении на кафедре иностранных языков такую подготовку получить практически невозможно. Технический английский язык может быть освоен только в процессе постоянной работы с литературой по соответствующей специальности и в процессе общения со специалистами в данной области. В частности, хороший эффект должно дать изучение специальных дисциплин на английском языке, начиная прямо с первого курса.

Такой эксперимент начался в Горном университете в этом году со студентами направления «Информационные системы и технологии», которым преподается дисциплина «Информатика» на английском языке. Выбор именно этого направления был обусловлен несколькими обстоятельствами. Во-первых, студенты этого направления изначально имеют

лучшую подготовку в области информатики, чем студенты других направлений, и осваивать дисциплину на английском им должно быть легче, чем другим. Во-вторых, именно студентам этого направления необходимо знание технического английского в области информатики и информационных технологий. И, наконец, в-третьих, при преподавании может быть использован курс Сетевой Академии Cisco «IT Essentials: Аппаратное и программное обеспечение персональных компьютеров», полностью соответствующий учебной программе дисциплины «Информатика» для направления подготовки 230400.62 – «Информационные системы и технологии» и являющийся предшественником курса Сетевой Академии Cisco «CCNA Exploration», изучаемого студентами на старших курсах.

Перед началом обучения было получено персональное согласие всех студентов группы на изучение дисциплины на английском языке. С удовольствием согласились даже те немногие студенты, которые изучают немецкий и французский языки. Также было получено согласие декана факультета и проректора по учебной работе.

Для организации обучения на сайте Сетевой Академии Cisco был создан учебный класс, в котором были зарегистрированы все студенты группы. При этом они получили доступ к электронному учебнику, лабораторным работам и экзаменационной системе. Электронный учебник состоит из шестнадцати глав. Лабораторные работы могут выполняться виртуально на компьютерной модели. Экзаменационная система позволяет сдавать как экзамены по главам, так и финальные экзамены.

Лекционные занятия строятся по следующей схеме. Открывается электронный учебник на английском языке и в первые два месяца студентам даются объяснения на русском. Впоследствии осуществляется постепенный переход на дачу объяснений по-английски. Дополнительно каждый студент обязан в рамках самостоятельной работы подготовить краткий конспект каждой главы на английском и русском языках, включающий основную информацию, содержащуюся в главе, и технические термины, которые в ней применяются. Для получения аттестации конспекты предъявляются преподавателю.

Неотъемлемой частью обучения является сдача экзаменов по главам. Экзамен представляет собой тест на английском языке, состоящий из

20 вопросов и продолжающийся один час. Успешной сдачей считается набор более 75 % правильных ответов.

Курс завершается сдачей двух финальных экзаменов на английском языке продолжительностью по три часа каждый и состоящих из 50 вопросов. Экзамен считается успешно сданным при правильном ответе более чем на 80 % вопросов. На сдачу дается две попытки. Если обе попытки оказываются неудачными, то с точки зрения Сетевой Академии Cisco студент считается не закончившим обучение. Тем не менее, такой студент все равно может сдавать экзамен в сессию по обычным правилам и получить оценку. Студенты, успешно закончившие обучение по курсу Академии, получают сертификат от компании Cisco, благодарственное письмо от CEO Cisco John Chambers и могут сдавать экзамены на индустриальные сертификаты CompTIA A+ и EUCIP Core, подтверждающие наличие практических навыков, необходимых для работы на базовых должностях в области ИКТ. Таким образом, помимо знаний, студенты получают еще и профессию.

ИНТЕРАКТИВНЫЙ ПОДХОД К МЕТОДИКЕ ИЗУЧЕНИЯ ЗАМЕНЫ БЕСКОНТАКТНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Михеев А. Г.

Самарский государственный технический университет

В современных электромеханических системах применение релейно-контактных схем управления по-прежнему считается вполне разумным и достаточно эффективным способом управления их работой. Вместе с тем, стремление повысить надежность работы и функционирования систем всегда было связано с переводом ее элементной базы на бесконтактные элементы. Поэтому умение проводить эту работу в реальных условиях всегда будет полезно для будущих специалистов, занимающихся вопросами управления в технических системах. Исходя из этого, при подготовке бакалавров по направлению 220400 и была поставлена задача об изучении общей методики проведения таких работ. Решение этой задачи проводится в рамках дисциплины МОТС, читаемой в первом семестре, когда исходная подготовка студентов

еще не приобрела профессиональной направленности. С учетом этого обстоятельства и была разработана общая методика проведения таких работ. Эта методика сводится к выполнению следующей последовательности действий: вначале каждый студент получает индивидуальное задание на выполнение всего комплекса работ, связанных с переводом одного из вариантов реальной релейно-контактной схемы системы или ее фрагмента на эквивалентную схему, но уже с использованием бесконтактной элементной базы, реализующей операции базиса И-ИЛИ-НЕ. На первом этапе, по этой схеме системы управления он должен научиться описывать ее работу с помощью аналитических выражений алгебры логики. Этот этап является частью его самостоятельной работы, но полученные им результаты обсуждаются на практических занятиях уже в режиме расширенных семинаров. Это позволяет закрепить полученный опыт аналитического описания работы реальных схем управления у всей аудитории и одновременно проверить правильность использования и записи ими основных операций алгебры логики.

Дальнейшая работа студентов ориентируется на решение уже традиционных задач, связанных с реализацией полученных логических функций и выражений. Однако, этому этапу предшествует работа, связанная с минимизацией полученных выражений логических функций. Такая работа может проводиться либо с использованием аналитических методов, либо с использованием карт Карно. Получаемые при этом результаты, вновь становятся предметом обсуждения на семинаре, где каждый студент выступает в роли проектировщика и вынужден отстаивать принятые им решения и полученные результаты. Основные трудности при этом возникают у авторов разработок, так как они слабо владеют спецификой работы реальных систем и не совсем адекватно подходят к реализации обратных связей релейных систем и схем перекрестного взаимодействия между каналами управления. Поэтому на этом этапе становится более активной позиция преподавателя, который выступает в роли главного консультанта и советчика при обсуждении вариантов решения задачи и достигнутых при этом результатов. Кроме того, преподаватель получает возможность оперативного вмешательства в сам процесс познания студентом основ теоретических разделов курса. В ходе проводимых дебатов и обсуждений особенно наглядно проявляются

пробелы в понимании излагаемых проблем, связанных с анализом условий работы переключательных схем и цифровых автоматов, реализующих логические алгоритмы управления. Это позволит своевременно скорректировать содержание разделов курса и методику проведения лекционных и практических занятий. Основной задачей при этом становится повышение мотивации у слушателей, используя для этих целей его заинтересованность в первых результатах своей самостоятельной работы. Опыт проведения обучения через диспут-семинар показал эффективность этого процесса преподавания чисто технических наук, особенно в условиях значительного сокращения всех видов практики в рабочих планах подготовки бакалавров.

Литература:

1. Орлов С. П., Мартемьянов Б. В. Арифметика ЭВМ и логические основы переключательных функций. М., Машиностроение-1, 2005.

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ ОЦЕНКИ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ УСТРОЙСТВ

Мовчан И. Б., Брагинец О. Н.

*Национальный минерально-сырьевой
университет «Горный»*

Беспилотные устройства (UAV, дроны), имитирующие все виды пилотируемых агрегатов, а также их гибриды, рассматриваются в современной научно-технической литературе [1], во-первых, как эффективные средства слежения, во-вторых, в качестве мобильных элементов для картографической поддержки, в-третьих, в рамках снижения стоимости при выполнении аэрогеофизического мониторинга. Опыт показывает, что лишь в задачах аэрофотографирования и наблюдения наземных объектов в режиме реального времени беспилотники способны себя окупать. В прочих исследовательских направлениях сказываются такие принципиальные их недостатки как ограниченный полетный ресурс, влияющий на сохранность ценной измерительной аппаратуры, а также малая инерционность агрегата, определяющая значимые его девиации. Например, сравнивая карту аномального магнитного поля, полученного силами аэропартии в 80-х годах

посредством квантовых магнитометров, и карту этого же поля, измеренного современным цезиевым магнитометром с борта UAV [2], имеем неоднозначный результат:

- с одной стороны, при использовании беспилотника с бензиновым двигателем и компьютерной топографической привязкой траектории полета оказывается возможным, меняя высоту полета, оценивать пространственную структуру магнитного поля на разных уровнях генерализации и, следовательно, глубинности. В условиях указанного оснащения беспилотник способен «закрыть» определенную площадь, которая, тем не менее, много меньше площади, исследуемой силами аэропартии. Последняя в детерминированном масштабе геофизического картирования выполняет полет на заданной высоте, что исключает оценку эффекта генерализации.

- с другой стороны, сопоставление указанных выше карт магнитного поля с геологической основой демонстрирует значимые отклонения контуров магнитных аномалий при беспилотной съемке от известных структурных и тектонических контактов структурно-вещественных комплексов по сравнению с контурами магнитных аномалий, измеренных при пилотируемом полете.

В геологической среде указанные особенности и относительно высокая цена беспилотной системы мониторинга сформировали два доминирующих крайних мнения, сводящихся либо к принципиальной бесполезности дронов, либо к возможности их использования для опережающих оценок. Наш опыт эксплуатации данного оборудования демонстрирует наличие еще одного направления, связанного с полевыми геолого-геофизическими работами. Как известно, при геологической съемке выполняется поиск и описание обнажений четвертичных и дочетвертичных комплексов с сопутствующим сбором образцов и измерением элементов залегания контактных поверхностей, а ключевым элементом наземной геофизической съемки можно назвать разбивку системы профилей. Последние должны быть ориентированы вкрест доминирующих простираний структурных и тектонических границ структурно-вещественных комплексов. Указанные работы часто выполняются в дикой местности, как в условиях дифференцированного рельефа, так и плотной и высокостойкой растительности. Для локальных исследовательских групп весьма ценной

оказывается возможность высотного обзора окрестностей исследуемого полигона путем кратковременного вертикального подъема беспилотника. Среди решаемых проблем особый акцент можно сделать на таких аспектах как: фотографирование выходов горных пород в условиях клифа; разно-высотное фотографирование окрестности в расположении исследовательской группы; перспективное фотографирование. Особо интересными оказываются второй и третий аспекты, в рамках которых нами рассматриваются аэрофотоизображения, подлежащие структурно-геологической интерпретации, несмотря на значимую дисторсию в условиях фотографирования через короткофокусный объектив.

Интерпретация выполняется нами на основе авторского способа линейно-амбигуально-волнового анализа [3], апробированного и внедренного в производственную практику группы геофизических компаний «Теллур СПб». Указанный способ включает в себя три базовых подхода: структурные реконструкции по полю оптической плотности дистанционной основы на разных уровнях генерализации; латеральные классификационные обобщения и поиск пространственных закономерностей в квазинепрерывном структурном каркасе с построением структурного интер- и экстраполяционного прогноза; аналитическое продолжение в геологическое полупространство, ориентированное на поиск унаследованности в семействе разноранговых геоструктурных элементов и на привязку эталонных объектов с последующим глубинным структурным прогнозом, дублирующим латеральный структурный прогноз. В рамках указанного способа выполняются построения как в условиях избытка априорной информации (наличия геологической основы, топоосновы, дистанционной основы и геофизических полей), так и в ее отсутствие (географическая привязка лицензионного участка). В последнем случае применяется авторский модуль автоматизированной оцифровки применительно к топооснове с ее последующими качественными и количественными пересчетами. Комплект итоговых материалов включает площадные структурные схемы, разного уровня генерализации; структурные схемы с семейством прогнозных структурных маркеров; структурных разрезов, особенности которых привязаны к априори заданным эталонным объектам.

Литература:

1. Barnard J. The use of unmanned air vehicles in exploration and production activities / The issue «The Use of UAV's in E&P activities» — SEG Conference, Las Vegas, USA, 2008.

2. Cowan D. et al. Drape-related problems in aeromagnetic surveys: the need of tight-drape surveys // Journ. «Exploration Geophysics». — vol. 34. — 2003. — p. 2720-2726.

3. Мовчан И. Б. и др. Способ автоматизированного структурного дешифрирования космоснимков // Региональная геология и металлогения, ВСЕГЕИ. — № 23. — 2005. — с. 43-54.

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В СРЕДЕ ADOBE И MOODLE СТУДЕНТОВ И СЛУШАТЕЛЕЙ ФАКУЛЬТЕТА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

Морокина Г. С., Платонова Э. В.
*Национальный минерально-сырьевой
университет «Горный»*

В данной работе рассматривается опыт обучения, проводившийся в СЗТУ с помощью средств Adobe и Moodle в виртуальном пространстве с применением презентаций. При чтении лекций на распределенную аудиторию (РА — для студентов г. Кронштадта, Выборга, Пушкина, Ломоносова) с применением презентаций и трансляцией через средства интернет и проекцией на большой экран (возможностью диалога через микрофон) или при проведении дистанционных занятий (ДОТ — для единичных студентов в разных городах), заключающихся в изучении лекционного материала, размещенного на сайте, проведении практических, консультационных занятий, форумов в интерактивном режиме предусматривается активное участие студентов. Подготовка к обсуждению и выступлениям в форуме оговаривались заранее, размещалась тема предстоящих занятий. Основными элементами обучения ДОТ является хорошо продуманная Презентация в Power Point и Тест в Moodle. Для проведения форумов по теме составлялся список из 3-5 тем. Для успешного усвоения лекционного материала необходимо наличие напечатанных учебных пособий (возможно

использование электронных лекций) и учебной тетради с напечатанными на полях слайдами презентации, чтобы студент мог во время изучения лекций делать свои пометки напротив каждого слайда [1]. Во время консультационного занятия с презентацией фрагмента интерактивного занятия необходимо ознакомить с основными положениями курса (структура, форма преподавания: веббазируемая, интерактивная, соотношение лекций и практических занятий). В начале лекционного курса студентам представляются электронные материалы и возможности электронной библиотеки университета. На каждом занятии ДОТ в интерактивном режиме проводилась оценка знаний студентов, опросом в Adobe или проверкой ответов на краткие тесты, выслушивались вопросы и комментарии студентов. Выпускники прошлого года по специальности- 200101.65.20 показали высокую заинтересованность и успеваемость.

Литература:

1. Морокина Г. С. «Разработка стрелочного виртуального прибора на базе Trace mode6 для дистанционного обучения в вузе», В сб. «Инновационные технологии в образовательной деятельности», СПб, СЗТУ, 2011 г., с. 42-43.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ ВЫСОКОНАДЕЖНЫХ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ К ВНУТРИСХЕМНОМУ ТЕСТИРОВАНИЮ

Ненашев О.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Работа посвящена проблемам автоматической генерации средств внутрисхемного тестирования и самодиагностики цифровых устройств. Задача является частным случаем автоматизации разработки электронных устройств, которая является одним из перспективных направлений развития технической науки. Для решения проблемы мы предлагаем использовать специализированные средства, называемые средствами автоматизации реинжиниринга (САР).

В предыдущих исследованиях нами предложена внутренняя модель представления устройства в САПР, которая подходит для программного анализа и трансформации архитектуры устройств. Разработаны методики выполнения элементарных операций над моделью и алгоритмы импорта-экспорта модели из существующих языков описания устройств (HDL). Реализован программный прототип, который реализует предложенные подходы и методики, а также позволяет быстро прототипировать алгоритмы работы с моделью и интегрироваться с существующими средствами разработки (рис. 1). Вкупе решение этих задач дало базовый инструментарий, который мы стремимся использовать для решения частных задач реинжиниринга устройств.

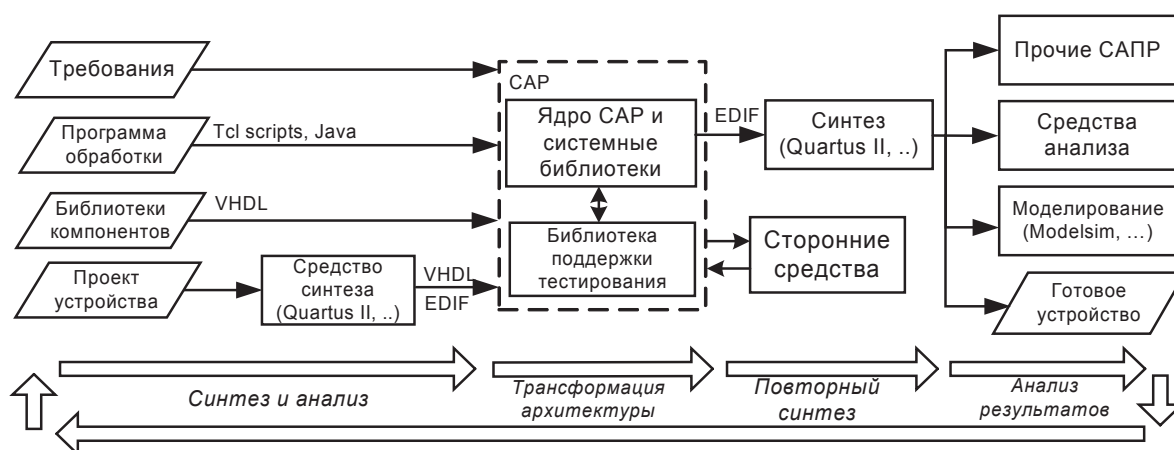


Рис. 1. Интеграция прототипа САПР в процесс разработки

Текущим направлением работы является обеспечение и контроль качества высоконадежных цифровых устройств. Нашей группой предложены решения по автоматическому введению структурной избыточности в устройство, замены внутренних компонентов на более надежные аналоги и пр. В данной работе рассматриваются проблемы автоматизации тестирования и диагностики устройств — процессов, которые сильно влияют на качество устройств. Решение этих проблем позволит существенно сократить затраты на проведение внутрисхемного тестирования устройств, а также повысить качество самих изделий за счет лучшего тестового покрытия и снижения риска наведенных ошибок, вызванных тестовым окружением.

Внедрение тестовых компонентов требует внесения существенных изменений в архитектуру устройства. При этом решаются следующие частные задачи реинжиниринга:

- изоляция тестируемого модуля от связанных с ним элементов;
- изоляция прочих модулей от влияния тестируемого модуля;
- обеспечение управляемости модуля (возможность перевода устройства в начальное состояние теста за конечное время);
- обеспечение частичной наблюдаемости (вывод необходимых для тестирования сигналов, в том числе и внутренних);
- добавление средств исполнения тестовых алгоритмов.

Для автоматического решения перечисленных задач в общем случае недостаточно HDL-спецификации. Например, в популярном языке VHDL поддерживается поведенческая нотация, в которой необходимые для задания начального состояния элементы памяти выражены неявно. Мы предлагаем использовать совместно элементы высокоуровневого (HDL) и низкоуровневого (нетлисты) описаний. Это позволяет агрегировать необходимую информацию в рамках одного представления, что удобно для анализа и трансформации архитектуры.

В рамках исследования разработана подобная «гибридная» модель устройства, которая включает необходимую информацию. В модели низкоуровневое структурное описание расширяется с помощью элементов HDL (интерфейсы, условная генерация, статическая параметризация компонентов) и современных объектно-ориентированных языков.

На базе предложенной модели разработано дополнение к прототипу САР, которое решает следующие задачи:

- ввод-вывод диагностических сигналов;
- встраивание генераторов тестовых сигналов;
- вывод и модификация содержимого внутренней памяти;
- встраивание тестового интерфейса и подключение к нему тестовых агентов устройства.

Разработанный прототип прошел апробацию на практических задачах и в настоящее время внедрен в одной из российских компаний, занимающейся разработкой заказных СБИС для аэрокосмической отрасли.

Ведется работа по расширению функциональности прототипа с целью дальнейшего распространения предлагаемого решения.

Кроме автоматической генерации тестового окружения, мы стремимся решить задачу переноса в это окружение тестов, созданных для средств функциональной симуляции. Обычно эти тесты создаются параллельно с разработкой самих устройств, поэтому возможность запуска данных тестов на микросхеме позволит сократить фазу внутрисхемного тестирования прототипа. Поскольку тесты обычно реализуются на языках программирования или несинтезируемом подмножестве HDL, то задача их переноса в устройство нетривиальна.

Используя предыдущее решение, мы предлагаем методику по автоматической генерации тестовой обвязки, которая будет поддерживать базовые команды средств симуляции. Существует три основных группы команд симуляции: установка и считывание сигналов, создание триггеров событий и управление временем. Перечисленные команды могут быть переопределены в среде симуляции и через тестовый интерфейс перенаправлены в устройство, в которое встроены тестовые агенты (см. рис. 2). Подход не только упрощает внутрисхемное тестирование, но и предоставляет возможность совместной валидации модели и физической реализации в одном тестовом окружении.

В работе предложен набор тестовых компонентов (мониторы, генераторы, адаптеры внешних интерфейсов), которые интегрируются между собой с помощью общей шины. Таким образом, тестовые компоненты устройств могут быть автоматически собраны САР из унифицированных блоков по внешним описаниям.

Для проведения самодиагностики в устройства встраивают модули воспроизведения тестовых векторов, которые обеспечивают запуск тестов внутри устройств и позволяют проводить самодиагностику отдельных компонентов. Поскольку САР поддерживают универсальные языки программирования, алгоритмы генерации тестовых векторов по описаниям тестов можно включить в приложение. В настоящее время ведется прототипирование подобных алгоритмов.

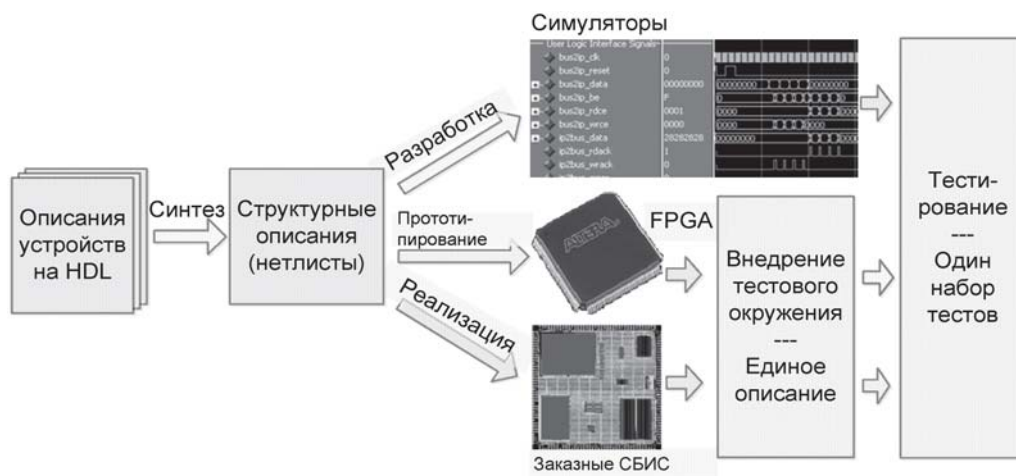


Рис. 2. Объединение фаз тестирования на стадиях разработки

В заключение мы хотим сказать, что средства автоматизации реинжиниринга являются перспективным направлением, которое лишь начинает развиваться в сфере разработки устройств. Работ по данному направлению в мире практически нет, поэтому успешное развитие тематики и доведение разработки до практического применения позволит внести привлечь внимание к российской науке и существенно снизить затраты на проведение тестирования устройств. Мы планируем продолжить работу по данной тематике и расширить области применения предлагаемых нами подходов. Для этого мы готовы сотрудничать с российскими компаниями с целью дальнейшей апробации прототипа САР и автоматизации их частных задач реинжиниринга устройств.

МЕТОДОЛОГИЯ ОБУЧЕНИЯ СОТРУДНИКОВ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ПРИБОРНЫМ МЕТОДАМ КОНТРОЛЯ ПОДЛИННОСТИ ДОКУМЕНТОВ

Павлов И. В.

*Национальный минерально-сырьевой
университет «Горный»*

В докладе рассматриваются основные защитные признаки современных ценных бумаг и документов, способы идентификации защитных признаков, способы определения подлинности документов и ценных бумаг, в том числе с помощью специализированной аппаратуры. Отдельное

внимание уделяется методологии эффективного обучения сотрудников имеющих техническое и гуманитарное образование, различный уровень начальной подготовки.

В последнее время круг окружающих нас документов значительно расширился. Здесь и внутренний и заграничные паспорта, водительское удостоверение, технический паспорт на автомобиль, паспорт на квартиру, гараж, дачу, многие другие документы, и конечно, деньги.

Что наши документы защищены от подделки, знают все. Но вот как проконтролировать наличие этих защитных признаков и вообще, что контролировать — знают немногие. Сложилась тревожная ситуация: практически все наши документы защищены от подделки, имеются инструментальные и просто визуальные методы контроля подлинности, имеются отличные отечественные приборы для контроля, а вот доступных широкому кругу граждан методик нет!

В докладе, который сопровождается компьютерной презентацией, представлены методики контроля документов. Методики рассчитаны на преподавание дисциплины работникам МВД, прокуратуры, паспортно-визовых служб в рамках послевузовского образования.

Литература:

1. Павлов И. В. Потапов А. И. Контроль подлинности документов, ценных бумаг и денежных знаков: Учеб. – справочное пособие. Москва: Техносфера, 2006. — 472 с.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКА

Палаев А. Г.

*Научно-инновационный центр ультразвуковых технологий,
г. Санкт-Петербург*

Основной целью развития современного машиностроения является повышение качества и надежности выпускаемой продукции и интенсификация производственных процессов. Достижение этой цели возможно только в результате реализации современных технологий, основанных на достижениях современной науки.

В работе рассмотрены основные результаты исследований и разработок по применению ультразвуковых технологий в машиностроении, выполненных в научно-инновационном центре ультразвуковых технологий.

1. При исследовании процессов резания при подаче ультразвуковых колебаний на режущую кромку инструмента было установлено существенное снижение сил резания в 8-10 раз, износа режущей кромки инструмента в 2-3 раза. Получено снижение шероховатости поверхности металла до Ra 0,20 - 0,25 мкм.

2. В процессе ультразвуковой упрочняюще-финишной обработки металлов удалось достигнуть шероховатости поверхности — Ra 0,025 от исходной Ra 6,3; повышения микротвердости на 50 – 80 % на глубину до 1 мм.

3. Значительная интенсификация процессов наблюдается также при механической размерной обработке хрупких и твердых материалов (камень, стекло). Полученное отверстие или рисунок зеркальная копия формы ультразвукового инструмента.

4. Высокая эффективность достигается при ультразвуковой сварке металлов (точечная и шовная), получено высокое качество, в том числе при сварке разнородных материалов. Можно приварить медные или алюминиевые провода к керамике, стеклу, отсутствуют остаточные внутренние напряжения.

5. При ультразвуковой сварке пластмасс (точечная и шовная) возможно соединение деталей из твердых пластмасс на расстоянии от места ввода ультразвуковой энергии, возможно введение эффективной автоматизации и управление параметрами технологического процесса. Исключаются расходы на соединительные материалы (растворители, клей, нитки).

6. Эффективность ультразвуковой мойки во много раз превосходит эффективность мойки традиционными способами (щетками, губками, струей воды). Ультразвуковая мойка позволяет легко удалять жировые и масляные загрязнения, нагар, окислы, остатки лакокрасочных покрытий, позволяет эффективно очищать труднодоступные участки поверхности, внутренние полости, поверхности сложного профиля.

Анализ полученных результатов показывает, что широкое использование ультразвуковых технологий в разных отраслях промышленности позволит осуществить прорыв в интенсификации производственных процессов, повышении качества и надежности изделий.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ СО СТУДЕНТАМИ СТАНОЧНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Пелевин Н. А., Прокопенко В. А.
*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

В учебном процессе студенты для исследования динамического качества систем управления (СУ) станков могут использовать современное программное обеспечение «MATLAB», «MBTU», «SamSim», «Mathcad», и др. «SamSim» имеет достаточно гибкую систему построения структурных схем СУ, но полученные данные не отличаются большой точностью. Нет возможности построения нелинейных физико-математических моделей. Имеются трудности в обработке, полученных результатов. Программа динамического моделирования «MBTU» имеет ограниченные настройки, требуемые при моделировании, также имеются сложности построения динамических характеристик. В этом пакете отсутствует возможность построения нелинейных моделей.

В программном продукте «Mathcad» для решения задач (например, исследование нелинейных физико-математических моделей) требуются знания программирования, которыми в большинстве своем студенты не обладают. Возникает проблема либо учить студентов программированию, либо перейти к освоению программного продукта, в котором знания программирования не требуются.

Рассмотрим именно такую среду моделирования «Simulink», встроенную в программный продукт «MATLAB», в которой отсутствуют все вышеперечисленные недостатки. «Simulink» — это интерактивная система для решения широкого класса динамических задач. При моделировании с использованием «Simulink» реализуется принцип визуального программирования, в соответствии с которым, из библиотеки стандартных блоков создается модель и осуществляются расчеты. При моделировании можно выбирать метод решения, а также способ изменения модельного времени. В ходе моделирования имеется возможность следить за процессами, происходящими в системе. Для этого используются специальные

«устройства» наблюдения, входящие в состав библиотеки «Simulink». Результаты моделирования могут быть представлены в виде графиков или таблиц.

С учетом вышесказанного были разработаны модели [1, 2] в среде «MATLAB Simulink» для исследования динамики станочных систем и методические указания для студентов, позволяющие достаточно просто работать с ними. Результаты моделирования, получаемые при использовании разработанных моделей, позволяют оперативно и в максимальном объеме получить значения основных расчетных параметров СУ.

Разработанные методические указания и модели можно рекомендовать для проведения исследовательских работ студентами курсового и дипломного проектирования в рамках учебной и научно исследовательской работы.

Литература:

1. Пелевин Н. А. Применение системы «MATLAB SIMULINK» для проведения исследований гидростатических подшипников / Н. А. Пелевин, М. С. Бундур // XLI Неделя науки СПбГПУ: материалы международной научно-практической конференции. — СПб., 2012. — Ч. 4: Механико-машиностроительный факультет / [под ред. М. М. Радкевича, М. С. Кокорина]. — С. 27-29.

К ВОПРОСУ О ПРЕПОДАВАНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ» ДЛЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Петухова Н. М.

*Национальный минерально-сырьевой
университет «Горный»*

Курс «Математические методы» становится обязательной частью программ профессиональной подготовки современных экономистов и управленцев. В нем рассматриваются математические модели и методы, помогающие принимать эффективные управленческие решения, так как в реальной деловой практике проблема принятия обоснованного решения является важной.

Традиционный подход к преподаванию подобной дисциплины делает акцент на математической стороне проблемы, на детальном изучении метода, рассмотрении вопроса о том, как получить решение задачи, используя тот или иной математический метод, какие использовать алгоритмы решения поставленной задачи, какие алгоритмы являются наиболее эффективными и т. д. Это оправдано, если речь идет о подготовке специалистов в области исследования операций, а если о подготовке экономистов или управленцев — акцент следует сместить на применение готовых компьютерных программ для расчета моделей и на анализе полученного решения.

Основная задача курса — подготовить будущих специалистов к использованию математических методов для формирования оптимальных управленческих решений.

Для расчета моделей удобно использовать общедоступный табличный процессор MS Excel с дополнительными надстройками. Однако решение многих задач на графах в нем часто затруднительно. Поэтому целесообразно познакомить студентов с разработанными пакетами компьютерной математики, среди которых выделяется система Maple, являющаяся удобным средством для решения оптимизационных задач, в том числе и задач на графах.

РАЗВИТИЕ ОЛИМПИАДНОГО ДВИЖЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ»

Попов А. И., Кузнецова Т. С., Васильев А. А.

*Тамбовский государственный
технический университет*

Олимпиадное движение студентов в вузе является не только способом выявления одаренных личностей, но и полноценной формой организации обучения, стимулирующей развитие творческого потенциала обучающихся и способствующей более глубокому и системному освоению содержания учебных дисциплин [1]. Олимпиада как соревнование дает возможность проявить себя в нестандартной обстановке, развить креативный образ мышления при разработке учебно-профессионального проекта, приобрести навыки творческой деятельности в стрессовой ситуации.

Олимпиада по дисциплине «Управление инновационной деятельностью» является заключительным этапом творческой подготовки студентов по направлению «Инноватика». В ней студенты получают возможность попробовать себя в разработке и защите инновационных идей для промышленных предприятий, приобретают незаменимый опыт работы с различной научно-технической и финансовой информацией, формируют организационно-управленческие компетенции: коммуникативные, умение работать в команде, лидерские качества, умение сочетать личные и общественные цели.

Результативность олимпиады как средства обучения деятельности в условиях ограничений во многом определяется ее организацией, так как творческая направленность ограничивается законами соревнования, когда участник должен максимально сконцентрироваться и оптимально использовать все свои знания и творческий потенциал для выработки предложений по наиболее предпочтительной схеме коммерциализации своей инновационной идеи. В этом контексте одной из основных задач организаторов становится создание благожелательного микроклимата на Всероссийской олимпиаде и установление коммуникации между участниками олимпиады из разных регионов России, поскольку стрессовая ситуация может негативно сказаться как на выполнении конкурсного задания, так и на всем дальнейшем процессе творческой подготовки. Решению поставленной задачи способствует встреча участников, знакомство с представителями других команд, организация их деятельности во время различных мероприятий на олимпиаде. Поскольку наряду с образовательной составляющей олимпиада несет в себе и воспитательный компонент, необходимо должное внимание уделить и знакомству с вузом и городом, их научными и культурными традициями.

С учетом того, что олимпиадные задания отражают специфику организации творческой работы в конкретном вузе, мы считаем целесообразным предварительное знакомство участников с правилами проведения олимпиады, с особенностями и направленностью предлагаемых конкурсных заданий, с типовыми ошибками участников олимпиады прежних лет.

Для студентов важным этапом является рефлексия их творческой деятельности, поэтому необходимо обеспечить каждого обучающегося как

авторскими вариантами решений конкурсных задач, ознакомить с системой критериев и окончательными результатами их проверки, так и провести полноценное обсуждение задач вместе с авторами и членами жюри.

Повысить эффективность олимпиадного движения можно, на наш взгляд, включением в программу ряда новых конкурсов:

Разработка своей инновационной стратегии по всем позициям (управление, финансы, производственные технологии, маркетинг и др.) по выданной перед началом конкурса полной информации по какому-либо предприятию отрасли.

Разработка схемы диффузии предложенной инновации в другие отрасли.

Оценка проблемной ситуации, сложившейся на реальном предприятии, и выработка комплекса мер по выходу из нее с использованием методов математического моделирования.

Развитие механизма проведения олимпиады по дисциплине «Управление инновационной деятельностью» позволит вовлекать в олимпиадное движение и эффективно формировать необходимые для профессиональной деятельности в инновационной сфере компетенции у большего числа студентов.

Литература:

1. Попов А. И. Методологические основы и практические аспекты организации олимпиадного движения по учебным дисциплинам в вузе: монография / А. И. Попов, Н. П. Пучков. — Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. — 212 с.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБУЧЕНИИ ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

Рачева Н. В.

*Национальный минерально-сырьевой
университет «Горный»*

В учебном процессе профессиональной подготовки важно привить студентам навыки по выработке приемлемых решений в условиях первоначальной недостаточной информированности по экологической ситуации территориальных комплексов (ТК).

Современные возможности компьютерных технологий на базе математических моделей сделали реальным объединение строго формальных и плохо формализуемых подходов в интерактивные процедуры.

Для формирования набора наиболее опасных загрязняющих веществ (ЗВ) можно выделить следующие основные задачи по определению:

- точек для забора проб по почвенному слою и замеров воздушной среды;
- временных показателей использования ТК в хозяйственной деятельности;
- возможных структурных изменений ТК;
- критериев для анализа затрат по сохранению экологической среды.

Большинство вариантов по оценке ТК формируются на компромиссной основе ограничений и требований, предъявляемых к предполагаемому набору ЗВ. При этом следует учитывать различную динамичность почвенного слоя и воздушной среды.

Набор замеров ЗВ можно представить в виде множества $R = \{R_1(t), \dots, R_m(t)\}$, где $k = 1, \dots, m$ есть количество k -го типа в t -м временном интервале.

Временной период накопления ЗВ можно разбить на T интервалов. На процесс накопления ЗВ наложить нормативные ограничения, а подмножество наиболее опасных ЗВ установить суммарное ограничение.

Выделение замеров может быть близким к равномерному показателю, что предоставит возможность свести оценку загрязнения ТК к сетевым моделям [1]. При наличии программной реализации данные модели позволят более объективно провести оценку экологической ситуации по ТК. В рамках учебного процесса программная реализация сетевых моделей демонстрирует студентам наглядно применение математических моделей в инженерной экологии.

Литература:

1. Сибирев В. Н. Распределение ресурсов в режиме диалога ЛПР-ЭВМ. — Л., СЗПИ, Межвузовский сб., 1987. с. 41-49.

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ СКОРОСПЕЛОСТИ ОБАЗЦОВ ГРЕЧИХИ.

Романова О. И., Кошкин В. А.

*Всероссийский научно-исследовательский
институт растениеводства им. Н. И. Вавилова*

Гречиха, родиной которой является Южный Китай, широко культивируется в настоящее время в Азии, Европе, Америке, странах бывшего СССР и Австралии. Восточная часть европейского континента стала вторичным ареалом гречихи обыкновенной (*Fagopyrum esculentum Moench*), сформировавшимся в процессе земледельческого освоения его славянскими народами [1] при продвижении их из земель современной Украины в северо-восточном направлении до 60° северной широты. Согласно географическому положению места первичного происхождения, гречиха относится к культурам короткого дня, что определяет ее чувствительность к длинному дню на территории России и препятствует миграции южных короткодневных форм к северу.

Изучение реакции образцов гречихи обыкновенной модифицированным методом [2] на 19 часовом световом периоде (ДД) и 12 часовом (КД) выявило, что отечественные местные формы характеризуются пониженной чувствительностью к длинному фотопериоду. Интерес представляют результаты изучения двух дикорастущих и одного синтетического видов рода *Fagopyrum* Mill., не прошедшие длительный путь адаптации в условиях более высоких широт. Тетраплоидный образец *F. tataricum* Gaertn. (к-108) из Китая является материнской и *F. cymosum* Meissn. из Индии — отцовской формами аллотетраплоида *F. giganteum* Krot. В сравнении с фотопериодически слабо чувствительным и наиболее чувствительным образцами обыкновенной гречихи, изученные виды показали себя сильно чувствительными к длинному дню (табл. 1).

Специфической особенностью гречихи является узкая норма экологической реакции, поэтому адаптация к различным неблагоприятным факторам среды обеспечивается за счет одного механизма — оптимизации продолжительности вегетационного периода [3]. С применением метода определения скороспелости гречихи на основе морфологических

признаков — числа узлов зоны ветвления главного побега (ЗВС) [4] была получена дополнительная информация о реакции образцов на длинный (ДД) и короткий (КД) дни. Образец со слабой фотопериодической чувствительностью (ФПЧ) имел одинаковое модальное значение признака «число узлов в ЗВС» на длинном и коротком днях, в то время как у образцов с сильной ФПЧ наблюдалось повышение значений этого признака в условиях длинного дня (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика некоторых образцов гречихи по ФПЧ в условиях короткого и длинного дней, Пушкин, вегетационный опыт, 2012

№ кат. ВИР	Образец, происхождение	Продолжительность периода всходы - цветение, сут.		Т1 - Т2	Кфпч *	Число узлов в ЗВС, шт. мода.	
		КД Т2	ДД Т1			КД	ДД
2433	<i>F. esculentum</i> Владимирская обл., Россия	25,6	25,6	0	1,00	3-4	3-4
1769	<i>F. esculentum</i> Китай	27,1	39,9	12,8	1,47	5	8
108	<i>F. tataricum</i> (4n) Китай	29,9	44,2	14,3	1,48	7	9
4231	<i>F. cymosum</i> Индия	49,3	83,0	33,7	1,68	7-8	13
109	<i>F. giganteum</i> Полтавская обл., Украина	40,5	82	41,5	2,02	9	12

$$*K_{фпч} = T_1/T_2$$

В пределах восточноевропейской части ареала экологическая адаптация гречихи обеспечивается наличием в структуре популяций морфотипов ЗВС-3, ЗВС-4, ЗВС-5, ЗВС-6, ЗВС-7. Морфотипы ЗВС-6, ЗВС-7 являются позднеспелыми, ЗВС-3, ЗВС-4 — скороспелыми и их преобладание в образцах-популяциях гречихи имеет региональную зависимость [3]. В

нашем опыте в условиях 12 часового дня только один ФПЧ чувствительный образец по структуре ЗВС можно отнести к среднеспелой группе. В условиях 18 часового дня все ФПЧ чувствительные образцы формируют больше узлов в ЗВС и характеризуются как позднеспелые.

У гречихи наблюдается феномен стабильности во времени процесса формирования плода и его созревания. Поэтому именно продолжительность периода всходы-цветения является определяющей в продолжительности вегетации образца. Таким образом, комбинируя метод изучения фотопериодической чувствительности гречихи с определением метамерного строения главного побега, получаем информацию не только о ФПЧ образца, но и о длине вегетационного периода, степени скороспелости образца, пригодности возделывания его в конкретных географических точках.

Литература:

1. Теоретические основы селекции. Т. 5. Генофонд и селекция крупных культур. Гречиха: под ред. В. А. Драгавцева. Т. 5 / Фесенко Н. В., Фесенко Н. Н., Романова О. И. и др. — СПб; ВИР, 2006. — 196 с.

2. Кошкин В. А., Романова О. И. Модифицированный метод изучения фотопериодической чувствительности образцов гречихи. 2010 Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах: Материалы 15 Всероссийской конференции. Т. 1. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010, 345-347.

3. Fesenko A., Romanova O., Fesenko N. Peculiarities of Common Buckwheat Adaptation to Growing Conditions. The European Journal of Plant Science and Biotechnology. Special Issue 4, Global Science Books, Ltd, UK, 2012, 75-79. <http://www.globalsciencebooks.info/Journals/GSBJournals.html>

4. Романова О. И., Фесенко А. Н. О возможности использования элементов метамерного строения растения для сравнительной оценки скороспелости образцов гречихи. Высокие интеллектуальные технологии и инновации в национальных исследовательских университетах: Материалы Международной научно-методической конференции. 9-10 февраля 2012 года, Санкт-Петербург. Том 2. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012, 60-63.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШТАМПОВ

Самаркин А. И., Дмитриев С. И.,

Евгеньева Е. А., Голышев С. Н.

Псковский государственный университет

Процесс проектирования сложной технологической оснастки, к которой относятся штампы, является трудно формализуемым и многовариантным, а результаты проектирования могут оцениваться с точки зрения различных, зачастую взаимоисключающих критериев.

Следует заметить также, что проектирование оснастки является частью общего процесса технологической подготовки производства и, как следствие, связано с иными производственными процессами (изготовление, испытание, внедрение, наладка, модернизация оснастки, оптимизация конструкции по результатам эксплуатации и т. д.).

Собственно проектирование оснастки на примере штампа сводится к следующим действиям [1]:

- разработке и оптимизации схемы раскроя ленты;
- размещению вырубных и гибочных пуансонов;
- пространственной компоновке штампа;
- вставке стандартных компонентов (колонки, отлипатели и т. п.);
- проектированию нестандартных элементов.

Как элемент производственного процесса и объект автоматизации, проектирование такой сложной оснастки как штампы и пресс-формы подразумевает использование ряда обеспечивающих ресурсов, к которым относят, в частности [2, 3]:

- информационное;
- нормативное;
- логическое;
- алгоритмическое;
- программное.

Применение систем автоматизированного проектирования (САПР), с одной стороны, обеспечивает высокую производительность труда

конструктора и сокращение сроков разработки внедрения в несколько раз при высоком качестве проектируемых конструкций, с другой — ограничивает диапазон возможных решений алгоритмизированными на текущем уровне развития систем автоматизированного проектирования процессами разработки (workflow).

По мнению отечественных авторов [4, 5]: именно интегрированные САПР отличаются наиболее высоким качеством проектирования и являются перспективными для дальнейшей разработки и использования, несмотря на их значительную ресурсоемкость и не преодоленные до сих пор трудности реализации. В настоящее время, тем не менее, на рынке представлены программные продукты, обеспечивающие меньшую степень автоматизации. Так, в отечественной системе «Компас-Штамп» [6]: реализована автоматизация выбора стандартных и стандартизованных деталей оснастки из базы параметризованных прототипов деталей (информационно-нормативное обеспечение). Автоматизация процесса принятия конструкторских решений отсутствует и ограниченным образом фиксируется в виде дерева проектирования. Отсутствует автоматизированное создание развертки изделия и оптимизация карты раскроя детали. Предусмотрена возможность выполнения простейших расчетов (определение центра давления штампа). В системе проектирования «СПРУТ-Штамп» принято представление штампов в виде древовидного графа со связями И/ИЛИ. Таким образом, для определенного вида обработки проектируется универсальный прототип штампа, который в дальнейшем конкретизируется конструктором. Нетрудно видеть, что, несмотря на более прогрессивную структуру представления информации, идеологически система «СПРУТ-Штамп» является аналогом предыдущей САПР, дополненной инструментами сохранения дерева проектирования.

Лидерами зарубежного рынка решений для проектирования штампов являются Cimatron и Siemens NX. Реализованные в них подсистемы проектирования штампов (Progressive Die Design) в большей степени соответствуют классической схеме проектирования.

Еще более наглядно полуавтоматизированная методика проектирования штампов реализована в приложении Loogopress. Приложение

состоит из трех модулей, воспринимающих результаты проектирования как начальные данные.

На первом этапе производится развертка детали и определение необходимого количества шагов формообразования. При этом выполняются расчеты усилий гибки и вырубки, проверка на потенциально возможные дефекты (морщины и разрывы).

На втором этапе формируется рабочая зона штампа. Для этого развертка в соответствии с маркированными ранее шагами размещается на ленте по позициям формообразования. Заметим, что пуансоны по замкнутому контуру формируются автоматически. Вырубные пуансоны по полукруглым контурам подстраиваются под реальную форму вырубки. Аналогично, гибочные пуансоны соответствуют форме изгибаемого участка на позиции.

Наконец, модуль пространственной компоновки позволяет разместить рабочие элементы в пакете штампа типовой конструкции.

Таким образом, в настоящее время на рынке САПР представлено значительное количество программных продуктов, облегчающих труд разработчика оснастки. Системы характеризуются различной степенью универсальности и полнотой алгоритмического обеспечения. Представляется, что системы, аналогичные Logopress, удачно сочетают высокую автоматизацию и достаточную гибкость в проектировании.

Литература:

1. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1971.

2. Аникин А. Д. Автоматизация проектирования штампов для холодной листовой штамповки. — Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986.

3. Разинков П. И. Автоматизация процесса проектирования и изготовления оснастки на основе управляемой системы взаимосвязанных компьютерных моделей: на примере пресс-форм для литья пластмасс под давлением : автореферат дис. канд. наук. — Москва, 2011. — 23 с.

4. Челищев Б. Е., Боброва И. В., Гонсалес-Сабатер А. Автоматизация проектирования технологии в машиностроении. — М. : Машиностроение, 1987.

5. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов. М.: Машиностроение, 1988.

6. Маркечко И. В., Медведев М. В., Штеле В. Г. Проектирование штампов листовой штамповки с использованием программного продукта «Компас-Штамп»: учебное пособие. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008.

К ВОПРОСУ О ПРОГРАММНОЙ КОРРЕКЦИИ ДЕФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРОДА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОПЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ПРОВОЛОЧНОЙ РЕЗКИ

Самаркин А. И., Негина О. В.

Псковский государственный университет

Электроэрозионная проволочная резка характеризуется относительно малой жесткостью электрода-проволоки, ввиду его малого диаметра (0,1-0,3 мм) при расстоянии между направляющими фильерами в несколько миллиметров (20-80 мм). Таким образом, электрод можно рассматривать как нить, закрепленную между двумя опорами с заданным расстоянием, причем, вследствие перемотки электрода сила натяжения нити может быть принята константной, а длина нити между опорами — переменной. Отметим, что расчет формы нити существенно отличается для случая, когда нагрузка не зависит от формы нити и для случая, когда нагрузка имеет такую зависимость. Заметим также, что непосредственный расчет формы нити при сложном характере распределения нагрузки (что имеет место при учете давления от прокачки жидкости, силовых воздействий от электроэрозионных явлений и т. д.) несколько затруднителен.

Выполненное авторами моделирование формы нити методом конечных элементов позволяет получить полиномиальную аппроксимацию формы нити (при степени полинома не выше 5-й), причем экспериментальное измерение бокового профиля деталей, полученных электроэрозионной резкой дает аналогичные результаты. Таким образом, возникает проблема коррекции расчетных деформаций электрода, которая может рассматриваться как в плоской, так и в пространственной постановке.

Рассмотрим двумерный случай.

На проволочной резке получают преимущественно либо окна (охватываемые размеры), либо пуансоны (охватываемые размеры). Далее рассмотрим коррекцию для окна, имея в виду, что для пуансона достаточно изменить знак коррекции (а в случае коррекции на диаметр инструмента с помощью кодов G41/G42 не потребуется даже и изменения знака).

Пусть расчетная форма отклонения профиля от номинальной прямой описывается полиномом 5-ой степени $y(x) = \sum_{i=0}^5 a_i \cdot x^i$, где x — вертикальная координата боковой стороны профиля, y — отклонение от номинала, причем плюс y направлен от материала детали.

Очевидным критерием коррекции для окна является гарантированное получение минимального размера окна, то есть

$$y(x)_{\max} + \Delta y \leq 0$$

Здесь Δy — искомая коррекция.

Максимум $y(x)$ может быть найден аналитически, решая уравнение $\frac{dy(x)}{dx} = 0$, учитывая, что корень должен быть действительным числом и располагаться в пределах расстояния между направляющими ($x \in \text{Re}, x \in [0, L]$, где L — расстояние между направляющими). Возможно, более простым способом является перебор значений $y(x)$ на длине детали с достаточно малым (0,25-1 мм) шагом прохода. При высоте детали 80 мм и шаге перебора 0,25 мм достаточно выполнить 320 вычислений, что легко осуществимо с помощью ЭВМ.

Коррекция на всей длине бокового профиля детали требуется, например, для отверстий под штифты. При резке окон матриц зачастую важно получить точный размер только режущего пояска толщиной $h = 5-8$ мм. Таким образом, область поиска сужается до $x \in [0; h]$ (поскольку традиционно выходы конусов оформляют широкой стороной вверх).

Способы внесения расчетной коррекции в текст управляющей программы. Программирование электроэрозионной проволочной резки осуществляется (как правило) в стандартных кодах ISO с учетом специфики обработки. В частности, программируются перемещения электрода по номинальному контуру окна (пуансона) при условном нулевом диаметре

электрода (таким образом, программируемая траектория инструмента совпадает с контуром). Необходимая эквидистанта задается путем включения смещения на радиус электрода, межэлектродный промежуток («розжиг») и припуск под последующие проходы. Так как указанные параметры зависят от значительного числа влияющих факторов, система ЧПУ станка предоставляет возможность их выбора из некоторой базы данных. Результаты выбора размещаются в регистрах памяти ЧПУ станка или, записываются как параметры режима резания в тексте программы.

Сама траектория задается либо путем программирования «конусной» резки (задаются координаты контура, офсет и угол наклона нити), либо в виде 4-х координатной резки (задаются траектории движения основной направляющей, подвижной направляющей и офсет). В последнем случае смещения подвижной фильеры задаются в приращениях от координаты основной фильеры (в приращениях от вертикального расположения нити).

В случае конусной резки, очевидно, можно управлять: только величиной офсета, только углом наклона нити, обоими параметрами одновременно.

В 4-х координатной резке управлению подлежит офсет и траектория движения подвижной фильеры (по отдельности или одновременно).

Пусть расчет показывает, что максимальное отклонение, которое требуется скомпенсировать, располагается на высоте h от нижней фильеры и имеет величину Δy , а номинальный угол наклона электрода-нити к вертикали α .

Тогда, очевидно, результирующий офсет составит:

$$o_1 = o - \Delta y \quad (1)$$

Здесь o_1, o — расчетный и номинальный офсеты.

При только угловой компенсации:

$$\operatorname{tg}(\alpha_1) = \frac{h \operatorname{tg}(\alpha) + \Delta y}{h} \quad (2)$$

Полагая углы и величину коррекции малыми (2) можно упростить:

$$\alpha_1 = \alpha + \frac{\Delta y}{h} \quad (3)$$

При комбинированной коррекции угла и офсета предположим, что коррекцией офсета исправляется Δy_o , а углом — Δy_a , причем $\Delta y = \Delta y_o + \Delta y_a$ получим следующие очевидные зависимости:

$$\begin{cases} \alpha_1 = \alpha - \Delta y_o \\ \alpha_1 = \alpha + \frac{\Delta y_a}{h} \end{cases} \quad (4)$$

Отклонение электрода на некоторый угол от вертикали осуществляется смещением подвижной фильеры (как в четырехкоординатной резке), однако величина этого смещения возлагается на систему ЧПУ станка. Перемещения фильер вследствие конструкции приводов станка являются дискретными, поэтому существует минимально возможная коррекция офсета, равная дискрете перемещения (например, 1 мкм).

Использование комбинированной коррекции может обеспечить коррекцию, меньшую дискреты перемещения, так как при сдвиге подвижной фильеры на дискрету d_{\min} на высоте h от неподвижной фильеры при общем расстоянии между фильерами L коррекция составит: $d_{\min} \frac{h}{L}$. Так, при сдвиге на 1 мкм подвижной фильеры на высоте 5 мм при расстоянии между направляющими 25 мм получим коррекцию в $1_{\text{мкм}} \frac{5_{\text{мм}}}{25_{\text{мм}}} = 0.05_{\text{мкм}}$

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ФУНКЦИОНАЛУ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО СТРУКТУРОЙ ПОДЧИНЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Серов А. Е.

*Институт ядерной энергетики
(филиал СПбГПУ, г. Сосновый Бор)*

Для механизмов с повторно-кратковременным режимом работы и более 1000 включений в час (прессы, продольно-строгальные станки, металлургические краны и т. п.) используются электроприводы типа ТП-Д на постоянном и ТПЧ-АД на переменном токах. Структура таких систем организуется по принципу подчиненного регулирования с настройкой контуров на оптимум по модулю. В работе рассмотрено оптимальное

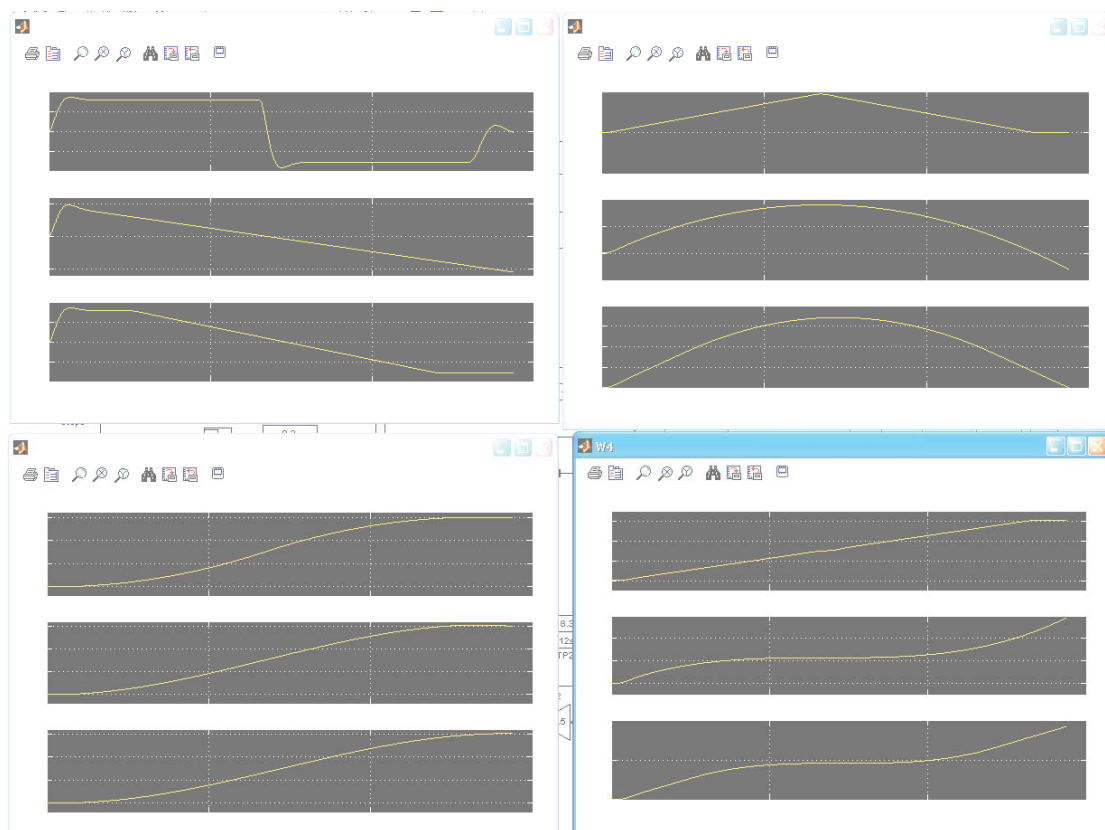


Рис. 2. Графики переходных процессов: сверху слева направо токи и скорости, внизу слева направо углы поворота ИМ и расходов электроэнергии двигателя

Литература:

1. И. В. Черных. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М. : ДМК; СПб.: Питер, 2008.- 288 с.: ил.

ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕНАЖЕРОВ В ОБУЧЕНИИ МАТЕМАТИКЕ

Сибирев В. Н.

*Национальный минерально-сырьевой
университет «Горный»*

Учебный процесс заочной и очно-заочной форм обучения имеет ряд специфических особенностей. Количество лекций минимально, занятия по предмету проходят блоками, то есть лекции и практические занятия проводятся в течение недели с перерывом на несколько месяцев. Оснащение

студентов методическими материалами в настоящее время достаточно. Но, тем не менее, к следующему приезду изучаемый предмет может оказаться основательно забытым студентами. Повысить процент воспроизводимости учебного материала помогает использование различного типа обучающих программ. В докладе рассматриваются тренажеры на примере демонстрации методов нелинейной оптимизации и построения кратчайшего пути методом Дейкстры.

Для лучшего закрепления материала студенту предлагается сначала сравнить свои расчеты, выполненные в контрольной работе с результатами предлагаемого программного обеспечения, а затем посмотреть автоматическое решение более сложных задач.

Среди методов нелинейной оптимизации рассматриваются метод наискорейшего спуска и метод сопряженных градиентов. Студент указывает параметры квадратичной функции и может убедиться, что если бы он выполнил большее количество итераций, то получил бы хорошее приближение к точке минимума, что направления спуска ортогональны и направлены по касательным к линиям уровня. При использовании метода сопряженных градиентов точное решение достигается за две итерации. Выбирая для решения овражную функцию Розенброка [1], студент увидит подтверждение медленной скорости сходимости метода наискорейшего спуска и приемлемого метода сопряженных градиентов, соответственно в контрольных тестах никогда не отнесет метод наискорейшего спуска к самым эффективным методам минимизации. Затраты времени студента на выполнение работы должны быть небольшими, но его действия носить активный характер. Например, выбрать другую начальную точку и подобрать диапазон изменения координат, так чтобы и начальная точка и точка минимума попадали в окно графического вывода, разобраться из-за чего не всегда направления спуска в методе наискорейшего спуска выглядят ортогональными (рис. 1).

При решении экстремальных задач на графах студенту предлагается расположить вершины, как они указаны в задании. Далее необходимо ввести матрицу весов графа с автоматическим появлением дуги, и

фиксировать вершины графа в порядке получения ими постоянных отметок. Пересчет временных отметок происходит автоматически, ошибки подсчитываются, соответственно для повышения внимательности можно требовать от студента выполнения задания без ошибок. В примерах со 100, 200 и до 1500 вершин кратчайший путь будет определяться мгновенно. Построив график по полученным значениям времен выполнения, обучаемый сможет убедиться в том, что для транспортных графов метод Дейкстры имеет практически линейную трудоемкость.

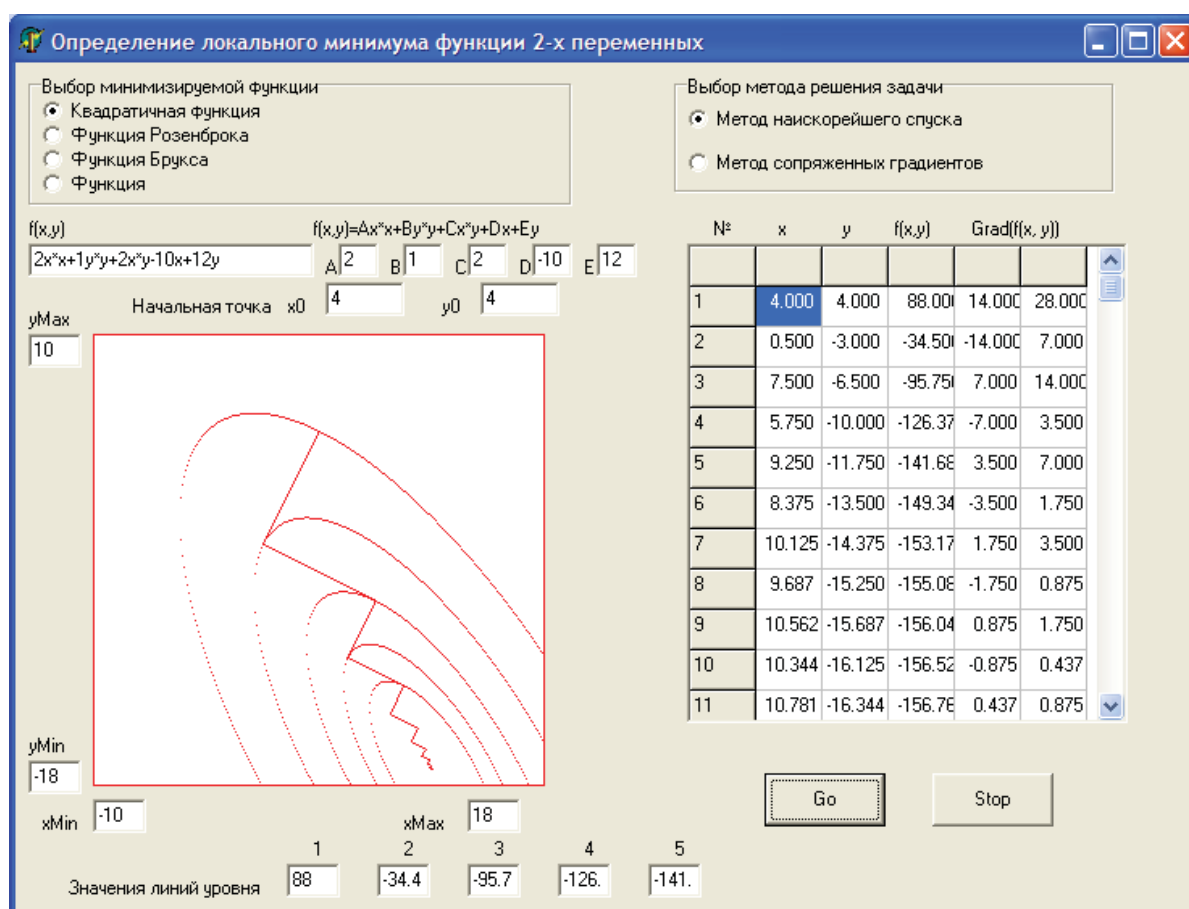


Рис. 1. Метод наискорейшего спуска

Литература:

1. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. М.: Мир, 1985.

О НАУЧНЫХ ИТОГАХ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ
ПО ПОСТАНОВЛЕНИЮ № 218 ПРАВИТЕЛЬСТВА РФ
МЕЖДУ ОАО «ПРОТОН - ПЕРМСКИЕ МОТОРЫ» И
ПЕРМСКИМ НАЦИОНАЛЬНЫМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИМ УНИВЕРСИТЕТОМ

Ташкинов А. А., Петроченков А. Б.

*Пермский национальный исследовательский
политехнический университет*

Арбузов И. А., Щенятский Д. В., Бибичев А. П.

ОАО «ПРОТОН - Пермские моторы»

Пермским национальным исследовательским политехническим университетом (ПНИПУ) совместно с предприятием ОАО «ПРОТОН - Пермские моторы» («Протон-ПМ») с 2010 г. по 2012 г. реализовался комплексный проект «Создание высокотехнологичного производства для оказания услуг по испытаниям газотурбинных установок мощностью до 40 МВт на многоцелевом адаптивном экологичном стенде» согласно Постановлению Правительства Российской Федерации № 218 [1].

Основная цель проекта — создание нового испытательного комплекса, обеспечивающего высокий уровень качества заключительной стадии производства газотурбинных установок (ГТУ) многоцелевого назначения мощностью до 40 МВт, включая контроль, настройку и регистрацию их выходных функциональных характеристик на основе проведения натурных испытаний [2].

Сегодня испытания авиационных газотурбинных установок проводятся на дорогостоящих и неэкономичных натурных комплексах. Избежать неоправданных затрат позволит создание высокоэффективных имитационных компьютерных моделирующих комплексов, позволяющих:

- сократить время на подготовку и проведения испытания,
- снизить стоимость ГТУ,
- сократить сроки ввода ГТУ в эксплуатацию,
- универсифицировать процесс испытания ГТУ, обеспечить серийность.

Вместе с тем, сложившаяся к настоящему времени практика построения управляющих и моделирующих алгоритмов систем автоматизированных испытаний, ориентирована на испытания систем автоматизированного управления (САУ) авиационных ГТУ и недостаточно учитывает специфику САУ ГТУ, применяемых для нужд энергетики.

При этом потребность в газотурбинных установках для выработки электроэнергии устойчиво возрастает во всем мире, и по оценкам ведущих экспертов эта тенденция увеличения удельного веса энергетических ГТУ должна сохраниться, по крайней мере, в ближайшие десятилетия.

Основные этапы научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ (НИОКТР) были соотнесены (как по срокам, так и по функциональному назначению) с этапами работ по внедрению элементов высокотехнологичной площадки на предприятии и включали в себя:

1. Анализ и разработка методологического обеспечения построения многоцелевого стенда. Концептуальная проработка проектно-технологических решений.

2. Анализ способов и обоснование разработки подсистем обеспечения испытаний наукоемких изделий с заданными энергетическими характеристиками и параметрами.

3. Анализ и разработка системы энергетического обеспечения испытаний наукоемких изделий.

4. Анализ и обоснование принципа имитации нагружения (создания момента на валу) ГТУ, адекватных реальным условиям.

5. Разработка алгоритмического, программного и технического обеспечения жизненного цикла испытаний наукоемких изделий на основе единого центра управления.

Среди основных результатов следует отметить:

- создано высокотехнологичное производство для оказания услуг по испытанию газотурбинных установок мощностью до 40 МВт с возможностью адаптации на программно-аппаратном уровне без существенных доработок под любой тип ГТУ;

- разработана методология управления жизненным циклом изделий на основе современных методов CALS-технологий;

- разработано и внедрено техническое, алгоритмическое и программное обеспечение технологического процесса испытаний наукоемких изделий;

- разработана система регионального сервиса для тиражируемых систем.

Перечень элементов технического обеспечения технологического процесса испытаний наукоемких изделий, разработанных в рамках НИОКТР, представлен в табл. 1.

Таблица 1

**Перечень элементов технического обеспечения
технологического процесса испытаний наукоемких изделий**

№	Наименование элемента системы технического обеспечения технологического процесса испытаний наукоемких изделий
1	Опытный образец подсистемы измерения режимных параметров и управления испытаниями
2	Опытный образец системы мониторинга процесса контроля выбросов продуктов сгорания
3	Опытный образец маслосистемы газотурбинных установок с баком и контролем (измерением) безвозвратных потерь
4	Опытный образец подсистемы воздушного запуска ГТУ на многоцелевом адаптивном стенде
5	Опытный образец автоматизированной системы управления многоцелевым адаптивным стендом
6	Модельный испытательный стенд для анализа связанных процессов в рабочем теле и конструкции, анализа амплитудно-частотных характеристик в динамической системе «поток газа – конструкция» и «поток жидкости – конструкция»

Кроме того, разработаны специализированные комплексы (на базе приобретенного спецоборудования для научных работ), ставшие базовым оборудованием лабораторий коллективного пользования:

- информационно-измерительный комплекс для обработки и анализа параметров динамической системы «поток газа- конструкция» и «поток жидкости- конструкция»;

- информационно-измерительный комплекс для построения систем испытаний, мониторинга и диагностики роторных механизмов;

- комплекс для построения современных систем стендовых испытаний на базе модульной реконфигурируемой архитектуры с использованием современных модулей сбора информации и управления исполнительными механизмами, для построения ситуационного центра, для разработки сенсорных технологий.

Основные индикаторные показатели, предоставляемые мониторам проекта, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели работ по совместному проекту

Наименование показателя	Значение
Студентов, работавших по договору с оплатой	25
Аспирантов и молодых ученых, работавших по договору с оплатой	28
Сотрудников, имеющих ученую степень, работавших по договору с оплатой	34
Всего сотрудников, работавших по договору с оплатой	91
Публикаций в ведущих изданиях	более 30
Поданных заявок на объекты интеллектуальной собственности	более 10
Защищенных докторских диссертаций	1
Защищенных кандидатских диссертаций	2

В работе над проектом было задействовано более 20-ти кафедр со всех факультетов университета. Помимо этого, налажены плодотворные и надежные рабочие отношения с рядом вузов страны (в том числе УрФУ, МГТУ им. Н. Э. Баумана, МАИ, МЭИ (НИУ), КНИТУ-КАИ, УрГГУ).

Реализация подобных глобальных проектов дает возможность аккумулировать научные знания специалистов, университетов, научных школ различных отраслей для воплощения идей в реальное производство.

Эффекты развития такой кооперации заключаются в:

- формировании атмосферы востребованности научного потенциала вуза, расширении возможностей выполнения НИОКР в вузе;
- повышении делового потенциала вуза как исследовательской организации и повышение ее конкурентоспособности;
- привлечении преподавателей и студентов к проведению актуальных и перспективных НИОКР;
- развитию международных научных и производственных связей ПНИПУ и ОАО «ПРОТОН-ПМ».

Стоит также заметить, что эффект от реализации проекта только начинает проявляться, гораздо больше закладывается в качестве фундамента для потенциального роста в долгосрочном периоде. Основной задачей руководителей и ключевых исполнителей сейчас является построение универсальных моделей и структур с тем, чтобы масштабировать реализуемый проект на другие предприятия схожей специфики. В таком случае можно будет говорить о выстраивании благоприятной тенденции в применении проектных работ для образовательной и научной деятельности современных университетов.

Литература:

1. Развитие кооперации российских вузов и производственных предприятий. Постановление 218/Постановление [Электронный ресурс]. – URL:<http://www.p218.ru/catalog.aspx?CatalogId=728> (Дата обращения: 20.12.2012).
2. Янчилин В. Риск за полцены. Предприятиям понравилась идея финансирования разработок на паях с государством // Поиск. –2012. – № 47. – С. 1.

ФУНКЦИЯ ЭНТРОПИИ, ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВ И ПРИНЦИП ИХ РАСЧЕТА

Федоров С. В.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Термодинамика является мощным количественным методом при исследовании важных свойств термодинамических систем и индивидуальных свойств веществ. Комбинация методов классической термодинамики и статистической механики представляет собой весьма перспективное средство при исследовании стехиометрических и нестехиометрических соединений. Термодинамика позволяет предсказать направление процессов, если известны термические характеристики веществ — теплоты образования и теплоемкости. Для многих веществ этих данных нет, но они могут быть с высокой точностью оценены, если известна связь между термодинамическими и структурными их характеристиками. В этой связи особое значение приобретают процессы высокотемпературной химии и плазмохимии для некоторых, из которых невозможен расчет химического равновесия и скоростей химических реакций, если не изучен процесс взаимодействия вступающих в реакцию веществ.

Экспериментальные данные о термодинамических свойствах различных веществ и термодинамических параметров химических реакций приводят к качественно новым возможностям с использованием справочных данных определять тепловые эффекты и другие термодинамические параметры большого числа реакций, не прибегая к экспериментальному определению этих величин. Эксперимент обычно является гораздо более трудоемким, и не всегда доступным. Особенно важно, что такие расчеты позволяют дать сравнительную оценку и найти оптимальные условия проведения реакций.

Быстрое расширение круга химических соединений, находящих применение в различных отраслях техники, приводят к тому, что необходимость расчета термодинамических параметров химических реакций и свойств неорганических веществ с учетом выявления теоретических основ

предлагаемых методов с одновременным повышением точности и надежности результатов расчета возрастает. В данной работе рассмотрены разные методы расчета термодинамических свойств неорганических соединений.

В работе [1] было выведено уравнение энтропии

$$S = A \ln|T + \beta| + B \ln T + C, \quad (1)$$

где A, B, C, β – постоянные величины. Дифференциал энтропии функции (1)

$$dS = \left(A \cdot \frac{1}{T + \beta} \right) dT + \left(B \cdot \frac{1}{T} \right) \cdot dT. \quad (2)$$

Из основного закона термодинамики $T \cdot \delta \cdot Q = dU + \delta A$, согласно термическому уравнению состояния $P \cdot V = R \cdot T$, дифференциал внутренней энергии термодинамической системы можно представить:

$$dU = TdS - RdT. \quad (3)$$

Проинтегрировав уравнение (3), найдем функцию для расчета внутренней энергии термодинамической системы.

$$U = \int TdS - R \int dT = A(T + \beta) - R \cdot T - A \cdot \beta \ln|T + \beta| + B \ln T + C^{u.n.}. \quad (4)$$

Дифференцируя уравнение (4) по температуре, найдем уравнение теплоемкости термодинамической системы при постоянном объеме

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V = A - R - A \cdot \beta \cdot \left(\frac{1}{T + \beta} \right) + B \cdot \frac{1}{T}. \quad (5)$$

На базе уравнения, приведенного в работе [2]

$$C_V = \left(\frac{dU}{dT} \right)_V = \xi - R + \frac{\eta}{T} \left[\frac{1}{\ln T} + 2 + 2 \ln T + \frac{2^3}{3!} (\ln T)^2 + \frac{2^4}{4!} (\ln T)^3 + \dots \right] \quad (6)$$

и (5) нашли конкретные функции для расчета теплоемкости при постоянном объеме кристаллической фазы кремния, соответственно:

$$C_V = 24,09658 - \frac{19,6895}{T} \left[\frac{1}{\ln T} + 2 + 2 \ln T + \frac{2^3}{3!} (\ln T)^2 + \frac{2^4}{4!} (\ln T)^3 + \dots \right] \left(\frac{\text{Дж}}{\text{мольК}} \right); \quad (7)$$

$$C_V = 25,1286 - \frac{19209,84}{T + 113,7} + \frac{10501,03}{T} \left(\frac{\text{Дж}}{\text{мольК}} \right). \quad (8)$$

Результаты расчета по уравнениям (7) и (8) в сопоставлении с литературными источниками [3, 4], приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты расчета по уравнениям (7) и (8)
в сопоставлении с литературными источниками [3, 4]**

ТК	$C_{V,Si,kp}$	$C_{V,Si,kp}$	$C_{P,Si,kp} =$ $= C_{V,Si,kp} + R$	$C_{P,Si,kp} =$ $= C_{V,Si,kp} + R$	$C_{P,Si,kp}^{cp}$	$C_{P,Si,kp}$
	Дж/моль К					
	(7)	(8)	(7)	(8)		[3, 4]
400	13,986	13,986	22,301	22,375	22,338	22,301
500	15,185	14,829	23,5	23,218	23,359	23,61
600	16,076	15,714	24,391	24,103	24,247	24,472
700	16,773	16,522	25,088	24,911	25,0	25,124
800	17,334	17,231	25,649	25,62	25,635	25,662
900	17,798	17,846	26,113	26,235	26,174	26,125
1000	18,189	18,381	26,504	26,77	26,637	26,568
1100	18,526	18,847	26,841	27,236	27,039	26,974
1200	18,8206	19,257	27,135	27,646	27,39	27,362
1300	19,0776	19,618	27,393	28,007	27,732	27,737
1400	19,306	19,939	27,621	28,328	27,975	28,103
1500	19,512	20,225	27,827	28,614	28,22	28,462
1600	19,695	20,482	28,01	28,871	28,44	28,616
1690	19,846	20,632	28,161	29,021	28,591	29,131

Аналогичные расчеты теплоемкости при постоянном объеме и давлении проведем для кристаллического германия по уравнениям (9) – (12).

$$C_{V,Ge,kp}^o = 22,778 - 13,6065 \frac{1}{T} \left[\frac{1}{\ln T} + 2 + 2 \ln T + 1,333(\ln T)^2 + 0,666(\ln T)^3 + \dots \right] \left(\frac{\text{Дж}}{\text{мольК}} \right); \quad (9)$$

$$C_{V,Ge,kp}^o = 26,4489 - \frac{18677,618}{T + 1377,629} + \frac{21,2592}{T} \left(\frac{\text{Дж}}{\text{мольК}} \right); \quad (10)$$

$$C_{V,Ge,kp}^o = \frac{8,315}{T} + 26,449 - \frac{18691,18}{T + 1377,269} \left(\frac{\text{Дж}}{\text{мольК}} \right); \quad (11)$$

$$C_{P,Ge,kp}^o = 13,5578 \cdot \left(\frac{T}{T + 1377,629} \right) + 21,2592 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{мольК}} \right). \quad (12)$$

Результаты расчета по уравнениям (9)-(12) в сопоставлении с литературными источниками [3, 4], приведены в табл. 2.

На базе уравнения, рассмотренного в работе [2]

$$S = \xi \ln T + \eta \left(\ln|\ln T| + \ln T + \frac{(\ln T)^2}{2 \cdot 2!} + \frac{(\ln T)^3}{3 \cdot 3!} + \frac{(\ln T)^4}{4 \cdot 4!} + \dots \right) + C^{u.n.} \quad (13)$$

Таблица 2

**Результаты расчета по уравнениям (9) - (12)
в сопоставлении с литературными источниками [3, 4]**

ТК	$C_{V Ge, kp}^o$	$C_{V Ge, kp}^o$	$C_{V Ge, kp}^o$	$C_{V Ge, kp}^{o, kp}$	$C_{P Ge, kp}^o$	$C_{P, Ge, kp}^o =$ $= (C_{V Ge, kp}^o)^{cp} + R$	$C_{P Ge, kp}^o$
	Дж/моль К						
	(9)	(10)	(11)		(12)		[3, 4]
300	15,328	15,386	15,333	15,37	23,701	23,685	23,249
400	15,995	15,995	15,953	15,981	24,31	24,296	24,31
500	16,795	16,544	16,509	16,616	24,859	24,931	24,962
600	17,389	17,04	17,01	17,146	25,355	25,461	25,452
700	17,854	17,489	17,463	17,612	25,804	25,917	25,867
800	18,228	17,898	17,876	18,00	26,213	26,315	26,24
900	18,538	18,272	18,25	18,353	26,587	26,668	26,591
1000	18,799	18,615	18,58	18,665	26,929	26,98	26,926
1100	19024	18,9297	18,911	18,955	27,245	27,27	27,262
1200	19,22	19,22	19,204	19,215	27,535	27,53	27,571

Уравнение (13) можно представить

$$S_p = \xi \cdot \ln T + \eta f_S(T) + C^{u.n.} \quad (14)$$

где

$$f_S(T) = \left(\ln|\ln T| + \ln T + \frac{(\ln T)^2}{2 \cdot 2!} + \frac{(\ln T)^3}{3 \cdot 3!} + \frac{(\ln T)^4}{4 \cdot 4!} + \dots \right) \quad (15)$$

нашли функции энтропии ряда конденсированных фаз соединений и элементов различных модификаций, приведенных ниже в виде системы равенств:

$$\begin{aligned}
S_{Be,kr}^o(T) &= -0,59157 \cdot \ln T + 1,069342 \cdot f_S(T) + 26,6771 \text{ Дж / мольК}; & 200 \leq TK \leq 1500 \\
S_{BeO,kr}^o(T) &= -2,83698 \cdot \ln T + 2,01065 \cdot f_S(T) - 45,1995 \text{ Дж / мольК}; & 300 \leq TK \leq 2300 \\
S_{Mg,kr}^o(T) &= 8,38562 \cdot \ln T + 0,908328 \cdot f_S(T) - 48,3435 \text{ Дж / мольК}; & 100 \leq TK \leq 900 \\
S_{MgO,kr}^o(T) &= 23,1778 \ln T + 1,07806 \cdot f_S(T) - 145,5126 \text{ Дж / мольК}; & 300 \leq TK \leq 3000 \\
S_{Si,kr}^o(T) &= 12,0994 \cdot \ln T + 0,554815 \cdot f_S(T) - 70,94274 \text{ Дж / мольК}; & 200 \leq TK \leq 1600 \\
S_{SiO_2,kr}^o(T) &= 49,2866 \cdot \ln T + 0,78263 \cdot f_S(T) - 271,783 \text{ Дж / мольК}; & 1200 \leq TK \leq 2000 \\
S_{Ge,kr}^o(T) &= 17,6623 \cdot \ln T + 0,352 \cdot f_S(T) - 82,5669 \text{ Дж / мольК}; & 200 \leq TK \leq 1200 \\
S_{GeO_2,kr}^o(T) &= 31,2522 \cdot \ln T + 1,6841 \cdot f_S(T) - 201,9455 \text{ Дж / мольК}; & 400 \leq TK \leq 1300 \\
S_{Ca,kr}^o(T) &= 11,9569 \cdot \ln T + 0,8164 \cdot f_S(T) - 56,71 \text{ Дж / мольК}; & 100 \leq TK \leq 700 \\
S_{CaO,kr}^o(T) &= -50,8719 \cdot \ln T + 3,4479 \cdot f_S(T) + 214,3942 \text{ Дж / мольК}; & 800 \leq TK \leq 1100 \\
S_{CaO,kr}^o(T) &= 32,7008 \cdot \ln T + 0,801 \cdot f_S(T) - 178,4228 \text{ Дж / мольК}; & 300 \leq TK \leq 2800 \\
S_{SiO_2,kr}^o(T) &= -30,0379 \cdot \ln T + 4,3244 \cdot f_S(T) - 53,5389 \text{ Дж / мольК}; & 100 \leq TK \leq 800 \\
S_{SiO_2,kr}^o(T) &= 38,7183 \cdot \ln T + 1,15031 \cdot f_S(T) - 223,6513 \text{ Дж / мольК}; & 900 \leq TK \leq 1200 \\
S_{Sn,kr}^o(T) &= 13,0463 \cdot \ln T + 0,83394 \cdot f_S(T) - 53,8468 \text{ Дж / мольК}; & 100 \leq TK \leq 500 \\
S_{Sn,ж}^o(T) &= 23,8126 \cdot \ln T + 0,1629 \cdot f_S(T) - 74,9272 \text{ Дж / мольК}; & 600 \leq TK \leq 600 \\
S_{Pb,kr}^o(T) &= 17,1487 \cdot \ln T + 0,5622 \cdot f_S(T) - 53,6356 \text{ Дж / мольК}; & 200 \leq TK \leq 600 \\
S_{Pb,ж}^o(T) &= 27,7772 \cdot \ln T + 0,0477 \cdot f_S(T) - 87,3964 \text{ Дж / мольК}; & 700 \leq TK \leq 3600 \\
S_{Ge,kr}^o(T) &= 13,3292 \cdot \ln T + 1,0839 \cdot f_S(T) - 72,8927 \text{ Дж / мольК}; & 400 \leq TK \leq 1100 \\
S_{SiO_2,kr}^o(T) &= -74,6052 \cdot \ln T + 12,599 \cdot f_S(T) + 141,0814 \text{ Дж / мольК}; & 200 \leq TK \leq 900 \\
S_{GeO_2,kr}^o(T) &= -45,5522 \cdot \ln T + 10,4374 \cdot f_S(T) + 29,5662 \text{ Дж / мольК}; & 200 \leq TK \leq 700 \\
S_{Si,kr}^o(T) &= 15,6676 \cdot \ln T + 1,2573 \cdot f_S(T) - 70,5629 \text{ Дж / мольК}; & 200 \leq TK \leq 500 \\
S_{Sn,kr}^o(T) &= 12,6381 \cdot \ln T + 3,5349 \cdot f_S(T) - 105,7877 \text{ Дж / мольК}; & 400 \leq TK \leq 1100
\end{aligned} \tag{16}$$

Для простых веществ и соединений, рассмотренных в системе равновесия (16), найдем функции для расчета их изобарных теплоемкостей. С этой целью рассмотрим общее уравнение для расчета изобарной теплоемкости с использованием уравнения (13) и второго закона термодинамики:

$$\begin{aligned}
C_P &= T \cdot \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_P = T \left[\xi_P \cdot \ln T + \eta_P \left(\ln |\ln T| + \ln T + \frac{(\ln T)^2}{2 \cdot 2!} + \frac{(\ln T)^3}{3 \cdot 3!} + \dots \right) \right]_T^1 = \\
&= \xi_P + \eta_P \cdot \left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right] = \xi_P + \eta_P \cdot f_{C_P}(T) , \tag{17}
\end{aligned}$$

где:

$$f_{C_p}(T) = \left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right]. \quad (18)$$

На базе уравнения (17) составим систему равенств изобарных теплоемкостей, выше рассмотренных простых веществ и соединений.

$$\begin{aligned}
 C_{P,Be,kr}^o(T) &= -0,59157 + 1,06934 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 200 \leq TK \leq 1500 \\
 C_{P,BeO,kr}^o(T) &= -2,83698 + 2,01065 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 300 \leq TK \leq 2300 \\
 C_{P,Mg,kr}^o(T) &= 8,3856 + 0,90833 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 100 \leq TK \leq 900 \\
 C_{P,MgO,kr}^o(T) &= 23,1778 + 1,07801 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 300 \leq TK \leq 3000 \\
 C_{P,Si,kr}^o(T) &= 12,0994 + 0,55482 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 200 \leq TK \leq 1600 \\
 C_{P,SiO_2,kr}^o(T) &= 49,2866 + 0,7826 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 1200 \leq TK \leq 2000 \\
 C_{P,Ge,kr}^o(T) &= 17,66232 + 0,352 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 200 \leq TK \leq 1200 \\
 C_{P,GeO_2,kr}^o(T) &= 31,2522 + 1,6841 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 400 \leq TK \leq 1300 \\
 C_{P,Ca,kr}^o(T) &= 11,9569 + 0,81644 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 100 \leq TK \leq 700 \\
 C_{P,Ca,kr}^o(T) &= -50,8719 + 3,4479 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 800 \leq TK \leq 1100 \\
 C_{P,CaO,kr}^o(T) &= 32,7008 + 0,801 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 300 \leq TK \leq 2800 \\
 C_{P,SiO_2,kr}^o(T) &= -30,03789 + 4,3244 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 100 \leq TK \leq 800 \\
 C_{P,SiO_2,kr}^o(T) &= 38,718265 + 1,150308 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 900 \leq TK \leq 1200 \\
 C_{P,Sn,kr}^o(T) &= 13,04625 + 0,83394 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 100 \leq TK \leq 500 \\
 C_{P,Sn,ж}^o(T) &= 23,8126 + 0,16285 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 600 \leq TK \leq 6000 \\
 C_{P,Pb,kr}^o(T) &= 17,1487 + 0,5622 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 200 \leq TK \leq 600 \\
 C_{P,Pb,ж}^o(T) &= 27,7772 + 0,04765 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 700 \leq TK \leq 3600 \\
 C_{P,Ge,kr}^o(T) &= 13,3292 + 1,0839 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 400 \leq TK \leq 1100 \\
 C_{P,SiO_2,kr}^o(T) &= -74,6052 + 12,5990 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 200 \leq TK \leq 900 \\
 C_{P,GeO_2,kr}^o(T) &= -45,5522 + 10,4374 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 200 \leq TK \leq 700 \\
 C_{P,Si,kr}^o(T) &= 15,6676 + 1,2573 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 200 \leq TK \leq 500 \\
 C_{P,Sn,kr}^o(T) &= 12,6381 + 3,53498 \cdot f_{C_p}(T) \text{ Дж / мольК}; & 400 \leq TK \leq 1100
 \end{aligned} \quad (19)$$

Согласно понятию высокотемпературной составляющей соединений на базе уравнения (17), рассмотрим функцию

$$H(T) - H(0) = \int C_p^o \cdot dT = \int \left\{ \xi_P + \eta_P \cdot \left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right] \right\} \cdot dT =$$

$$= (\xi + \eta) \cdot T + \eta \cdot \left[\left(\ln|\ln T| + \ln T + \frac{(\ln T)^2}{2 \cdot 2!} + \frac{(\ln T)^3}{3 \cdot 3!} + \dots \right) + \frac{1}{2!} (T \cdot \ln T - T) + \right. \\ \left. + \frac{1}{3!} (T(\ln T)^2 - 2T \ln T + 2T) + \frac{1}{4!} (T(\ln T)^3 - 3 \cdot T(\ln T)^2 + 6 \cdot T \ln T - 6T) + \dots \right] + C^{u.n.} \quad (20)$$

Из преобразований уравнения (20), находим

$$H(T) - H(0) = \xi \cdot T + \eta \cdot f_H(T) + C^{u.n.}, \quad (21)$$

где $f_H(T)$ в конкретной форме выражается зависимостью

$$f_H(T) = T \cdot \left[0,583 + 0,20833 \ln T + 0,125(\ln T)^2 + 0,04167(\ln T)^3 \right] + \\ + \left[(0,25 + 0,1667 \cdot T^2) \cdot (\ln T)^2 + 0,0555 \cdot (\ln T)^3 + \ln|\ln T| \right] \quad (22)$$

Результаты расчета функций $f_S(T)$, $f_{C_p}(T)$, $f_H(T)$, $f_{C_v}(T)$ приведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчетные значения функций $f_S(T)$, $f_{C_p}(T)$, $f_H(T)$ связанных с системами уравнениями (15), (16), (22) соответственно

ТК	$f_S(T)$	$f_{C_p}(T)$	$f_{C_v}(T)$	$f_H(T)$	ТК	$f_{C_p}(T)$	$f_{C_v}(T)$
	(15)	(16)		(22)		(16)	
100	21,5445	11,123688		35203,579	1,1	11,54126	11,541243
200	30,4548	14,71389		186682,76	1,2	6,581769	6,581516
300	36,9112	17,181		487166,21	1,3	4,954802	4,953877
400	42,1273	19,107222	0,1394908	955974,25	1,4	4,160706	4,158070
500	46,5674	20,705796	0,1367523	1607469,6	1,5	3,699214	3,693917
600	50,4669	22,081865	0,13414	2453022,5	1,6	3,403788	3,394619
700	53,9636	23,295559	0,131646	3502172,3	1,7	3,203026	3,188719
800	57,1466	24,384883	0,129261	4763147,2	1,8	3,061234	3,040493
900	60,0766	25,375476	0,126978	6243196,7	1,9	2,958594	2,930132
1000	62,798	26,285567	0,12479	7948810,4	2,0	2,88322	2,845786
1100	65,3432	27,128593	0,122690	9885869,5	2,1	2,827554	2,77995
1200	67,7377	27,914794	0,1206744	12059757	2,2	2,786562	2,727645
1300	70,0014	28,652133	0,1187364	14475438	2,3	2,756765	2,685463
1400	72,1504	29,346	0,116872	17137523	2,4	2,735679	2,650988
1500	74,1976	30,004472	0,115076	20050322	2,5	2,721489	2,622473
1600	76,1542	30,628857	0,113345	23217874	2,6	2,712832	2,598623
1700	78,029	31,223651	0,110064	26643992	2,7	2,708674	2,578466
1800	79,8298	31,791835	0,108508	30332278	2,8	2,708208	2,561260
1900	81,5633	32,335938	0,107003	34286153	2,9	2,710803	2,546430
2000	83,2353	32,858143	0,105548	38508870	3,0	2,715952	2,533526
2100	84,8506	33,360332	0,1041386	43003539	3,1	2,72325	2,522194
2200	86,4137	33,844143	0,102774	47773124	3,2	2,732365	2,512150
2300	87,9285	34,311001	0,1014514	52820477	3,3	2,743023	2,503165
2400	89,3983	34,762211	0,1001689	58148330	3,4	2,755	2,495058

TK	$f_s(T)$	$f_{C_p}(T)$	$f_{C_v}(T)$	$f_H(T)$	TK	$f_{C_p}(T)$	$f_{C_v}(T)$
	(15)	(16)		(22)		(16)	
2500	90,8262	35,198881	0,0989247	63759316	3,5	2,768107	2,487677
2600	92,215	35,622018	0,0977168	69655961	3,6	2,782185	2,480899
2700	93,5671	36,032535	0,09654367	75840713	3,7	2,7971	2,474626
2800	94,8847	36,431233	0,0954037	82315937	3,8	2,812738	2,468772
2900	96,17	36,818846	0,09422954	89083912	3,9	2,829	2,463269
3000	97,42445	37,196044	0,0932175	96146857	4,0	2,845805	2,458060

По уравнению (21) с использованием функции (22) нашли функции высокотемпературных составляющих ряда элементов и веществ в различных агрегатных состояниях:

$$\begin{aligned}
 (H^o(T) - H^o(0))_{Si,kr} &= 2,238 \cdot 10^{-2} T + 2,2 \cdot 10^{-7} f_H(T) - 3,8093 \text{ кДж / моль}; & 200 \leq TK \leq 1600 \\
 (H^o(T) - H^o(0))_{SiO_2,kr} &= 4,781 \cdot 10^{-2} T + 2,1 \cdot 10^{-7} f_H(T) - 8,831 \text{ кДж / моль}; & 400 \leq TK \leq 1100 \\
 (H^o(T) - H^o(0))_{Si,ж} &= 7,384 \cdot 10^{-2} T - 1,17 \cdot 10^{-6} f_H(T) - 4,3541 \text{ кДж / моль}; & 1700 \leq TK \leq 3000 \\
 (H^o(T) - H^o(0))_{Si,г} &= 2,159 \cdot 10^{-2} T - 4 \cdot 10^{-8} f_H(T) + 1,1836 \text{ кДж / моль}; & 200 \leq TK \leq 2000 \\
 (H^o(T) - H^o(0))_{SiO_2,г} &= 2,974 \cdot 10^{-2} T + 3,64 \cdot 10^{-7} f_H(T) - 0,4176 \text{ кДж / моль}; & 200 \leq TK \leq 1500 \\
 (H^o(T) - H^o(0))_{SiO_2,ж} &= 4,594 \cdot 10^{-2} T + 7,64 \cdot 10^{-7} f_H(T) - 3,838 \text{ кДж / моль}; & 300 \leq TK \leq 1300 \\
 (H^o(T) - H^o(0))_{Sn,kr} &= 2,3297 \cdot 10^{-2} T + 1,01 \cdot 10^{-6} f_H(T) - 1,111 \text{ кДж / моль}; & 200 \leq TK \leq 500 \\
 (H^o(T) - H^o(0))_{Pb,kr} &= 2,2471 \cdot 10^{-2} T + 5,4 \cdot 10^{-7} f_H(T) - 0,7531 \text{ кДж / моль}; & 200 \leq TK \leq 600 \\
 (H^o(T) - H^o(0))_{Pb,ж} &= 3,0326 \cdot 10^{-2} T + 5 \cdot 10^{-8} f_H(T) + 2,157 \text{ кДж / моль}; & 700 \leq TK \leq 3000 \\
 (H^o(T) - H^o(0))_{Be,kr} &= 1,6642 \cdot 10^{-2} T + 6,4 \cdot 10^{-7} f_H(T) - 3,4652 \text{ кДж / моль}; & 300 \leq TK \leq 1000 \\
 (H^o(T) - H^o(0))_{Be,ж} &= 3,2377 \cdot 10^{-2} T - 6 \cdot 10^{-8} f_H(T) + 0,696 \text{ кДж / моль}; & 1000 \leq TK \leq 3000 \\
 (H^o(T) - H^o(0))_{Mg,ж} &= 3,4664 \cdot 10^{-2} T - 1 \cdot 10^{-8} f_H(T) - 0,7418 \text{ кДж / моль}; & 1000 \leq TK \leq 2400 \\
 (H^o(T) - H^o(0))_{Ge,kr} &= 2,3247 \cdot 10^{-2} T + 2,1 \cdot 10^{-7} f_H(T) - 2,4033 \text{ кДж / моль}; & 200 \leq TK \leq 1200 \\
 (H^o(T) - H^o(0))_{GeO_2,kr} &= 5,955 \cdot 10^{-2} T + 9,1 \cdot 10^{-7} f_H(T) - 11,688 \text{ кДж / моль}; & 300 \leq TK \leq 1300 \\
 (H^o(T) - H^o(0))_{Ge,г} &= 3,39 \cdot 10^{-2} T - 4,910^{-7} f_H(T) - 2,5317 \text{ кДж / моль}; & 200 \leq TK \leq 1300 \\
 (H^o(T) - H^o(0))_{GeO_2,г} &= 3,1447 \cdot 10^{-2} T + 3 \cdot 10^{-7} f_H(T) - 0,857 \text{ кДж / моль}; & 300 \leq TK \leq 1300
 \end{aligned} \tag{23}$$

В работе [1] дан вывод уравнения для расчета изобарной теплоемкости веществ вида:

$$C_p = A \cdot \frac{T}{T+B} + C, \text{ где } A, B, C \text{ — постоянные} \quad (24)$$

Уравнение (24) используется для расчета изобарной теплоемкости кремния – $Si_{кр,жс}$ и германия – $Ge_{кр,жс}$.

В данной работе его использовали для расчета изобарной теплоемкости других элементов и веществ, находящихся в различных агрегатных состояниях, подчеркивая его фундаментальную природу. Ниже приведены конкретные уравнения для расчета изобарных теплоемкостей простых и сложных веществ.

$$C_{P,BeK}^o = 42,588 \cdot \left(\frac{T}{T+1511,843} \right) + 10,73 \frac{\text{Дж}}{\text{мольК}}; \quad 300 \leq TK \leq 1500 \quad (25)$$

$$C_{P,SrK}^o = -28,795 \cdot \left(\frac{T}{T-3164,136} \right) + 23,308 \frac{\text{Дж}}{\text{мольК}}; \quad 200 \leq TK \leq 800 \quad (26)$$

$$C_{P,CaK}^o = -17,924 \cdot \left(\frac{T}{T-2077,552} \right) + 22,594 \frac{\text{Дж}}{\text{мольК}}; \quad 400 \leq TK \leq 1100 \quad (27)$$

$$C_{P,MgK}^o = -2310,3 \cdot \left(\frac{T}{T-208759,11} \right) + 21,646 \frac{\text{Дж}}{\text{мольК}}; \quad 400 \leq TK \leq 900 \quad (28)$$

$$C_{P,BeSK}^o = 275,2 \cdot \left(\frac{T}{T+19906,545} \right) + 37,876 \frac{\text{Дж}}{\text{мольК}}; \quad 1100 \leq TK \leq 3000 \quad (29)$$

$$C_{P,BeSK}^o = 74,19 \cdot \left(\frac{T}{T+2319,875} \right) + 28,653 \frac{\text{Дж}}{\text{мольК}}; \quad 400 \leq TK \leq 2500 \quad (30)$$

Результаты расчета по уравнениям (25) – (28), (30) приведены в табл. 4 в сопоставлении с данными литературных источников [5, 6].

Таблица 4

Расчет значений изобарной теплоемкости элементов и веществ в сопоставлении с данными литературных источников [5, 6]

TK	$C_{P,BeK}^o$	$C_{P,BeK}^o$	$C_{P,MgK}^o$	$C_{P,MgK}^o$	$C_{P,CaK}^o$	$C_{P,CaK}^o$	$C_{P,SrK}^o$	$C_{P,SrK}^o$	$C_{P,BeSK}^o$	$C_{P,BeSK}^o$
	(25)	[5, 6]	(28)	[5, 6]	(27)	[5, 6]	(26)	[5, 6]	(30)	[5, 6]
Дж/мольК										
300	17,781	16,523					26,324	26,786		
400	19,64	19,64	26,08	26,868	26,868	26,868	27,475	27,475	39,564	39,564
500	21,314	21,582	27,192	27,198	28,275	28,487	28,712	28,662	41,808	42,683
600	22,829	23,062	28,305	28,305	29,873	30,382	30,046	30,046	43,898	44,895
700	24,208	24,323	29,418	29,414	31,702	32,406	31,488	31,524	45,85	46,679
800	25,467	25,467	30,533	30,527	33,818	33,818	33,052	33,052	47,677	48,235

Окончание табл. 4

TK	$C_{P,BeK}^o$	$C_{P,BeK}^o$	$C_{P,MgK}^o$	$C_{P,MgK}^o$	$C_{P,CaK}^o$	$C_{P,CaK}^o$	$C_{P,SrK}^o$	$C_{P,SrK}^o$	$C_{P,BeSK}^o$	$C_{P,BeSK}^o$
	(25)	[5, 6]	(28)	[5, 6]	(27)	[5, 6]	(26)	[5, 6]	(30)	[5, 6]
Дж/мольК										
900	26,622	26,544	31,649	31,649	36,293	36,713	37,454	37,225	49,39	49,659
1000	27,684	27,579	31,906	31,908	39,228	39,706	39,313	38,669	51,000	51,000
1100	28,666	28,586			42,763	42,763			52,286	52,287
1200	29,575	29,575							53,522	53,537
1300	30,419	30,551							54,746	54,762
1400	31,206	31,517							55,959	55,968
1500	31,939	32,475							57,159	57,16
1600									58,35	58,361
1700									59,528	59,515
1800									60,697	60,682
1900									61,854	61,844
2000									63,001	63,001
2100									64,137	64,156
2200									65,263	65,508
2300									66,379	66,457
2400									67,485	67,605
2500									68,581	68,751

При выводе уравнения высокотемпературной составляющей веществ

$$H(T) - H(0) = A' \cdot T + \frac{B'}{T} + C^{u.n.} \quad (31)$$

в работе [1] рассматривали преобразование функции вида $\sqrt{\frac{a_1 + b_1 T}{c_1 + T}}$, в результате которого пришли к зависимости

$$\sqrt{\frac{a_1 + b_1 T}{c_1 + T}} = \sqrt{\frac{b_1}{c_1}} \cdot \frac{1}{T^2} (T + a') \cdot (T - b') = \sqrt{\frac{b_1}{c_1}} \cdot \frac{1}{T^2} \cdot (T^2 - a'^2), \quad (32)$$

где приняли $a' = b'$

Если $a' \neq b'$, то приходим к другой зависимости функции образования энтальпии веществ $H(T) = H(0)$ от температуры. В этой связи зависимость (60) примет вид

$$\sqrt{\frac{a_1 + b_1 T}{c_1 + T}} = \frac{1}{T^2} \cdot \sqrt{\frac{b_1}{c_1}} \cdot (T^2 + a' \cdot T - b' \cdot T - a' \cdot b'), \quad (33)$$

где $a'; b'; b_1; c_1$ – постоянные.

Подставляя правую часть уравнения (33) в уравнение, приведенное в [1]

$$H(T) - H(0) = \xi \cdot \int \sqrt{\frac{a_1 + b_1 \cdot T}{c_1 + T}} \cdot dT + \eta \cdot T + C^{u.n.}, \quad (34)$$

имеем

$$\begin{aligned} H(T) - H(0) &= \sqrt{\frac{b_1}{c_1}} \int \frac{1}{T^2} [T^2 + (a' - b') \cdot T - a' \cdot b'] \cdot dT + \eta \cdot T + C^{u.n.} = \\ &= \sqrt{\frac{b_1}{c_1}} \int \left[1 + \frac{(a' - b')}{T} - \frac{a' \cdot b'}{T^2} \right] \cdot dT + \eta \cdot T + C^{u.n.} = \sqrt{\frac{b_1}{c_1}} \cdot \left[\int dT + \int \frac{a' - b'}{T} dT - \int \frac{a' b'}{T^2} dT \right] + \\ &+ \eta \cdot T + C^{u.n.} = \sqrt{\frac{b_1}{c_1}} \cdot T + \sqrt{\frac{b_1}{c_1}} \cdot (a' - b') \cdot \ln T - \frac{a' b'}{T} \cdot \sqrt{\frac{b_1}{c_1}} + \eta \cdot T + C^{u.n.} = A' \cdot T + B' \ln T - \\ &- \frac{C'}{T} + \eta \cdot T + C^{u.n.} = A' \cdot T + B' \ln T - \frac{C'}{T} + C^{u.n.}, \end{aligned}$$

где $A_1 = A' + \eta$; $A' = \sqrt{\frac{b_1}{c_1}}$; $B' = \sqrt{\frac{b_1}{c_1}} \cdot (a' - b')$; $C' = a' \cdot b' \cdot \sqrt{\frac{b_1}{c_1}}$, т. е.

$$H(T) - H(0) = A_1 \cdot T + B_1 \ln T - \frac{C'}{T} + C^{u.n.}; \quad (35)$$

После дифференцирования равенства (35), найдем

$$C_p = \frac{d[H(T) - H(0)]}{dT} = \left(A_1 T + B' \ln T - \frac{C'}{T} + C^{u.n.} \right)' = A_1 + B' \cdot \frac{1}{T} - \frac{C'}{T^2} \cdot \frac{1}{T^2},$$

следовательно,

$$C_p = a + b \cdot \frac{1}{T} + c \cdot \frac{1}{T^2}, \quad (36)$$

где $a = A_1$; $b = B'$; $c = -\frac{C'}{2}$

На основании второго закона термодинамики, записанного в форме

$C_p = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_p$, и (36), имеем

$$\begin{aligned} S(T) &= \int \frac{C_p}{T} dT = \int \frac{1}{T} \left(a + \frac{b}{T} + c \cdot \frac{1}{T^2} \right) dT = \int \frac{a}{T} dT + \int \frac{b}{T^2} dT + \int \frac{c}{T^3} dT = a \ln T + \left(-\frac{b}{1} \cdot T^{-1} \right) + \\ &+ \left(-\frac{c}{2} \cdot T^{-2} \right) + C^{u.n.} = a \cdot \ln T - \frac{b}{T} - \frac{c}{2T^2} + C^{u.n.}, \text{ т. е.} \end{aligned}$$

$$S(T) = a \ln T - \frac{b}{T} - \frac{c}{2T^2} + C^{u.n.} = S^o(T) = a \ln T + \frac{b'}{T} + \frac{c'}{T^2} + C^{u.n.}, \quad (37)$$

где $b' = -b$; $c' = -\frac{c}{2}$.

В табл. 5 приведены результаты расчета изобарной теплоемкости веществ по уравнениям (38) – (43), отражающих адекватный характер изменения теплоемкости от температуры.

$$C_{P,BeO_{кр}}^o = 56,06 - \frac{6244,5}{T} - \frac{1191666,66}{T^2} \frac{\text{Дж}}{\text{мольК}} \quad 400 \leq TK \leq 1500 \quad (38)$$

$$C_{P,BeO_{кр}}^o = -70,4362 \cdot \left(\frac{T}{T - 97,5224} \right) + 126,771 \frac{\text{Дж}}{\text{мольК}} \quad 400 \leq TK \leq 1400 \quad (39)$$

$$C_{P,CaO_{кр}}^o = 60,1517 - \frac{78007}{T} + \frac{11015333,33}{T^2} \frac{\text{Дж}}{\text{мольК}} \quad 400 \leq TK \leq 1400 \quad (40)$$

$$C_{P,CaO_{кр}}^o = 33,46 \cdot \left(\frac{T}{T + 271,069} \right) + 27,04 \frac{\text{Дж}}{\text{мольК}} \quad 400 \leq TK \leq 2500 \quad (41)$$

$$C_{P,MgO_{кр}}^o = 58,052 - \frac{7409,714}{T} + \frac{518582,89}{T^2} \frac{\text{Дж}}{\text{мольК}} \quad 400 \leq TK \leq 1500 \quad (42)$$

$$C_{P,MgO_{кр}}^o = 36,333 \cdot \left(\frac{T}{T + 515,723} \right) + 26,898 \frac{\text{Дж}}{\text{мольК}} \quad 400 \leq TK \leq 2000 \quad (43)$$

Таблица 5

Результаты расчета изобарной теплоемкости веществ по уравнениям (38) – (43), отражающих адекватный характер изменения теплоемкости от температуры, в сопоставлении с данными литературных источников [5, 6]

TK	C_{P,BeO_K}^o	C_{P,BeO_K}^o	C_{P,BeO_K}^o	C_{P,CaO_K}^o	C_{P,CaO_K}^o	C_{P,CaO_K}^o	C_{P,MgO_K}^o	C_{P,MgO_K}^o	C_{P,MgO_K}^o
	(38)	(39)	[5, 6]	(40)	(41)	[5, 6]	(42)	(43)	[5,6]
Дж/моль К									
400	33,625	33,625	33,626	46,98	46,984	46,98	42,769	42,768	42,769
500	39,204	39,268	38,76	48,599	48,737	49,331	45,306	44,783	45,56
600	42,62	42,664	42,309	49,96	50,087	50,72	47,143	46,437	47,311
700	44,911	44,933	44,801	51,071	51,16	51,654	48,527	47,818	48,527
800	46,549	46,556	46,557	51,979	52,032	52,346	49,6	48,989	49,454
900	47,774	47,775	47,806	52,731	52,755	52,897	50,459	49,999	50,224
1000	48,724	48,723	48,724	53,36	53,365	53,36	51,16	50,868	50,869
1100	49,481	49,483	49,453	53,894	53,884	53,767	51,744	51,634	51,436
1200	50,098	50,104	50,103	54,351	54,334	54,134	52,237	52,31	51,95
1300	50,61	50,622	50,759	54,747	54,727	54,474	52,659	52,911	52,43
1400	51,043	51,06	51,48	55,093	55,072	54,795	53,024	53,45	52,89
1500	51,411		52,302		55,379	55,1	53,343	53,935	53,341
1600	51,73		53,239		55,652	55,395	53,624	54,374	53,793
1700	52,009		54,28		55,898	55,68	53,873	54,774	54,255
1800	52,254		55,392		56,12	55,959	54,095	55,139	54,736

Рассмотрим уравнение Менделеева-Клайперона для одного моля вещества газообразной фазы

$$\frac{PV}{T} = R \quad (44)$$

С другой стороны, для конденсированной фазы одного моля вещества согласно функции используемой в работе [7] можно записать

$$\frac{P_j V_j}{T} = R = \ell^2 + 1, \text{ где } \ell = 2,71828..... \quad (45)$$

Равенство (45) связывает объем конденсированной фазы V_j и давление P_j эквивалентное средней обобщенной силе действующей на единицу площади внутренней поверхности вещества. Объем конденсированной фазы, используемый в работе [7] представлен зависимостью

$$V = \frac{V_0}{1 - \alpha \cdot T}, \quad (46)$$

где $V_0 = \frac{\mu}{\rho}$; μ – молекулярный вес вещества; ρ — удельная плотность вещества; α – коэффициент пропорциональности.

Для газообразной фазы по аналогии с (46) можно записать

$$V^{(z)} = \frac{V_0^{(z)}}{1 - \alpha \cdot T_{nl}} = \frac{\frac{\mu}{\rho^{(z)}}}{1 - \alpha \cdot T_{nl}}, \quad (47)$$

где $V_0^{(z)} = \frac{\mu}{\rho^{(z)}}$; $\rho^{(z)}$ – удельная плотность вещества газовой фазы.

Согласно уравнению Менделеева-Клайперона (44) и принятому понятию универсальной газовой постоянной можно записать

$$R = \frac{1_{am} \cdot V^{(z)}}{T_{nl}} = \frac{1_{am} \cdot 22,4}{273} \text{ или } V^{(z)} = \frac{22,4}{273} \cdot T_{nl}. \quad (\text{Л}) \quad (48)$$

Решая уравнение (47) относительно α имеем,

$$\alpha = \frac{1 - (\mu / \rho^{(z)}) \cdot V^{(z)}}{T_{nl}} = \frac{1 - V_0^{(z)} / V^{(z)}}{T_{nl}}, \quad (49)$$

где приняли $V_0^{(z)} = 22,4$ (л), при давлении $P = 1 \text{ ат}$ и температуре $T = 273 \text{ К}$.

Подставляя значения $V^{(z)}$ и $V_0^{(z)}$ в (49), получим

$$\alpha = \frac{1}{T_{nl}} - \frac{273}{T_{nl}^2} \approx \frac{1}{T_{nl}}, \quad (50)$$

где $273 \text{ К} \ll T_{nl}^2$.

Равенство (50) идентично зависимости коэффициента α от температуры $\left(\alpha = \frac{1}{T_{nl}}\right)$, установленной в работе [7].

Следовательно, объем конденсированной фазы вещества на основании функций (46) и (50), можно представить

$$V_j = \frac{V_{j0}}{1 - \frac{T}{T_{nl}}} = \frac{\mu / \rho_{me}}{1 - \frac{T}{T_{nl}}}, \quad (51)$$

где T — текущая температура.

Уравнение (51) и (45) использовали при расчете изменения объема V_j одного моля конденсированной фазы и средней обобщенной силы P_j . Для конденсированной фазы алюминия использовали функции

$$V_T^{(Al)} = \frac{9,988 \cdot 10^{-3}}{1 - 1,0714 \cdot 10^{-3} \cdot T} \text{ (л)}; \quad P_j = \frac{RT}{V_j} = \frac{8,379 \cdot T}{V_j}, \quad (52)$$

где

$$V_0 = \left(\frac{\mu}{\rho}\right)^{(Al)} = 9,988 \cdot 10^{-3} \text{ (л)}; \quad \alpha = \left(\frac{1}{T_{nl}}\right)^{(Al)} = 1,0714 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{град}\right);$$

$$\mu^{(Al)} = 26,98 \left(\frac{г}{моль}\right); \quad \rho^{(Al)} = 2,702 \frac{г}{см^3}; \quad T_{nl}^{(Al)} = 933,24K; \quad T_{кин}^{(Al)} = 2521,39K$$

Результаты расчета представлены в табл. 6.

Таблица 6

Изменение объема конденсированной фазы одного моля вещества V_j и среднего значения обобщенной силы P_j с изменением температуры

ТК	$V_j(T)$	$V_j(T)$	$P_j(T)$
	Л – литр	$м^3$	$Н / м^2$
100	$1,11187 \cdot 10^{-2}$	$1,11187 \cdot 10^{-5}$	$7,533 \cdot 10^7$
200	$1,2712 \cdot 10^{-2}$	$1,2712 \cdot 10^{-5}$	$1,3183 \cdot 10^8$
300	$1,4719 \cdot 10^{-2}$	$1,4719 \cdot 10^{-5}$	$1,7078 \cdot 10^8$
400	$1,7479 \cdot 10^{-2}$	$1,7479 \cdot 10^{-5}$	$1,9175 \cdot 10^8$
500	$2,1512 \cdot 10^{-2}$	$2,1512 \cdot 10^{-5}$	$1,9475 \cdot 10^8$
600	$2,7965 \cdot 10^{-2}$	$2,7965 \cdot 10^{-5}$	$1,7977 \cdot 10^8$
700	$3,9948 \cdot 10^{-2}$	$3,9948 \cdot 10^{-5}$	$1,4682 \cdot 10^8$

Выводы:

1. Разработаны принципы расчета индивидуальных термодинамических свойств веществ.
2. Выведены уравнения для расчета изобарной теплоемкости энтропии и энтальпии веществ. Показана их адекватность применения.
3. Основные результаты расчета представлены в таблицах в сопоставлении с данными литературных источников.
4. Уравнения, используемые в расчетах, систематизированы по характеру термодинамических свойств расчетных величин.
5. Рассмотрена принципиальная возможность использования уравнения состояния конденсированных фаз.

Список литературы:

1. С. В. Федоров. Уравнение изобарной теплоемкости в параметрической форме и использование его в расчетах термодинамических функций чистых веществ. Материалы Всероссийской научно-методической конференции, Т. 3 — СПб. Изд. Политехнического университета, 2012 — с. 42-65.
2. С. В. Федоров. Представление термодинамических функций $U(T)$; $S(T)$; $H(T)$; $C_p(T)$; $C_v(T)$; $C_p - C_v$, разложенных в соответствующие ряды, их анализ, обоснование уравнения Майера и механического эквивалента теплоты. Материалы Международной научно-методической конференции 28 февраля – 1 марта 2013 года, Т. 3 — СПб., Изд. Политехн. университета, 2013, — с. 130-143.
3. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочное издание в 4-х т. / Л. В. Гуревич, И. В. Вейц, В. А. Медведев, и др.— 3 изд. перераб. и расширен. — Т. I. Кн. 1. — М.: Наука, 1978. — 496 с., Кн. 2. — М.: Наука, 1978. — 328 с.
4. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочное издание в 4-х т. / Л. В. Гуревич, И. В. Вейц, В. А. Медведев, и др.— 3 изд. перераб. и расширен. — Т. II. Кн. 1. — М., Наука, 1979. — 440 с., Кн. 2. — М., Наука, 1979. — 344 с.
5. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочное издание в 4-х т. / Л. В. Гуревич, И. В. Вейц, В. А. Медведев, и др. —

3 изд. перераб. и расширен. — Т. III. Кн. 1. — М., Наука, 1981. — 472 с. Кн. 2. — М., Наука, 1981. — 400 с.

6. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочное издание в 4-х т. / В. П. Глушко, Л. В. Гуревич, И. В. Вейц, В. А. Медведев, и др. — 3 изд. перераб. и расширен. — Т. IV. Кн. 1. — М., Наука, 1982. — 622 с., Кн. 2 — М., Наука, 1982. — 558 с.

7. Федоров С. В. Поливариантная термодинамическая система и ее внутренняя энергия. Материалы Международной научно-методической конференции 28 февраля – 1 марта 2013 года, Т. 3 — СПб., Изд. Политехн. университета, 2013 — с. 111-129.

ПОЛИВАРИАНТНАЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА И ЕЕ ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

Федоров С. В.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Как известно в случае произвольной моновариантной системы основное термодинамическое тождество выражается зависимостью

$$TdS = dU + Xdx, \quad (1)$$

где X – обобщенная сила;

x – обобщенная координата;

Для правой части равенства (1) применима математическая теорема о том, что линейное дифференциальное выражение для двух переменных всегда имеет интегрирующий делитель. Постулируется только то, что этот делитель отождествляется с температурой. Поливариантные системы, имеющие n механических нетепловых степеней свободы, связаны с элементарной работой вида:

$$\delta A = \sum_{i=1}^n X_i dx_i, \quad (2)$$

где X_i – обобщенная сила, сопряженная с i -й обобщенной координатой;

n – число механических степеней свободы.

Принцип энергии для поливариантной системы определяется уравнением

$$dU = \delta Q - \delta A = \delta Q - \sum_{i=1}^n X_i dx_i . \quad (3)$$

Необходимо заметить, что в случае поливариантной системы в качестве постулата непосредственно переносится в теорию соотношение

$$\delta Q = TdS . \quad (4)$$

Таким образом, утверждение о том, что выражение $dU + \sum_{i=1}^n X_i dx_i$ имеет интегрирующий множитель, представляет собой истинный постулат [1], согласно которому для обратимых процессов

$$\frac{\delta Q}{T} = \frac{dU + \sum_{i=1}^n X_i dx_i}{T} \quad (5)$$

есть полный дифференциал.

Представим уравнение (5) в форме

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dU + \sum X_i dx_i}{T}, \quad (6)$$

где $S_2 - S_1$ – изменение энтропии при равновесном переходе из одного состояния в другое. Для вычисления разности $S_2 - S_1$ по формуле (6) необходимо знать как теоретическое, так калорическое уравнения:

$$X_i = X_i(x_1, x_2, \dots, x_n, T); \quad U = U(x_1, x_2, \dots, x_n, T); \quad (i = 1, 2, \dots, n) . \quad (7)$$

Воспользовавшись известным равенством [2]

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_{x_i} dT + \sum_i \left[\left(\frac{\partial U}{\partial x_i}\right)_{T, x_n} + X_i \right] dx_i}{T} = \int_1^2 \frac{C_{X_1, X_2, \dots, X_n}}{T} + \sum_i \int_1^2 \left(\frac{\partial X_i}{\partial T}\right)_{x_i} dx_i, \quad (8)$$

замечаем, что для нахождения изменения энтропии $S_2 - S_1$ нужно знать только термическое уравнение состояния и зависимость внутренней энергии от температуры (знание ее зависимости от внешних параметров не требуется).

На основании равенств (6) и (8) введем систему дифференциальных уравнений вида:

$$dS_1 - \frac{\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_{x_1} dT}{T} = \frac{\left(\xi_1 + \eta_1 \cdot \frac{1}{\ln T}\right)_{x_1} dT}{T} = \left(\frac{\partial X_1}{\partial T}\right)_{x_1} dx_1 = \frac{R}{x_1} dx_1 = \frac{X_1}{T} dx; RT = X_1 \cdot x_1; \quad (9)$$

$$dS_2 - \frac{\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_{x_2} dT}{T} = \frac{\left(\xi_1 + \eta_1 \cdot \frac{1}{\ln T}\right)_{x_2} dT}{T} = \left(\frac{\partial X_2}{\partial T}\right)_{x_2} dx_2 = \frac{R}{x_2} dx_2 = \frac{X_2}{T} dx_2; RT = X_2 \cdot x_2; \quad (10)$$

$$dS_n - \frac{\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_{x_n} dT}{T} = \frac{\left(\xi_n + \eta_n \cdot \frac{1}{\ln T}\right)_{x_n} dT}{T} = \left(\frac{\partial X_n}{\partial T}\right)_{x_n} dx_n = \frac{R}{x_n} dx_n = \frac{X_n}{T} dx_n; RT = X_n \cdot x_n, \quad (11)$$

где использовалась зависимость теплоемкости $\left(C_{x_i} = C_{v_i} = \left(\xi_n + \eta_n \cdot \frac{1}{\ln T}\right)_{x_n}\right)$

конденсированной фазы термодинамической системы от температуры, в результате чего сохранилась форма уравнения состояния конденсированной фазы, аналогичная уравнению идеальных газов ($RT = X_i \cdot x_i$), вывод которого будет рассмотрен ниже. Следовательно, для поливариантной термодинамической системы, находящейся в термодинамическом равновесии вытекает на основании равенств (9), (10), (11) соотношение

$$X_1 \cdot x_1 = X_2 \cdot x_2 = X_3 \cdot x_3 = \dots = X_n \cdot x_n, \quad (12)$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – объемы одного моля соответствующих веществ, составляющих поливариантную термодинамическую систему;

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ – обобщенные силы, приходящиеся на единицу площади внутренней поверхности конденсированной фазы соответствующих моновариантных систем, составляющих данную поливариантную термодинамическую систему.

Объем конденсированной фазы, согласно уравнению (6) и равенств (9), (10), (11) связан с изменением энтропии соотношением

$$(S_2 - S_1)_{x_i} - \int_1^2 \frac{\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_{x_i} dT}{T} = \int_1^2 \frac{X_i}{T} dx_i = \int_1^2 \left(\frac{\partial X_i}{\partial T}\right)_{x_i} dx_i = \int_1^2 \frac{R}{x_i} dx_i = R \ln \frac{x_i}{x_{0i}}, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n). \quad (13)$$

Чтобы воспользоваться равенством (5) или (8) для анализа связи внутренней энергии и энтропии сложной термодинамической системы введем в рассмотрение их дифференциалы, рассмотренные в работе [3].

$$(dU) = \xi_V dT + \frac{\eta}{T} \left[\frac{1}{\ln T} + 2 + 2 \ln T + \frac{2^3}{3!} (\ln T)^2 + \frac{2^4}{4!} (\ln T)^3 + \dots \right] dT ; \quad (14)$$

$$(dS) = \frac{\xi_V}{T} dT + \frac{\eta}{T} \left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right] dT . \quad (15)$$

Внешнее воздействие обобщенных сил на термодинамическую систему проявляется в форме эквивалентных работ обобщенных сил X_i теплового движения, связанных с некоторой i -ой ординатой векторной функции внутренней энергии и энтропии и выражается суммой элементарных работ теплового движения

$$\sum X_i dx_i, \text{ где } dx_i - \text{ дифференциал обобщенной } i - \text{ й координаты.}$$

На основании основного закона термодинамики для термодинамической системы можно записать [5]

$$T(dS) = (dU) - \sum_i X_i dx_i \quad (16)$$

или согласно равенствам (14) – (16), имеем

$$\begin{aligned} \sum_i X_i dx_i = (dU) - T(dS) = & \frac{\eta}{T} \left[\frac{1}{\ln T} + 2 + 2 \ln T + \frac{2^3}{3!} (\ln T)^2 + \frac{2^4}{4!} (\ln T)^3 + \dots \right] dT - \\ & - \frac{\eta}{T} \left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right] dT, \end{aligned} \quad (17)$$

где X_i – обобщенные силы молекулярного взаимодействия в конденсированной фазе термодинамической системы;

x_i – обобщенная координата соответствующая обобщенной силе X_i ;

(dU) – дифференциал внутренней энергии термодинамической системы;

(dS) – дифференциал энтропии термодинамической системы.

Выполнив преобразования в равенстве (17), получим

$$\begin{aligned} \sum_i X_i \frac{dx_i}{dT} = \eta \cdot \frac{1}{T} \cdot \left\{ \frac{1}{\ln T} \cdot (1 - T) + (2 - T) + \ln T \cdot \left(2 - \frac{T}{2!} \right) + (\ln T)^2 \cdot \left(\frac{2^3}{3!} - \frac{T}{3!} \right) + \right. \\ \left. + (\ln T)^3 \cdot \left(\frac{2^4}{4!} - \frac{T}{4!} \right) + \dots \right\} . \end{aligned} \quad (18)$$

Правую часть равенства (18) можно привести к обобщенному виду:

$$\sum_i X_i dx_i = \frac{\eta}{T} (\ln T)^n \cdot \left(\frac{2^{n+1} - T}{(n+1)!} \right) dT; \quad (n = -1, 0, 1, 2, 3, 4, \dots) \quad (19)$$

Согласно равенствам (16) и (19) можно записать

$$TdS = dU - \sum_i X_i dx_i = dU - \frac{\eta}{T} \cdot (\ln T)^n \cdot \left(\frac{2^{n+1} - T}{(n+1)!} \right) dT; \quad (n = -1, 0, 1, 2, 3, \dots); \quad (20)$$

$$dS = \frac{dU - \frac{\eta}{T} \cdot (\ln T)^n \cdot \left(\frac{2^{n+1} - T}{(n+1)!} \right) \cdot (\ln T)^n dT}{T} = \frac{dU}{T} - \frac{\eta}{T^2} (\ln T)^n \cdot \left(\frac{2^{n+1} - T}{(n+1)!} \right) dT; \quad (21)$$

$$\begin{aligned} S_2 - S_1 &= \int_1^2 \frac{dU}{T} - \int_1^2 \frac{\eta}{T^2} (\ln T)^n \cdot \left(\frac{2^{n+1} - T}{(n+1)!} \right) dT = \int_1^2 \frac{C_V}{T} dT - \eta \int_1^2 \frac{(\ln T)^n}{T^2} \left(\frac{2^{n+1} - T}{(n+1)!} \right) dT = \\ &= \int_1^2 \frac{\xi_V dT}{T} + \int_1^2 \frac{\eta dT}{T \ln T} - \eta \int_1^2 \left(\frac{2^{n+1} - T}{T^2 (n+1)!} \right) \cdot (\ln T)^n dT = \xi_V \ln T + \eta_V \ln |\ln T| - \\ &\quad - \eta \int_1^2 \frac{2^{n+1}}{(n+1)!} \frac{(\ln T)^n}{T^2} dT + \eta \int_1^2 \frac{(\ln T)^n}{T(n+1)!} dT = \xi_V \ln T + \eta_V \ln |\ln T| + \\ &\quad + \frac{\eta}{(n+1)!} \int_1^2 \frac{(\ln T)^n}{T} dT - \frac{\eta \cdot 2^{n+1}}{(n+1)!} \int_1^2 \frac{(\ln T)^n}{T^2} dT = \xi_V \ln T + \eta_V \ln |\ln T| + \frac{\eta}{(n+1)!} \cdot \frac{(\ln T)^{n+1}}{n+1} - \\ &\quad + \frac{(\ln T)^n}{T} + n \int_1^2 \frac{(\ln T)^{n-1}}{T^2} dT + C^{u.n.} \quad (22) \end{aligned}$$

Из равенства (22) вытекает, что энтропия может неограниченно возрастать в связи с неограниченным ростом дискретной величины « n ». Если температура $T \rightarrow 0$, то коэффициенты согласно [3] $\xi = \eta \rightarrow 0$, поэтому $C^{u.n.} \rightarrow 0$, значит на основании (22) $S_2 - S_1 = 0$, т. е. $S_2 = S_1 = const$. Принимая $S_1 = 0$; $S_2 = S_{T \rightarrow 0} \rightarrow 0$, что отвечает третьему закону термодинамики.

Проинтегрировав уравнение (19) найдем суммарную работу всех обобщенных сил термодинамической системы

$$\begin{aligned} \sum_i \int X_i dx_i &= \eta \cdot \frac{2^{n+1}}{(n+1)!} \cdot \int \frac{(\ln T)^n}{T} dT - \eta \cdot \frac{1}{(n+1)!} \cdot \int (\ln T)^n dT = \\ &= \eta \cdot \frac{2^{n+1}}{(n+1)!} \cdot \frac{(\ln T)^{n+1}}{n+1} - \eta \cdot \frac{1}{(n+1)!} \cdot \left[T (\ln T)^n - n \int (\ln T)^{n-1} dT \right], \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (23) \end{aligned}$$

Из уравнения (23) видим, что работа всех обобщенных сил термодинамической системы зависит не только от температуры, но и от квантового

числа n . Если допустить, что обобщенная координата x_i изменяется пропорционально температуре T , то уравнение (19) можно привести к виду

$$\frac{x_i}{T} \sum_i X_i = \frac{\eta}{T} (\ln T)^n \cdot \left(\frac{2^{n+1} - T}{(n+1)!} \right); \quad (n = -1, 0, 1, 2, 3, 4, \dots) . \quad (24)$$

С другой стороны, если допустить, что обобщенная сила X_i пропорциональна температуре, то по аналогии с равенством (24) имеем

$$\frac{X_i}{T} \sum_i x_i = \frac{\eta}{T} (\ln T)^n \cdot \left(\frac{2^{n+1} - T}{(n+1)!} \right); \quad (n = -1, 0, 1, 2, 3, 4, \dots) . \quad (25)$$

Сопоставляя правые части равенств (24) и (25) видим, что они равны, следовательно, левые части этих равенств равны между собой. Из чего следует

$$\frac{x_i}{T} \cdot \sum_i X_i = \frac{X_i}{T} \sum_i x_i . \quad (26)$$

Левая и правая часть равенства (26) выражаются разными функциями, следовательно, они должны быть равны некоторому числу $n \cdot R$, поэтому можно записать

$$\frac{x_i}{T} \cdot \sum_i X_i = \frac{X_i}{T} \sum_i x_i = n \cdot R = \frac{n \cdot \eta \cdot (\ln T)^n}{(n+1)!} \cdot \left[\frac{2^{n+1}}{T} - 1 \right] . \quad (27)$$

На основании левой части равенства (27), предполагая, что

$$x_{-1} = x_0 = x_1 = x_2 = \dots = x_n; \quad (n = -1, 0, 1, 2, \dots),$$

имеем

$$\frac{V_j (X_{-1} + X_0 + X_1 + X_2 + \dots + X_n)}{T} = \frac{V_j \cdot \sum_i X_i}{T} = n \cdot R , \quad (28)$$

где $V_j = x_n$ – объем конденсированной фазы термодинамической системы.

В круглых скобках числителя (28) рассмотрена сумма обобщенных сил, связанных с соответствующими числами дискретной величины ($n = -1, 0, 1, 2, \dots$).

Каждой обобщенной силе равенства (28) отвечает соответствующий статистический характер теплового движения атомов термодинамической системы, основные параметры которого P, V, T связаны уравнениями аналогичными уравнениям состояния идеальных газов внутренне согласующиеся с системой равенств (9), (10), (11)

$$\frac{x_{-1} \cdot X_{-1}}{T} = R; \quad \frac{x_0 \cdot X_0}{T} = R; \quad \frac{x_1 \cdot X_1}{T} = R; \quad \dots; \quad \frac{x_n \cdot X_n}{T} = R, \quad (29)$$

где x_n, X_n – рассматриваются как внутренние параметры, зависящие от характера движения и взаимодействия атомов или молекул термодинамической системы, и являются функциями температуры в отличие от параметров P, V идеальных газов, которые могут принимать произвольные значения, не зависимо от температуры, хотя и являются связанными с температурой функцией состояния. Рассмотрим сумму равенств (29) и приведем ее к виду

$$\frac{V_j (X_{-1} + X_0 + X_1 + X_2 + \dots + X_n)}{T} = \frac{V_j \cdot \frac{1}{n} \sum_i X_i}{T} = \frac{V_j \cdot P_j}{T} = R; \quad (30)$$

$$\frac{X_i (x_{-1} + x_0 + x_1 + x_2 + \dots + x_n)}{T} = \frac{X_i \cdot \frac{1}{n} \sum_i x_i}{T} = \frac{X_j \cdot x_j}{T} = R, \quad (31)$$

где ввели обозначение $P_j = \frac{1}{n} \cdot \sum_i X_i$ – среднее значение обобщенных сил, действующих на единицу площади внутренней поверхности вещества;

$x_j = \frac{1}{n} \cdot \sum_i x_i$ – среднее значение обобщенных объемов. X_j – обобщенная сила.

Правая часть (30) по форме идентична уравнению состояния идеальных газов, однако, содержание сомножителей V_j и P_j отличаются по физической природе от понятия природы объема и давления идеальных газов.

Найдем экстремальные значения функции

$$R = \eta \cdot P = \frac{\eta \cdot (\ln T)^n}{(n+1)!} \cdot \left[\frac{2^{n+1}}{T} - 1 \right], \quad (32)$$

где

$$P = \frac{(\ln T)^n}{(n+1)!} \cdot \left[\frac{2^{n+1}}{T} - 1 \right]; \quad \eta = \frac{R}{P} = \frac{8,389}{P}. \quad (33)$$

С этой целью найдем производную функции (32) по температуре и, приравнявая ее к нулю, получим равенство

$$n \cdot \left(\frac{2^{n+1}}{T} - 1 \right) = \frac{2^{n+1}}{T} \cdot \ln T . \quad (34)$$

Из уравнения (34) вытекает

$$n - n \cdot \frac{T}{2^{n+1}} = \ln T , \quad (35)$$

которое возможно при $n = -1$ и $TK = 1$.

Равенство (35) отражает частный случай использования значения дискретной величины $n = -1$. Чтобы включить весь спектр значений дискретной величины $n = -1, 0, 1, 2, 3, \dots$, необходимо привести функцию (34) к виду

$$n \cdot \left(\frac{2^{n+1}}{T_1} - \ln \ell \right) = \frac{2^{n+1}}{T_1} \cdot \ln T_1 , \quad (36)$$

из которого вытекает

$$n \cdot \frac{2^{n+1}}{T_1} = \frac{2^{n+1}}{T_1} \ln T_1 + \ln \ell^n = \frac{2^{n+1}}{T_1} \left(\ln T_1 + \ln \ell^{\frac{n \cdot T_1}{2^{n+1}}} \right) = \frac{2^{n+1}}{T_1} \cdot \ln \left(T_1 + \ell^{\frac{n \cdot T_1}{2^{n+1}}} \right) , \quad (37)$$

или

$$n = \ln \left(T_1 \cdot \ell^{\frac{n \cdot T_1}{2^{n+1}}} \right) = \ln T , \quad T = \left(T_1 \cdot \ell^{\frac{n \cdot T_1}{2^{n+1}}} \right) , \quad (38)$$

откуда

$$T(n) = \ell^n ; \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) . \quad (39)$$

Исключая минус единицу из рассмотрения равенства (34), тем самым приводим в соответствие характер дискретного изменения энергии термодинамической системы согласно уравнению (23) с экстремальными значениями температур с учетом (39). С другой стороны, каждому экстремальному значению температуры, рассчитанному по уравнению (39), отвечает квадрат температуры $T_1 K$, связанной с равенством

$$(T_1)_{\max}^2 = (-\ell) \cdot \left(\frac{2^{n+1}}{n} \right)^2 , \quad (40)$$

являясь как бы зеркальным отражением экстремума функции (38), который находим из условия равенства нулю ее производной:

$$1 + T_1 \cdot \frac{n T_1}{2^{n+1}} \cdot \frac{1}{\ell} \cdot \frac{n}{2^{n+1}} = 0 . \quad (41)$$

Результаты расчета по уравнениям (39) и (40) приведены в табл. 1

Таблица 1

**Экстремальные значения температур,
рассчитанные по уравнениям (39), (40)**

n	ℓ^n	TK	$-n$	ℓ^{-n}	TK	$-n$	$-(T_1)_{эк}^2$	$(T_1)_{эк}$
(39)						(40)		
0	1	1	0	1	1			
1	ℓ	2,71828	1	ℓ^{-1}	0,3679	1	ℓ	$i\sqrt{\ell}$
2	ℓ^2	7,389	2	ℓ^{-2}	0,1353	2	$\left(\frac{1}{4 \cdot 4^2}\right)\ell$	$\frac{i}{8}\sqrt{\ell}$
3	ℓ^3	20,087	3	ℓ^{-3}	0,04975	3	$\left(\frac{1}{4^2 \cdot 9^2}\right)\ell$	$\frac{i}{36}\sqrt{\ell}$
4	ℓ^4	54,598	4	ℓ^{-4}	0,01831	4	$\left(\frac{1}{4^3 \cdot 16^2}\right)\ell$	$\frac{i}{138}\sqrt{\ell}$
5	ℓ^5	148,412	5	ℓ^{-5}	0,00674	5	$\left(\frac{1}{4^4 \cdot 25^2}\right)\ell$	$\frac{i}{400}\sqrt{\ell}$
6	ℓ^6	403,427	6	ℓ^{-6}	0,002474	6	$\left(\frac{1}{4^5 \cdot 36^2}\right)\ell$	$\frac{i}{832}\sqrt{\ell}$
7	ℓ^7	1096,633	7	ℓ^{-7}	$9,1188 \cdot 10^{-4}$	7	$\left(\frac{1}{4^6 \cdot 49^2}\right)\ell$	$\frac{i}{3116}\sqrt{\ell}$
8	ℓ^8	2980,957	8	ℓ^{-8}	$3,3546 \cdot 10^{-4}$	8	$\left(\frac{1}{4^7 \cdot 64^2}\right)\ell$	$\frac{i}{8192}\sqrt{\ell}$
9	ℓ^9	8103,084	9	ℓ^{-9}	$1,234 \cdot 10^{-4}$	9	$\left(\frac{1}{48 \cdot 81^2}\right)\ell$	$\frac{i}{20736}\sqrt{\ell}$
10	ℓ^{10}	22026,467	10	ℓ^{-10}	$4,56 \cdot 10^{-5}$	10	$\left(\frac{1}{4^9 \cdot 100^2}\right)\ell$	$\frac{i}{51200}\sqrt{\ell}$

Из табл. 1 видим, что плотность экстремальных значений температур понижается с повышением числа n (температуры) в то время как с понижением температуры в интервале $0 < TK < 1$ плотность экстремальных значений температуры возрастает. В связи с этим при низких температурах, когда плотность экстремальных температур резко возрастает анализ зависимости теплоемкости от температуры, согласно уравнению, установленному в [3]

$$C_P = \xi_P + \eta_P \cdot \frac{1}{\ln T} \quad (42)$$

и (39) можно вести, используя функцию

$$C_P = \xi_P + \eta_P \cdot \frac{1}{\ln(\ell)^{-n}} = \xi_P - \eta_P \cdot \frac{1}{n} \quad (43)$$

Дискретный характер изменения теплоемкости согласно уравнению (43) позволяет установить, значение теплоемкости C_p при температуре $T \rightarrow 0$ или $n \rightarrow \infty$. С этой целью запишем уравнение (43) в форме

$$C_p = \xi_V + R - \eta_p \cdot \frac{1}{n} . \quad (44)$$

Выше было установлено, что при низких температурах $C_p - C_V \rightarrow 0$, т. е. $C_p = C_V$, следовательно, согласно уравнению Майера [3], $R = \eta_p = \eta_V \rightarrow 0$

Приведем уравнение (44), при величине $C_p = 0$ к виду

$$\eta_p \cdot \frac{1}{n} = \xi_V + R , \quad (45)$$

Учитывая, что при температуре $TK \rightarrow 0; (n \rightarrow \infty); R = \eta_p = \eta_V \rightarrow 0$, следовательно, $\xi_V \rightarrow 0$. На основании уравнения второго закона термодинамики, запишем

$$\frac{C_p}{T} = \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right) = 0 . \quad (46)$$

Из уравнения (46) следует $S = const$. Принимая $const = 0$, тогда $S \rightarrow 0$ при температуре $TK \rightarrow 0$.

Запишем уравнение внутренней энергии термодинамической системы в форме [3]

$$U = \int \xi dT + \int \eta \cdot \frac{T}{\ln T} dT - \int R dT = (\xi - R) \cdot T + \eta \left\{ \ln |\ln T| + 2 \ln T + \frac{(2 \ln T)^2}{2 \cdot 2!} + \frac{(2 \ln T)^3}{3 \cdot 3!} + \frac{(2 \ln T)^4}{4 \cdot 4!} + \dots \right\} + C^{u.n.} = (\xi - R) \cdot T + \eta \cdot \Delta U , \quad (47)$$

где выражение в фигурных скобках обозначили через ΔU . Полагая в (47) $\eta = 1$ и представляя ΔU в виде скалярного произведения двух векторов, имеем

$$\Delta U = \bar{S}_1 \cdot \bar{A}_1 , \quad (48)$$

где приняли

$$\bar{A}_1 = 1\bar{i} + 2\bar{j} + \frac{2^2}{2 \cdot 2!} \cdot \bar{k} + \frac{2^3}{3 \cdot 3!} \bar{r} + \frac{2^4}{4 \cdot 4!} \bar{\gamma} + \dots ; \quad (49)$$

$$\bar{S}_1 = (\ln |\ln T|) \cdot \bar{i} + (\ln T) \cdot \bar{j} + [(\ln T)^2] \cdot \bar{k} + [(\ln T)^3] \cdot \bar{r} + [(\ln T)^4] \cdot \bar{\gamma} + \dots \quad (50)$$

Скалярное произведение векторов $\Delta U = \bar{S}_1 \cdot \bar{A}_1$, представляется суммой:

$$\begin{aligned}\Delta U &= |\bar{S}_1 \cdot \bar{A}_1| = 1 \cdot \bar{i} \cdot (\ln|\ln T|) \cdot \bar{i} + 2j \cdot (\ln T) \cdot \bar{j} + \frac{2^2}{2 \cdot 2!} \bar{k} \cdot [(\ln T)^2] \cdot \bar{k} + \frac{2^3}{3 \cdot 3!} \bar{r} \cdot [(\ln T)^3] \cdot \bar{r} + \dots = \\ &= 1 \cdot (\ln|\ln T|) \cdot \cos 0^\circ + 2 \cdot (\ln T) \cdot \cos 0^\circ + \frac{2^2}{2 \cdot 2!} \cdot [(\ln T)^2] \cdot \cos 0^\circ + \frac{2^3}{3 \cdot 3!} \cdot [(\ln T)^3] \cdot \cos 0^\circ + \dots = \\ &= \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4 + \dots, \end{aligned} \quad (51)$$

где

$$\Delta U_1 = 1 \cdot (\ln|\ln T|) \cos 0^\circ; \quad \Delta U_2 = \frac{2^2}{2 \cdot 2!} [(\ln T)^2] \cos 0^\circ; \quad \Delta U_3 = \frac{2^3}{3 \cdot 3!} [(\ln T)^3] \cos 0^\circ + \dots \quad (52)$$

Рассматривая дифференциалы функций внутренней энергии (14) и энтропии (15) на основании функций (50) и (51) можно записать

$$\frac{dU_\xi}{dS_\xi} = T; \quad \frac{dU_0}{dS_0} = 2^0; \quad \frac{dU_1}{dS_1} = 2^1; \quad \frac{dU_2}{dS_2} = 2^2; \quad \frac{dU_3}{dS_3} = 2^3; \quad \frac{dU_4}{dS_4} = 2^4; \dots \quad (53)$$

Значения правых частей равенств (53) связаны с экстремальными значениями температур (39), последовательность значений которых можно выразить зависимостью

$$2^{\ln 2^n} = 2^n; \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) . \quad (54)$$

В связи с тем, что энергия и энтропия отвечают аддитивным свойствам, равенства (53) можно связать обобщенной формулой

$$\sum_0^n (dU)_n = \sum_0^n 2^n (dS)_n; \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) . \quad (55)$$

На базе равенства (55), с учетом равенств (47) и уравнения энтропии [3]

$$S = \xi \ln T + \eta \left(\ln|\ln T| + \ln T + \frac{(\ln T)^2}{2 \cdot 2!} + \frac{(\ln T)^3}{3 \cdot 3!} + \frac{(\ln T)^4}{4 \cdot 4!} + \dots \right) + C^{u.n.}, \quad (56)$$

можно записать

$$dU_{o\delta} = dU_\xi + \sum_0^n (dU)_n; \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) ; \quad (57)$$

$$T \cdot dS_{o\delta} = T \cdot dS_\xi + \sum_0^n 2^n (dS)_n; \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) . \quad (58)$$

Вычитая из равенства (57), равенство (58), получим

$$dU_{o\delta} - TdS_{o\delta} = dU_\xi - TdS_\xi + \sum_0^n (dU)_n - \sum_0^n 2^n (dS)_n; \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) . \quad (59)$$

Учитывая, что равенство (59) отражает условие протекания процесса в термически изолированной системе на основании второго закона термодинамики можно записать:

$$dU_{o\delta} - TdS_{o\delta} = 0; dU_{\xi} - TdS_{\xi} = 0; \quad (60)$$

$$\sum_0^n (dU)_n - \sum_0^n 2^n (dS)_n = 0 \quad (n = 0,1,2,3,\dots) . \quad (61)$$

Равенство (61) связано с дискретными значениями величины n , отражающее свойства экстремальных значений функций U и S , для которых дифференциалы $(dU)_n = (dU_{\text{экстр}})_n = 0$ и, следовательно, $\sum_0^n (dU)_n = 0$, откуда вытекает

$$\sum_0^n 2^n (dS)_n = 0 \quad (n = 0,1,2,3,\dots) . \quad (62)$$

Следовательно,

$$(dS)_n = 0; \quad (n = 0,1,2,3,\dots), \quad (63)$$

значит

$$S_n = \text{const}; \quad (n = 0,1,2,3,\dots) . \quad (64)$$

Равенство (64) выражает принцип адиабатной недостижимости Каратеодори термодинамической системы и отражает фундаментальное свойство выше выведенной функции (57). По аналогии с рассмотрением внутренней энергии U термодинамической системы в виде скалярного произведения (48), представим функцию (56) в виде скалярного произведения вектора (50) и вектора

$$\bar{A}_{II} = 1 \cdot \bar{i} + 1 \cdot \bar{j} + \frac{1}{2 \cdot 2!} \bar{k} + \frac{1}{3 \cdot 3!} \bar{r} + \frac{1}{4 \cdot 4!} \bar{\gamma} + \dots, \quad (65)$$

т. е.

$$S = \bar{S}_I \cdot \bar{A}_{II}; \quad |\bar{A}_{II}| - \text{безразмерная величина.} \quad (66)$$

Максимальные значения скалярных произведений (48) и (66) выражаются зависимостями

$$U_{\text{max}} = S_1 \cdot A_1 \cdot \cos \alpha; \quad (\alpha = 0); \quad S_{\text{max}} = S_1 \cdot A_{II} \cdot \cos \alpha; \quad (\alpha = 0) . \quad (67)$$

Исключая величину S_1 из равенств (67), находим

$$S_{\text{max}} = \frac{A_{II}}{A_1} \cdot U_{\text{max}}, \quad \text{где } [A_1] = [\text{град}] = [^{\circ} K] . \quad (68)$$

Надо заметить, что векторы \bar{A}_I , \bar{A}_{II} совпадают по направлению и, следовательно, проекции их на соответствующие орты $(\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}, \bar{r}, \bar{\gamma}, \dots)$ осей

координат, пропорциональны. Из чего следует согласно векторным равенствам (49) и (65)

$$\Delta \bar{A} = \frac{\bar{A}_{II}}{\bar{A}_I} = 1 \cdot \bar{i} + \frac{1}{2} \cdot \bar{j} + \frac{1}{2^2} \cdot \bar{k} + \frac{1}{2^3} \cdot \bar{r} + \frac{1}{2^4} \cdot \bar{\gamma} + \dots, [\Delta A] = [\text{град}^{-1}] = [K^{-1}]. \quad (69)$$

Рассматривая равенство (68) как результат векторного произведения

$$\begin{aligned} (\Delta \bar{A} \cdot \Delta \bar{U}) &= \Delta U + \frac{1}{2} \Delta U + \frac{1}{2^2} \Delta U + \frac{1}{2^3} \Delta U + \frac{1}{2^4} \Delta U + \dots = \Delta U \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^3} + \frac{1}{2^4} + \dots \right) = \\ &= \left[\left(1 + \frac{1}{2^n} \right)^n - 1 \right] \cdot \Delta U = (\ell - 1) \cdot \Delta U_{\max}, \end{aligned} \quad (70)$$

где $n \rightarrow \infty$; т. е. согласно равенству (68) можно записать

$$S_{\max} = (\ell - 1) \cdot \Delta U_{\max}; [\ell - 1] = \left[\frac{1}{\text{град}} \right] = [K^{-1}]. \quad (71)$$

Учитывая, что внутренняя энергия термодинамической системы при данной температуре при ее термической изоляции величина постоянная, энтропия системы, согласно (71) также величина постоянная, что не противоречит принципу адиабатической недостижимости Каратеодори.

Подставляя правую часть функции (39) в равенство (32), получим

$$R = \eta \cdot P = \eta \cdot \frac{n^n}{(n+1)!} \cdot \left(\frac{2^{n+1}}{\ell^n} - 1 \right), \quad (72)$$

где

$$P = \frac{n^n}{(n+1)!} \cdot \left(\frac{2^{n+1}}{\ell^n} - 1 \right). \quad (73)$$

Подставляя функцию (39) в уравнение (23) экстремальное значение работы обобщенных сил термодинамической системы определится равенством

$$\begin{aligned} \sum_i \int X_i dx_i &= \eta \cdot \frac{2^{n+1}}{(n+1)!} \cdot \frac{(\ln T)^{n+1}}{n+1} - \eta \cdot \frac{1}{(n+1)!} \cdot \left[T (\ln T)^n - n \int (\ln T)^{n-1} dT \right] = \\ &= \eta \cdot \frac{n^n}{(n-1)!} \cdot \left[\frac{n(2^{n+1})}{n+1} - \ell^n \right], \end{aligned} \quad (74)$$

где учли, что $dT = d(\ell^n) = 0$

Подставляя в равенство (74) функцию $\eta = \frac{R}{P}$, получим

$$\sum_i \int X_i dx_i = R \cdot \ell^n \cdot \left[n - \frac{\ell^n}{(2^{n+1} - \ell^n)} \right]. \quad (75)$$

Особое место занимает дискретная величина $n = -1$, подставляя которое в (32), найдем

$$R_{-1} = \frac{\eta}{0! \cdot \ln T} \cdot \left[\frac{1}{T} - 1 \right]. \quad (76)$$

Рассматривая производную функции (76) по температуре и приравнявая ее к нулю, найдем экстремальное значение температуры $TK = \ell^{-1}$ при $n = -1$, подставляя которое в равенство (76), имеем

$$R_{-1} = -\eta_{-1} \cdot (\ell - 1); \quad (\ell \approx 2,71828...). \quad (77)$$

Подставляя в равенство (72) значение $n = 0$, функция $R_0 = \eta$. Покажем, что при температуре $TK = 1$ и $n = 0$, $R_0 = 0$. В этой связи, подставляя в равенство (72) значение $n = 0$, получим

$$R = \eta \cdot \left(\frac{2}{T} - 1 \right); \quad (78)$$

$$C_P - C_V = R + \eta \cdot \left(\frac{T}{\ln T} - \frac{1}{\ln T} \right). \quad (79)$$

Подставляя равенство (78) в уравнение (79), имеем

$$C_P - C_V = R + \eta \cdot \left(\frac{T}{\ln T} - \frac{1}{\ln T} \right) = \eta \left(\frac{2}{T} - 1 + \frac{T}{\ln T} - \frac{1}{\ln T} \right) = \eta \cdot \left(\frac{2}{T} - 1 \right). \quad (80)$$

Правые части равенств (78) и (80) равны, из которых следует, что при температуре $TK = 1$

$$C_P - C_V = R = \eta. \quad (81)$$

Выше было показано, что в интервале температур $0,4 \leq TK \leq 1$ (см. табл. 1)

$$C_P - C_V = \eta = 0, \text{ значит и } R = \eta = 0. \quad (82)$$

Для других дискретных значений ($n = 1, 2, 3, \dots$) на основе равенства (69), находим

$$R_1 = \eta_1 \cdot 0,235759; \quad R_2 = \eta_2 \cdot 0,0551215 \quad ; \quad R_3 = -\eta_3 \cdot 0,228832 \quad \text{и т. д.} \quad (83)$$

Из выше изложенного заключаем, что функцию, записанную на основе равенства (30) по форме, совпадающей с уравнением состояния идеального газа

$$\frac{V_j \cdot P_j}{T} = R \quad (84)$$

можно рассматривать как уравнение состояния конденсированных фаз, где V_j и P_j – внутренние параметры термодинамической системы, являющиеся функциями температуры и относительного положения молекул, составляющих конденсированную фазу. На основе уравнения (84) проанализируем изменение внутренней энергии термодинамической системы с изменением ее объема.

Для этого рассмотрим изменение внутренней энергии термодинамической системы с изменением ее объема при постоянной температуре. В этой связи рассмотрим соотношение [4]

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial U}{\partial P}\right)_T \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = -\left[T \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P + P \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T\right] \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T, \quad (85)$$

где индекс j для простоты написания опущен. С учетом равенств (84) и (85) можно записать

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = \frac{R}{P}; \quad \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = \frac{R \cdot T}{V^2}. \quad (86)$$

Подставляя равенства (86) в равенство (85), получим

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = -\left(T \cdot \frac{R}{P} \cdot \frac{RT}{V^2} + P\right) = -\left(\frac{P^2}{P} + P\right) = -2P. \quad (87)$$

Из равенства (87) согласно (84), вытекает

$$(dU)_T = -2P \cdot dV = -\frac{2RT}{V} dV. \quad (88)$$

Проинтегрировав равенство (88), имеем

$$U = -2R \cdot T \int \frac{1}{V} dV = -2R \cdot T \ln V + C^{u.n.} \quad (89)$$

В первом приближении объем конденсированной фазы термодинамической системы представим функцией

$$V = \frac{V_0}{1 - \alpha \cdot T}, \quad (90)$$

где V_0 – начальный объем термодинамической системы; α – постоянный коэффициент.

Подставляя равенство (90) в (89), получим

$$U = -2R \cdot T \ln\left(\frac{V_0}{1 - \alpha \cdot T}\right) + C^{u.n.} = -2R \cdot T \cdot \ln V_0 + 2RT(1 - \alpha \cdot T) + C^{u.n.}. \quad (91)$$

Запишем уравнение (91) для температур T_1 и T_2 :

$$U_1 = -2R \cdot T_1 \cdot \ln V_0 + 2RT_1(1 - \alpha \cdot T_1) + C^{u.n.}; \quad (92)$$

$$U_2 = -2R \cdot T_2 \cdot \ln V_0 + 2RT_2(1 - \alpha \cdot T_2) + C^{u.n.}. \quad (93)$$

Вычитая (93) из (92), находим

$$\Delta U_T = U_1 - U_2 = 2R \ln V_0 \cdot \Delta T + 2R[T_2 \ln(1 - \alpha \cdot T_2) - T_1 \ln(1 - \alpha \cdot T_1)], \quad (94)$$

где $\Delta T = T_2 - T_1$.

Учитывая, что температура величина постоянная можно записать, что $T_1 = T_2 = T$. При последовательном преобразовании равенства (94), имеем

$$\Delta U = 2R \cdot T \cdot \ln \left(\frac{1 - \alpha \cdot T_2}{1 - \alpha \cdot T_1} \right). \quad (95)$$

Решая уравнение (95) относительно α , находим

$$\alpha = \frac{\frac{\Delta U}{\ell^{2RT}} - 1}{T \cdot \left(\frac{\Delta U}{\ell^{2RT}} - 1 \right)} = \frac{1}{T}, \text{ т. е. } \alpha = \frac{1}{T}. \quad (96)$$

Из равенства (96) вытекает, что при всестороннем растяжении объем конденсированной фазы термодинамической системы можно представить зависимостью

$$V = \frac{V_0}{1 - \frac{1}{T_0} \cdot T}, \quad (97)$$

где $\frac{1}{T_0} = \alpha$; T_0 — постоянная температура, которую можно принять в качестве температуры плавления или кипения конденсированной фазы; T — текущая температура. Если в равенстве (94) заменить температуры T, T_1, T_2 , на соответствующие им натуральные логарифмы $\ln T, \ln T_1, \ln T_2$, что не повлияет процесс преобразования функции (90) при выводе уравнения (96). В этом случае $\alpha = \frac{1}{\ln T_0}$, где T_0 — постоянная температура связана с равенством

$$V = \frac{V_0}{1 - \frac{1}{\ln T_0} \cdot \ln T} = \frac{V_0}{1 - \frac{1}{T'_0} \cdot \ln T}, \quad (98)$$

где $\ln T_0 = T'_0$ — постоянная величина.

Равенство (98) удобно использовать при низких температурах, для которых $T(n) = \ell^{-n}$; ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$) и расчеты вести по формуле

$$V = \frac{V_0}{1 - \frac{1}{T'_0} \cdot \ln T} = \frac{V_0}{1 + \frac{n}{T'_0}} = \frac{V_0}{1 + n'}, \quad (99)$$

где $n' = \frac{1}{T'_0} \cdot n$.

Уравнения (97) и (98) отражают характерные особенности в изменении объема термодинамической системы при низких температурах. Из уравнения (97) вытекает, что $T \rightarrow 0$; $V \rightarrow V_0$. Согласно уравнению (98), находим, что при $T \rightarrow 0$; $V \rightarrow 0$. Двойственный характер изменения объема связан с изменением характера взаимодействия между молекулами (атомами), составляющих термодинамическую систему при температуре $T \rightarrow 0$. Уравнение (97) описывает свойства термодинамической системы, не связывая их с квантовым характером изменения ее структуры и энергии. Уравнение (98) отражает эти свойства. Уравнение (97) связано с уравнением состояния для конденсированных фаз

$$P_j = \left(\frac{R}{V} \right)_j \cdot T, \quad (100)$$

где $V_j \approx V_0$ при $T \rightarrow 0$.

Уравнение (98) связано с другой функцией

$$V_j = \left(\frac{R}{P} \right)_j \cdot \ell^{-n}, \quad (101)$$

где $P_j = X_j = P_{j,0}$; $V_j = x_j \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$, (см. (31)).

В работе [3] рассмотрели функцию

$$dU_V = m \cdot \xi \cdot dP + \eta \cdot m \left(\frac{m \cdot P}{\ln mP} \right) \frac{1}{m} d(mP) - V \cdot dP; \quad m = \frac{V}{R}, \quad (102)$$

продифференцировав которую по температуре и учитывая функцию состояния идеальных газов, нашли

$$C_V = (\xi_P - R) + m^2 \cdot \eta_P \left(\frac{P^2}{T} \cdot \frac{1}{\ln T} \right), \quad (103)$$

где $m = \frac{V}{R}$.

Преобразуем уравнение (103) с использованием понятия внешнего и внутреннего параметра термодинамической системы и функции(84)

$$C_V = \xi_V + m \cdot m_j \cdot \eta_P \left(\frac{P}{T(1/P_j)} \cdot \frac{1}{\ln T} \right) = \xi_V + m \cdot m_j \cdot \eta_P \cdot T_j \left(\frac{P}{(P/T)_j^{-1}} \cdot \frac{1}{T \cdot \ln T} \right). \quad (104)$$

Согласно функции (84), можно записать $\left(\frac{P}{T}\right)_j = \left(\frac{R}{V}\right)_j$. Подставляя правую часть последнего равенства в (104), получим

$$\begin{aligned} C_V &= \xi_V + m \cdot m_j \cdot \eta_P \cdot T_j \left(\frac{P}{(R/V)_j^{-1}} \cdot \frac{1}{T \cdot \ln T} \right) = \xi_V + m \cdot m_j \cdot \eta_P \cdot T_j \left(\frac{RT/V}{(R/V)_j^{-1}} \cdot \frac{1}{T \ln T} \right) = \\ &= \xi_V + \frac{V}{R} \cdot \left(\frac{V}{R}\right)_{j\xi} \eta_P \cdot T_j \left(\frac{R \cdot T}{V} \cdot \left(\frac{R}{V}\right)_j \cdot \frac{1}{T \ln T} \right) = \xi_V + \eta_P \cdot \frac{1}{\ln T}, \end{aligned} \quad (105)$$

где приняли $T_j K = 1$ и учли функцию (84). Необходимость принятия значения $T_j K = 1$ вытекает из экстраполяции левой части пропорции $\left(\frac{P}{T}\right)_j = \left(\frac{R}{V}\right)_j$ в область низких температур, предполагая, что правая часть этой пропорции величина постоянная ($R = const; V_j = const$). В этом случае мы приходим к уравнению

$$C_V = \xi_V + \eta_P \frac{1}{\ln T} \quad (106)$$

идентичному уравнению, выведенному в работе [3], используя другие принципы его вывода, не используя понятие внешнего и внутреннего параметров.

В работе [3] было установлено соотношение

$$\frac{1}{\ln T} = \frac{1}{T} \left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right]. \quad (107)$$

Подставляя правую часть равенства (107) в (106), получим новую функцию для теплоемкости при постоянном объеме:

$$C_V = \xi_V + \eta_P \frac{1}{T} \left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right]. \quad (108)$$

Функция (108) широко используется для расчета индивидуальных термодинамических свойств соединений.

Выводы:

1. Рассмотрен квантовый характер изменения энергии и энтропии термодинамической системы.

2. Введено понятие уравнения состояния конденсированных фаз термодинамической системы на основе представлений внутренних параметров объема и давления, зависящих от температуры.

3. Рассмотрен квантовый характер изменения температуры.

4. Доказательство принципа существования энтропии термодинамической системы на основе принципа адиабатической недостижимости Каратеодори.

Список литературы:

1. Ю. Б. Румер, М. Ш. Рывкин. Термодинамика. Статистическая физика и кинетика. М., 1977 г., 552 с.

2. И. П. Базаров. Термодинамика: Учебник. — 3-е изд. — М.: Высшая школа, 1983. — 344 с.

3. Федоров С. В. Представление термодинамических функций: $U(T)$; $S(T)$; $H(T)$; $C_P(T)$; $C_V(T)$; $C_P - C_V$, разложенных в соответствующие ряды, их анализ, обоснование уравнения Майера и механического эквивалента теплоты. Материалы Международной научно-методической конференции, 28 февраля – 1 марта 2013 года, Т. 3 — СПб., Изд. Политехн. университета, 2013, — с. 130-143.

4. Исаев С. И. Курс химической термодинамики. Учебное пособие для вузов. М., «Машиностроение», 1975, 256 с.

5. В. К. Семенченко. Избранные главы теоретической физики. Изд. «Просвещение». Москва, 1966, 396 с.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ
 $U(T); S(T); H(T); C_p(T); C_v(T); C_p - C_v$, РАЗЛОЖЕННЫХ
 В СООТВЕТСТВУЮЩИЕ РЯДЫ, ИХ АНАЛИЗ, ОБОСНОВАНИЕ
 УРАВНЕНИЯ МАЙЕРА И МЕХАНИЧЕСКОГО
 ЭКВИВАЛЕНТА ТЕПЛОТЫ

Федоров С. В.

*Санкт-Петербургский государственный
 политехнический университет*

Из принципа адиабатной недостижимости [1] следует голономность дифференциальной формы δQ , т. е. существование для равновесного элемента теплоты δQ интегрирующих множителей $\frac{1}{\lambda}$, среди которых есть такой, который зависит только от температуры $\left(\frac{1}{\lambda}\right) = \frac{1}{\varphi(t)}$ и определяет энтропию $\frac{\delta Q}{\varphi(t)} = dS$ системы. Рассматривая функцию

$$\varphi(t) = T, \quad (1)$$

где T — является термодинамической (абсолютной) температурой, согласно (1) можно записать

$$dS = \frac{\delta Q}{T}. \quad (2)$$

Объединяя равенство (2) с уравнением первого начала термодинамики для простой термодинамической системы, имеем

$$T \cdot dS = dU + p \cdot dV. \quad (3)$$

Уравнение (3) является исходным при анализе всех равновесных процессов в термодинамических системах с постоянным числом частиц. В работе [2] из статистических принципов анализа термодинамической системы была выведена функция энтропии

$$S = \alpha_s \cdot \ell \left(\frac{A_1}{T^2} + \frac{A_2}{T \ln T} + \frac{A_3}{(\ln)^2} + C \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

где α_s, A_1, A_2, A_3 и C — величины постоянные.

Представим функцию (4) разложенной в ряд:

$$\frac{S}{\alpha_s} = \ell^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots + \frac{x^n}{n!} + \dots, \quad (5)$$

где $x = \pm \left(\frac{A_1}{T^2} + \frac{A_2}{T \ln T} + \frac{A_3}{(\ln T)^2} + C \right)^{\frac{1}{2}}$

Из (5) находим

$$\left[\frac{S}{\alpha_s} - \left(1 + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots + \frac{x^n}{n!} + \dots \right) \right]^2 = x^2. \quad (6)$$

Левую часть равенства (6) можно рассматривать как квадрат дифференциала энтропии, т. е.

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_p = \frac{A_1}{T^2} + \frac{A_2}{T \ln T} + \frac{A_3}{(\ln T)^2} + C. \quad (7)$$

Из преобразований правой части равенства (7), находим

$$\begin{aligned} \frac{A_1}{T^2} + \frac{A_2}{T \ln T} + \frac{A_3}{(\ln T)^2} &= \frac{A_1}{T^2 (\ln T)^2} \cdot \left[(\ln T)^2 + \frac{A_2}{A_1} T \cdot \ln T + \frac{A_3 \cdot A_1}{A_1^2} \cdot T^2 \right] = \\ &= \frac{A_1}{T^2 (\ln T)^2} \cdot \left((\ln T)^2 + \frac{A_2}{A_1} \cdot T \ln T + \frac{A_2^2}{4A_1^2} \cdot T^2 \right) = \frac{A_1}{T^2 (\ln T)^2} \cdot \left((\ln T) + \frac{A_2}{A_1} \cdot T \right)^2 = \\ &= \left(\frac{A_1^{1/2}}{T} + \frac{A_2}{2A_1^{1/2} \cdot \ln T} \right)^2 = \left(\frac{A_1^{1/2}}{T} + \frac{A_3^{1/2}}{\ln T} \right)^2, \end{aligned} \quad (8)$$

где $\frac{A_2}{2} = \sqrt{A_3 \cdot A_1} = A_3^{1/2} \cdot A_1^{1/2}$; $C = 0$.

Согласно равенству (8) уравнение (7) примет вид

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_p = \left(\frac{A_1^{1/2}}{T} + \frac{A_3^{1/2}}{\ln T} \right)_p = \left(\frac{\xi}{T} + \frac{\eta}{\ln T} \right)_p = \frac{1}{T} \left(\xi + \frac{\eta \cdot T}{\ln T} \right)_p = \frac{C_p}{T}, \text{ т. е.}$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_p = \frac{C_p}{T} = \left(\frac{\xi}{T} + \frac{\eta}{\ln T} \right)_p, \quad (9)$$

где $\xi = A_1^{1/2}$; $\eta = A_3^{1/2}$, $dS_p = \left(\frac{\xi}{T} + \frac{\eta}{\ln T} \right)_p \cdot dT$.

Из (9) следует

$$C_p = \xi + \eta \cdot \frac{T}{\ln T}. \quad (10)$$

Проинтегрировав уравнение (9), получим функцию энтропии термодинамической системы при постоянном давлении:

$$S = \xi \ln T + \eta \left(\ln|\ln T| + \ln T + \frac{(\ln T)^2}{2 \cdot 2!} + \frac{(\ln T)^3}{3 \cdot 3!} + \frac{(\ln T)^4}{4 \cdot 4!} + \dots \right) + C^{u.n.}, \quad (11)$$

$C^{u.n.}$ – интегральная постоянная.

Запишем основное уравнение термодинамики для идеальных газов

$$dS = \frac{dU + R \cdot dT}{T}, \quad (12)$$

из которого следует

$$dU = TdS - RdT, \quad (13)$$

где R – универсальная газовая постоянная.

Подставляя в (13) из (9) выражение дифференциала для энтропии при постоянном давлении с учетом уравнения (10), находим

$$(dU)_V = T \cdot \left(\frac{\xi}{T} + \frac{\eta}{\ln T} \right) \cdot dT - R \cdot dT = (C_P - R) \cdot dT = C_V \cdot dT. \quad (14)$$

С другой стороны согласно (12), имеем

$$dU + RdT = d(U + RT) = d(U + PV) = dH^o(T) = \left(\xi + \eta \cdot \frac{T}{\ln T} \right) \cdot dT = C_P \cdot dT. \quad (15)$$

Проинтегрировав уравнения (14) и (15) соответственно, получим

$$U = \int \xi dT + \int \eta \cdot \frac{T}{\ln T} dT - \int RdT = (\xi - R) \cdot T + \eta \left\{ \ln|\ln T| + 2 \ln T + \frac{(2 \ln T)^2}{2 \cdot 2!} + \frac{(2 \ln T)^3}{3 \cdot 3!} + \frac{(2 \ln T)^4}{4 \cdot 4!} + \dots \right\} + C^{u.n.}; \quad (16)$$

$$[H^o(T) - H^o(0)] = \xi \cdot T + \eta \left[\ln|\ln T| + 2 \ln T + \frac{(2 \ln T)^2}{2 \cdot 2!} + \frac{(2 \ln T)^3}{3 \cdot 3!} + \frac{(2 \ln T)^4}{4 \cdot 4!} + \dots \right] + C^{u.n.}. \quad (17)$$

Продифференцировав уравнения (16) и (17) по температуре, найдем

$$C_V = \left(\frac{dU}{dT} \right)_V = \xi - R + \frac{\eta}{T} \left[\frac{1}{\ln T} + 2 + 2 \ln T + \frac{2^3}{3!} (\ln T)^2 + \frac{2^4}{4!} (\ln T)^3 + \dots \right]; \quad (18)$$

$$C_P = \frac{dH}{dT} = \xi + \frac{\eta}{T} \left[\frac{1}{\ln T} + 2 + 2 \ln T + \frac{2^3}{3!} (\ln T)^2 + \frac{2^4}{4!} (\ln T)^3 + \dots \right]. \quad (19)$$

Вычитая из (19) (18), имеем

$$C_P - C_V = R. \quad (20)$$

На основании второго закона термодинамики для изобарических процессов:

$$C_P = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_P \quad (21)$$

и уравнения (11), продифференцировав которое по температуре для изобарной теплоемкости находим функцию

$$C_P = \xi_P + \eta_P \left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right]. \quad (22)$$

На базе уравнений (18) и (22), взаимозависимость C_P^o и C_V^o можно представить равенством

$$C_P - C_V = \xi_P + \eta_P \left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right] - \left\{ \xi_P - R + \frac{\eta_V}{T} \left[\frac{1}{\ln T} + 2 + 2 \ln T + \frac{2^3}{3!} (\ln T)^2 + \frac{2^4}{4!} (\ln T)^3 + \dots \right] \right\}, \quad (23)$$

из которого, полагая $\xi_P - R = \xi_V$; $\eta_P = \eta_V$ вытекает

$$\left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right] = \frac{1}{T} \left[\frac{1}{\ln T} + 2 + 2 \ln T + \frac{2^3}{3!} (\ln T)^2 + \frac{2^4}{4!} (\ln T)^3 + \dots \right]. \quad (24)$$

На основании равенств (10) и (22), имеем

$$\frac{T}{\ln T} = \left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right]. \quad (25)$$

Согласно равенствам (24) и (25), находим

$$\frac{T^2}{\ln T} = \left[\frac{1}{\ln T} + 2 + 2 \ln T + \frac{2^3}{3!} (\ln T)^2 + \frac{2^4}{4!} (\ln T)^3 + \dots \right]. \quad (26)$$

Из равенства (25) вытекает

$$\frac{1}{\ln T} = \frac{1}{T} \left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right]. \quad (27)$$

Равенству (25) отвечают дифференциалы внутренней энергии вида

$$dU_P = C \cdot \xi \cdot dV + \eta \cdot C \left(\frac{CV}{\ln CV} \right) \frac{1}{C} d(CV) - P \cdot dV; \quad C = \frac{P}{R}; \quad (28)$$

$$dU_V = m \cdot \xi \cdot dP + \eta \cdot m \left(\frac{m \cdot P}{\ln mP} \right) \frac{1}{m} d(mP) - V \cdot dP; \quad m = \frac{V}{R}, \quad (29)$$

где использовали уравнение Менделеева-Клайперона $P \cdot V = RT$.

Проинтегрировав (28) и (29), находим внутреннюю энергию идеального газа при давлении $P = const; V = const$, эквивалентную равенствам (15) и (17).

$$U_P = C \cdot \xi \cdot V + \eta \cdot \left[\ln|\ln CV| + 2\ln(CV) + \frac{(2\ln CV)^2}{2 \cdot 2!} + \frac{(2\ln CV)^3}{3 \cdot 3!} + \dots \right] - PV + C^{u.n.}; \quad (30)$$

$$U_V = m \cdot \xi \cdot P + \eta \cdot \left[\ln|\ln mP| + 2\ln(mP) + \frac{(2\ln mP)^2}{2 \cdot 2!} + \frac{(2\ln mP)^3}{3 \cdot 3!} + \dots \right] - PV + C^{u.n.}. \quad (31)$$

Чтобы убедиться в корректности уравнений (30) и (31) покажем, что дифференциалы внутренней энергии равенств (28) и (29) не противоречат термодинамическим методам при анализе свойств термодинамических функций.

Подставляя значения $C = \frac{P}{R}$ в (28), находим

$$dU_P = \frac{P}{R} \cdot \xi \cdot dV + \eta \left(\frac{(P/R) \cdot V}{\ln[(P/R) \cdot V]} \right) \cdot \frac{P}{R} \cdot dV - PdV = \frac{P}{V} \left[\xi + \eta \cdot \frac{(P/R) \cdot V}{\ln T} - R \right] \cdot dV,$$

откуда

$$\frac{R}{P} \cdot \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_P = \xi + \eta \frac{T}{\ln T} - R, \quad \text{где учли } \frac{P}{R} \cdot V = T; \quad (32)$$

Не трудно видеть, что

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_P = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_P \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial V} \right)_P. \quad (33)$$

Воспользовавшись известным равенством [3]

$$\left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_P = \left[C_P - P \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \right], \quad (34)$$

и подставляя его в уравнение (33) с учетом (32), получим

$$\begin{aligned} \frac{R}{P} \cdot \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_P &= \frac{R}{P} \cdot \left[C_P - P \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \right] \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial V} \right)_P = \frac{R}{P} \cdot \left[C_P \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial V} \right)_P - P \right] = \\ &= \left(C_P \cdot \frac{P}{R} - P \right) \cdot \frac{R}{P} = C_P - R = \xi + \eta \cdot \frac{T}{\ln T} - R, \end{aligned} \quad (35)$$

где, согласно уравнению Менделеева-Клайперона $\left(\frac{\partial T}{\partial V} \right)_P = \frac{P}{R}$.

Сопоставляя (32) и (35), находим

$$C_P = \xi_p + \eta_p \cdot \frac{T}{\ln T}. \quad (36)$$

К аналогичным результатам придем при применении термодинамического метода к функции (29).

Из уравнения (29) вытекает

$$\frac{R}{V} \left(\frac{\partial U}{\partial P} \right)_V = \xi + \eta \cdot \frac{T}{\ln T} - R . \quad (37)$$

Для производной левой части равенства (37) можно записать

$$\left(\frac{\partial U}{\partial P} \right)_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_V = C_V \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_V = C_V \cdot \frac{V}{R} . \quad (38)$$

Подставляя (38) в (37), имеем

$$C_V = \xi + \eta \cdot \frac{T}{\ln T} - R = \xi_V + \eta_V \cdot \frac{T}{\ln T} , \quad (39)$$

где

$$\xi_V = \xi - R ; \quad \eta = \eta_V .$$

Покажем, что для теплоемкости при постоянном объеме C_V возможно отличная от (39) функция. С этой целью рассмотрим дифференциал

$$(dU)_P = \frac{P}{R} \cdot \xi_P dV + \eta \cdot \left(\frac{CV}{\ln CV} \right) \cdot dV - PdV = \frac{P}{R} \cdot \xi_P + \eta \cdot \left(\frac{P}{R \cdot \ln(PV/R)} \right) - P ; \quad (40)$$

Разделив левую и правую часть равенства (40) на $P \cdot dV$, получим

$$\frac{1}{P} \cdot \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_P = \frac{1}{R} \cdot \xi_P + \eta \cdot \left(\frac{1}{R \ln(RT/R)} \right) - 1 ;$$

или

$$\frac{R}{P} \cdot \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_P = \xi_P + \eta \cdot \frac{1}{\ln T} - R . \quad (41)$$

Уравнение (41), используя связи (33) и (34) приведем к виду

$$\frac{R}{P} \cdot \left(C_P \left(\frac{\partial T}{\partial V} \right) - P \right) = \xi_P + \eta \cdot \frac{1}{\ln T} - R ,$$

Учитывая, что для идеальных газов, согласно уравнению Менделеева-

Клайперона $\left(\frac{\partial T}{\partial V} \right)_P = \frac{P}{R}$, получим

$$\frac{R}{P} \cdot C_P \cdot \frac{P}{R} - R = \xi_P + \eta \cdot \frac{1}{\ln T} - R ,$$

откуда следует

$$C_P = \xi_P + \eta_P \cdot \frac{1}{\ln T} ; \quad (42)$$

$$C_V = C_P - R = \xi_V + \eta_V \cdot \frac{1}{\ln T}, \quad (43)$$

где $\xi_V = \xi_P - R$; $\eta_P = \eta_V$.

Сопоставляя функции (36) и (39), а также (42) и (43) видим, что они идентичны по форме, поэтому на основании второго закона термодинамики справедливы соотношения аналогичные (21), т. е. $C_P = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_P$; $C_V = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_V$.

На базе уравнений (36) и (43) находим функцию

$$C_P - C_V = R + \eta \cdot \left(\frac{T}{\ln T} - \frac{1}{\ln T} \right). \quad (44)$$

Сопоставляя равенство (20) и функцию (44) приходим к зависимости

$$\eta \cdot \frac{1}{\ln T} (T - 1) = 0, \quad (45)$$

где при $\eta \neq 0$; $TK = 1$.

Уравнение Майера (20) также вытекает из равенства (23) при коэффициенте $\eta \neq 0$; температуре $TK = \ell$, где ℓ – основание натурального логарифма. Анализируя равенства (44) и (23), видим, что они не адекватно отражают физическую природу разности теплоемкостей при температурах $TK = 1$ и $TK = \ell$. Это связано с тем, что входящая в уравнения (23) и (44) универсальная газовая постоянная R должна приобрести новое качество, при котором она не должна зависеть от температуры. В этом качестве величину R обозначим через $2J$. Чтобы исключить эту зависимость на базе уравнения (23) рассмотрим обобщенное равенство вида

$$2J_1 - \eta \left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right] = 2J_1 - \frac{\eta}{T} \left[\frac{1}{\ln T} + 2 + 2 \ln T + \frac{2^3}{3!} \cdot (\ln T)^2 + \dots \right], \quad (46)$$

где в равенствах (23) и (44) универсальную газовую постоянную R , размерность которой связана с температурой $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{мольК}} \right)$, заменили на величину

$2J_1$, размерность которой не включает температуру, причем в равенстве (44) было исключено слагаемое суммы связанное с температурой, как необязательное согласно (45) при $TK = 1$.

Вычитая из левой и правой части равенства (46) правую часть соотношения (27), получим:

$$2J_1 - \left(T + \frac{1}{T}\right) \cdot \left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right] = 2J_1 - \frac{1}{T} \left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \dots \right] - \left[\frac{1}{\ln T} + 2 + 2 \ln T + \frac{2^3}{3!} \cdot (\ln T)^2 + \frac{2^4}{4!} + \dots \right]. \quad (47)$$

Равенство (47) согласно равенствам (25) и (26) перепишем в форме

$$2J_1 - \left(T + \frac{1}{T}\right) \cdot \left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right] = 2J_1 - \left(\frac{T^2}{\ln T} + \frac{1}{\ln T} \right). \quad (48)$$

Из соотношения (48) видим, что левая и правая часть его связаны разными функциями, поэтому, чтобы сохранить наименьшее из возможных значений величины J_1 приравняем их к положительному наименьшему числу $h=0$ при температуре $TK=\ell$.

Следовательно, на основании правой части равенства (48), имеем

$$2J_1 - \left(\frac{T^2}{\ln T} + \frac{1}{\ln T} \right) = 0, \quad (49)$$

откуда

$$J_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{T^2}{\ln T} + \frac{1}{\ln T} \right) = \frac{1}{2} (\ell^2 + 1) = 4,1945 \text{ (Дж)}, \quad \ell = 2,71828. \quad (50)$$

Согласно левой части равенства (48) находим

$$\begin{aligned} 2J_1 &= \ell \cdot \left(1 + 1 + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \frac{1}{4!} + \dots \right) + \frac{1}{\ell} \cdot \left(1 + 1 + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \frac{1}{4!} + \dots \right) = \ell \cdot \left(1 + \frac{1}{n} \right)^n + \frac{1}{\ell} \left(1 + \frac{1}{n} \right)^n = \\ &= \ell^2 + 1; \quad \text{при } n \rightarrow \infty \\ J_1 &= \frac{1}{2} \cdot (\ell^2 + 1) = 4,1945 \text{ (Дж)}. \quad (51) \end{aligned}$$

Сопоставляя результаты расчета значения механического эквивалента J_1 , по уравнениям (50) и (51) видим, что они совпали.

Найденное значение величины J_1 несколько отличается от экспериментально определенного значения механического эквивалента теплоты $J = 4,186 \text{ (Дж)}$, следовательно, левая часть равенства (49) должна быть равна ($h = -0,0085 \text{ (Дж)}$). Равенство (50) можно рассматривать, как теоретическое обоснование определения механического эквивалента теплоты.

В равенстве (47) было принято, что коэффициенты $\eta_p = \eta_V = 1$. Если считать, что найденное значение $J_1 = 4,1945$ (Дж) соответствует одной калории теплоты, то в левой части равенства (47) надо ввести коэффициенты $\eta_p = 0$ и $\eta_V = 2$. В этом случае, равенство (47) записанное в общем виде,

$$2J_1 - \left(\eta_p \cdot T + \frac{\eta_V}{T} \right) \cdot \left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right] = 0, \quad (52)$$

примет вид

$$2J_1 = \frac{2}{T} \cdot \left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right]. \quad (53)$$

Подставляя в (53) $TK = \ell$, находим $J_1 = 1_{\text{кал}}$. Найденная единица теплоты (калория) по уравнению (53), не связана с природой вещества, так как определяется только величиной числа ℓ .

Эту единицу теплоты назовем натуральной калорией (1.н.кал).

$$(1_{\text{н.кал}}) = 4,1945 \text{ (Дж)}. \quad (54)$$

Связь единицы натуральной калории теплоты с единицей экспериментально определенной калорией выражается равенством

$$(1_{\text{н.кал}}) = 1,002_{\text{кал}}. \quad (55)$$

Уравнение (44) формально выражает процесс эквивалентного преобразования теплоты термодинамической системы в работу с учетом компенсации, величина которой определяется вторым слагаемым, зависящим от температуры. Надо заметить, что универсальная газовая постоянная R , входящая в уравнение (44) также является функцией температуры, т. е. $R = R(T)$, которая, вообще говоря, в широком интервале температур для одноатомных (идеальных газов) остается величиной постоянной и равной ($R = 8,315 \text{ Дж / мольК}$). В частности ее можно представить в интервале температур $400 \leq TK \leq 2000$

$$R(T) = -5,07 \cdot 10^{-3} \cdot T + 0,998 \cdot f_{C_p}(T) + 19,239 f_{C_V}(T) - 18,605 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{мольК}} \right). \quad (56)$$

С другой стороны, предельное значение универсальной газовой постоянной R_n можно оценить по формуле:

$$R(T) = \frac{1}{T} \left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right] + \left[\frac{1}{\ln T} + 2 + 2 \ln T + \frac{2^3}{3!} (\ln T)^2 + \dots \right]. \quad (57)$$

Подставляя в уравнение (57) значение $T(K) = \ell$, получим предельное значение универсальной газовой постоянной $R_n(\ell) = 8,389 \text{ Дж/мольК}$, которое совпадает со значением механического эквивалента теплоты $2J_n = 8,389 \text{ (Дж)}$.

На основании равенств (42)-(44), (25) и (27), имеем

$$T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_P - T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_V = C_P - C_V = R + \eta \cdot \left(\frac{T}{\ln T} - \frac{1}{\ln T} \right) = R + \eta \cdot \left(\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \left(\frac{\ln T}{3!} \right)^2 + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{T} \right). \quad (58)$$

Умножив все части равенства (58) на величину $\left(1 - \frac{1}{T} \right)$, получим

$$\left(1 - \frac{1}{T} \right) \cdot \left[T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_P - T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_V \right] = \left(1 - \frac{1}{T} \right) (C_P - C_V) = \left(1 - \frac{1}{T} \right) \cdot R + \eta \cdot \left(1 - \frac{1}{T} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right). \quad (59)$$

Каждое из произведений (59) стремится к нулю, при $TK \rightarrow 1$. Следовательно, можно записать

$$\left(1 - \frac{1}{T} \right) \cdot (C_P - C_V) = 0. \quad (60)$$

Если при равенстве нулю всех величин, входящих в уравнение (59) связать с сомножителем $\left(1 - \frac{1}{T} \right) \rightarrow 0$ при $TK \rightarrow 1$, то приходим к необязательному характеру стремления функций (42) и (43) к нулю при $TK \rightarrow 0$, что противоречит третьему закону термодинамики ($S \rightarrow 0$ при $T \rightarrow 0$).

Чтобы исключить это противоречие необходимо в равенстве (60) принять $(C_P - C_V) = 0$, что приводит, согласно (20), к стремлению $R \rightarrow 0$ и к равенству $C_P = C_V$, подчеркивая при этом, что нет различия между теплоемкостью при постоянном давлении и при постоянном объеме. Это подтверждается результатами расчета значений разности теплоемкостей в области низких температур, представленной как функция:

$$C_P - C_V = f_{C_P}(T) - f_{C_V}(T) = \left[\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right] - \frac{1}{T} \left[\frac{1}{\ln T} + 2 + 2 \ln T + \frac{2^3}{3!} (\ln T)^2 + \frac{2^4}{4!} (\ln T)^3 + \dots \right]. \quad (61)$$

Результаты расчета по уравнению (61) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения функций $f_{C_P}(T)$, $f_{C_V}(T)$ и их разности $C_P - C_V = f_{C_P}(T) - f_{C_V}(T)$

ТК	$f_{C_P}(T)$	$f_{C_V}(T)$	$C_P - C_V$	ТК	$f_{C_P}(T)$	$f_{C_V}(T)$	$C_P - C_V$
	(22)	(18)					
1,1	11,54126	11,541243	$1,7 \cdot 10^{-5}$	2,6	2,712832	2,598623	0,11421
1,2	6,581769	6,581516	$2,53 \cdot 10^{-4}$	2,7	2,708674	2,578466	0,13021
1,3	4,954802	4,953877	$2,25 \cdot 10^{-4}$	2,8	2,708208	2,561260	0,1421
1,4	4,160706	4,158070	$2,636 \cdot 10^{-3}$	2,9	2,710803	2,546430	0,1644
1,5	3,699214	3,693917	$5,297 \cdot 10^{-3}$	3,0	2,715952	2,533526	0,1824
1,6	3,403788	3,394619	$9,169 \cdot 10^{-3}$	3,1	2,72325	2,522194	0,2016
1,7	3,203026	3,188719	$1,4307 \cdot 10^{-2}$	3,2	2,732365	2,512150	0,2202
1,8	3,061234	3,040493	$2,0741 \cdot 10^{-2}$	3,3	2,743023	2,503165	0,2399
1,9	2,958594	2,930132	$2,8462 \cdot 10^{-2}$	3,4	2,755	2,495058	0,2599
2,0	2,88322	2,845786	$3,7434 \cdot 10^{-2}$	3,5	2,768107	2,487677	0,2804
2,1	2,827554	2,77995	$4,7604 \cdot 10^{-2}$	3,6	2,782185	2,480899	0,3013
2,2	2,786562	2,727645	$5,8917 \cdot 10^{-2}$	3,7	2,7971	2,474626	0,3225
2,3	2,756765	2,685463	$7,1302 \cdot 10^{-2}$	3,8	2,812738	2,468772	0,3439
2,4	2,735679	2,650988	$8,4691 \cdot 10^{-2}$	3,9	2,829	2,463269	0,3657
2,5	2,721489	2,622473	$9,0359 \cdot 10^{-2}$	4,0	2,845805	2,458060	0,3877

Из преобразований функции (44), вытекает

$$T^{\frac{1}{\eta(T-1)}} = \ell^{\frac{1}{(C_P - C_V) - R}}. \quad (62)$$

Левая часть равенства (62) является функцией температуры. Правая часть равенства (62) связана с разностью теплоемкостей, следовательно, каждая из них равняется некоторому постоянному числу m . Можно записать

$$T^{\frac{1}{\eta(T-1)}} = m; \quad \ell^{\frac{1}{(C_P - C_V) - R}} = m. \quad (63)$$

Каждое из равенств (63) исследуем на экстремум, найдем их производные и, приравняв их нулю, получим: из уравнения связанного с температурой, находим экстремальное значение температуры из соотношения

$$\left[\frac{1}{\eta} \cdot (T-1) \cdot \ln T \right]' = \ln m; \quad \frac{1}{\eta} \cdot \left[\ln T + (T-1) \cdot \frac{1}{T} \right] = 0$$

или $1 - \ln T = \frac{1}{T}$; $TK = 1$.

Из уравнения, связанного с теплоемкостью с учетом равенства (44), нашли экстремальную температуру из соотношения

$$\left(\frac{1}{\ell^{(C_P - C_V) - R}} \right)'_T = \left(\frac{1 - C_P + C_V + R}{\ell^{(C_P - C_V) - R}} \right)'_T \cdot \left(\frac{1}{C_P - C_V - R} \right)'_T = 0. \quad (64)$$

Из (64) находим

$$\left(\frac{1}{C_P - C_V - R} \right)'_T = \left[\left(\frac{1}{T / \ln T - 1 / k n T} \right) \cdot \frac{1}{\eta} \right]'_T = -\frac{1}{\eta} \cdot \frac{1}{(\ln T)^2} \cdot \left(\frac{(1/T) \cdot (\ln T + 1)}{(T / \ln T) - (1 / \ln T)} \right) = 0,$$

откуда следует

$$\ln T + 1 = 0; \quad \ln T = -1; \quad TK = \ell^{-1} \approx 0,3679.$$

Из анализа соотношений (63) нашли предельные температуры $TK = 1$; $TK = \ell$. Предельному значению температуры $TK = 1$ отвечает предельное значение $C_P - C_V = 0$. С другой стороны предельному значению температуры $TK = \ell$ отвечает максимальное значение $C_P - C_V = R_{\max} = \ell^2 + 1 = 8,389$ Дж / мольК (см. (57)), в интервале температур $0,3679 \leq TK \leq 1$ $C_P - C_V \approx 0$ (см. табл. 2).

Из выше приведенного анализа равенства (59), вытекает, что

$$(C_P - C_V) = \left(1 - \frac{1}{T} \right) \cdot \left(\frac{1}{\ln T} + 1 + \frac{\ln T}{2!} + \frac{(\ln T)^2}{3!} + \frac{(\ln T)^3}{4!} + \dots \right). \quad (65)$$

Равенство (65) можно преобразовать к виду

$$C_P - C_V = \left(1 - \frac{1}{T} \right) \cdot \frac{1}{\ln T} + \left(1 - \frac{2}{T} \right) + \left(\frac{1}{2} - \frac{2}{T} \right) \cdot \ln T + \left(0,16667 - 1,3333 \cdot \frac{1}{T} \right) \cdot (\ln T)^2 + \\ + \left(0,0416667 - 0,6666 \cdot \frac{1}{T} \right) \cdot (\ln T)^3 + \dots \quad (66)$$

На базе уравнения (66) проведем анализ сходимости ряда в выше найденном пределе $0,4 \leq TK \leq 1$ и при температурах ниже его, используя принцип сходимости знакочередующихся рядов по Лейбницу [4], для которых необходимо выполнение условия $u_1 > u_2 > u_3 > \dots$, где $u_1, u_2, u_3 \dots$ – абсолютные значения членов ряда. Результаты расчета по сходимости ряда (66) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения слагаемых членов ряда (66)

TK	$\left(1 - \frac{1}{T}\right) \frac{1}{\ln T}$	$\left(1 - \frac{2}{T}\right)$	$\left(\frac{1}{2} - \frac{2}{T}\right) \cdot \ln T$	$\left(0,1667 - 1,333 \frac{1}{T}\right) \cdot (\ln T)^2$	$\left(0,04167 - 0,666 \frac{1}{T}\right) \cdot (\ln T)^3$	$C_P - C_V$
	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	
0,9	1,05458	-1,2222	0,18145	-0,0145951	0,00081767	0
0,7	1,20157	-1,8571	0,84073	-0,22119	0,0413259	0
0,5	1,442695	-3	2,4260	-1,201153	0,43011	0,001
0,25	2,164	-7	10,3972	-9,92912	6,9928	2,6249
0,2	2,4859	-9	15,29	-16,836	13,721	5,6623
0,1	3,9086	-19	44,9	-71,574	80,87	39,105
0,01	445,912	-199	918,791	-2824,073	6506,251	3047,827

Из результатов расчета, приведенных в табл. 2, заключаем, что при температурах $TK = 0,9; 0,7; 0,5$ ряд (66) сходится, это значит, что в интервале температур $TK > 0,5$ термодинамическая система имеет энтропию.

При температуре $TK < 0,5$ ряд (66) расходится, что свидетельствует о неопределенности значения энтропии термодинамической системы. По-видимому, этим объясняется возрастание значений разности теплоемкостей $C_P - C_V$ при температуре $TK \rightarrow 0$, что свидетельствует о возможной не применимости уравнения (66) при температурах $TK < 0,5$.

Функция $R(T)$ в точке $TK = \ell$ экстремума функции (57) принимает максимальное значение величины ($R(\ell) = 8,389 \text{ Дж/мольК}$), которая совпадает со значением механического эквивалента теплоты ($J = 8,389 \text{ Дж}$). В этой точке происходит безкомпенсационный переход теплоты в работу.

Выводы:

1. Выведены конкретные уравнения зависимости внутренней энергии, энтропии, теплоемкости, энтальпии от температуры.

2. Проведен анализ термодинамической системы при низких температурах с помощью функций $U(T); S(T); H(T); C_p(T); C_v(T); C_p - C_v$, разложенных в ряды.

3. Предложено уравнение для расчета механического эквивалента теплоты.

4. Найдены пределы изменения уравнения Майера.

Список литературы:

1. И. П. Базаров. Термодинамика: Учебник. — 3-е изд. — М.: Высшая школа, 1983, с. 344.

2. Федоров С. В. Вывод уравнения энтропии веществ как функции отношений сумм состояний и температуры. Материалы XVII Международной научно-методической конференции. Том 2. Изд. Политехнического университета. Санкт-Петербург. 2010, 56-63 с.

3. Исаев С. И. Курс химической термодинамики. Учебное пособие для вузов. М., «Машиностроение», 1975, с. 256.

4. Н. С. Пискунов. Дифференциальное и интегральное исчисления. Для вузов. Государственное издательство физико-математической литературы. М. 1962. с. 852.

УРАВНЕНИЯ ЭНТРОПИИ И ИЗОБАРНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВЕЩЕСТВ КАК ФУНКЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Федоров С. В.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Рассмотрим систему, состоящую из N однотипных материальных точек. Разобьем эту систему материальных точек на группы с числом частиц в каждой группе $n_i, n_k, n_p, \dots, n_j$, для которых выполняется условие

$$N = n_i + n_k + n_p + \dots + n_j . \quad (1)$$

Пусть каждая группа i, k, p, \dots, j состоит из большого числа частиц, которые можно разбить на подгруппы с числом частиц в каждой из них

$n_{i_1}, \dots, n_{i_i}; n_{k_1}, \dots, n_{k_k}; n_{p_1}, \dots, n_{p_p}; \dots; n_{j_1}, \dots, n_{j_j}$ соответственно, причем должны соблюдаться равенства

$$\begin{aligned}
 n_i &= n_{i_1} + n_{i_2} + \dots + n_{i_i}; \\
 n_k &= n_{k_1} + n_{k_2} + \dots + n_{k_k}; \\
 n_p &= n_{p_1} + n_{p_2} + \dots + n_{p_i}; \\
 &\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\
 n_j &= n_{j_1} + n_{j_2} + \dots + n_{j_j}.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Интервалы изменения энергий в каждой выше указанной группе тождественных частиц находятся в пределах

$$(\varepsilon_i, \varepsilon_i + \Delta\varepsilon_i); (\varepsilon_k, \varepsilon_k + \Delta\varepsilon_k); (\varepsilon_p, \varepsilon_p + \Delta\varepsilon_p); \dots; (\varepsilon_j, \varepsilon_j + \Delta\varepsilon_j). \tag{3}$$

Учитывая, что энергия систем материальных точек является аддитивной функцией, то ее всегда можно представить в виде сумм ее составляющих, поэтому каждый из интервалов (3) можно представить в виде суммы интервалов

$$\begin{aligned}
 (\varepsilon_i, \varepsilon_i + \Delta\varepsilon_i) &= (\varepsilon_{i_1}, \varepsilon_{i_1} + \Delta\varepsilon_{i_1}) + (\varepsilon_{i_2}, \varepsilon_{i_2} + \Delta\varepsilon_{i_2}) + \dots + (\varepsilon_{i_i}, \varepsilon_{i_i} + \Delta\varepsilon_{i_i}); \\
 (\varepsilon_k, \varepsilon_k + \Delta\varepsilon_k) &= (\varepsilon_{k_1}, \varepsilon_{k_1} + \Delta\varepsilon_{k_1}) + (\varepsilon_{k_2}, \varepsilon_{k_2} + \Delta\varepsilon_{k_2}) + \dots + (\varepsilon_{k_k}, \varepsilon_{k_k} + \Delta\varepsilon_{k_k}); \\
 (\varepsilon_p, \varepsilon_p + \Delta\varepsilon_p) &= (\varepsilon_{p_1}, \varepsilon_{p_1} + \Delta\varepsilon_{p_1}) + (\varepsilon_{p_2}, \varepsilon_{p_2} + \Delta\varepsilon_{p_2}) + \dots + (\varepsilon_{p_p}, \varepsilon_{p_p} + \Delta\varepsilon_{p_p}); \\
 &\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\
 (\varepsilon_j, \varepsilon_j + \Delta\varepsilon_j) &= (\varepsilon_{j_1}, \varepsilon_{j_1} + \Delta\varepsilon_{j_1}) + (\varepsilon_{j_2}, \varepsilon_{j_2} + \Delta\varepsilon_{j_2}) + \dots + (\varepsilon_{j_j}, \varepsilon_{j_j} + \Delta\varepsilon_{j_j}).
 \end{aligned} \tag{4}$$

В дальнейшем будем считать, что на каждом интервале изменения энергии в подгруппах, их средняя энергия остается неизменной, т. е. соблюдаются равенства

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{i_1}^{cp} &= \varepsilon_{i_2}^{cp} = \dots = \varepsilon_{i_i}^{cp} = \bar{\varepsilon}_{i_i}; \\
 \varepsilon_{k_2}^{cp} &= \varepsilon_{k_2}^{cp} = \dots = \varepsilon_{k_k}^{cp} = \bar{\varepsilon}_{k_k}; \\
 \varepsilon_{p_1}^{cp} &= \varepsilon_{p_2}^{cp} = \dots = \varepsilon_{p_p}^{cp} = \bar{\varepsilon}_{p_p}; \\
 &\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\
 \varepsilon_{j_1}^{cp} &= \varepsilon_{j_2}^{cp} = \dots = \varepsilon_{j_j}^{cp} = \bar{\varepsilon}_{j_j}.
 \end{aligned} \tag{5}$$

Для каждой подгруппы частиц выше указанных групп составим суммы распределения энергий частиц по состояниям

$$\begin{aligned}
\sum_i^{n_i} \ell^{-\frac{\varepsilon_i}{kT}} &= \sum_i^{n_{i_1}} \ell^{-\frac{\varepsilon_{i_1}}{kT}} + \sum_{i_1+1}^{n_{i_2}} \ell^{-\frac{\varepsilon_{i_2}}{kT}} + \dots + \sum_{i_1+1}^{n_{i_i}} \ell^{-\frac{\varepsilon_{i_i}}{kT}} ; \\
\sum_k^{n_k} \ell^{-\frac{\varepsilon_k}{kT}} &= \sum_k^{n_{k_1}} \ell^{-\frac{\varepsilon_{k_1}}{kT}} + \sum_{k_1+1}^{n_{k_2}} \ell^{-\frac{\varepsilon_{k_2}}{kT}} + \dots + \sum_{k_1+1}^{n_{k_k}} \ell^{-\frac{\varepsilon_{k_k}}{kT}} ; \\
\sum_p^{n_p} \ell^{-\frac{\varepsilon_p}{kT}} &= \sum_p^{n_{p_1}} \ell^{-\frac{\varepsilon_{p_1}}{kT}} + \sum_{p_1+1}^{n_{p_2}} \ell^{-\frac{\varepsilon_{p_2}}{kT}} + \dots + \sum_{p_1+1}^{n_{p_p}} \ell^{-\frac{\varepsilon_{p_p}}{kT}} ; \\
&\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\
\sum_j^{n_j} \ell^{-\frac{\varepsilon_j}{kT}} &= \sum_j^{n_{j_1}} \ell^{-\frac{\varepsilon_{j_1}}{kT}} + \sum_{j_1+1}^{n_{j_2}} \ell^{-\frac{\varepsilon_{j_2}}{kT}} + \dots + \sum_{j_1+1}^{n_{j_j}} \ell^{-\frac{\varepsilon_{j_j}}{kT}} .
\end{aligned} \tag{6}$$

На базе систем равенств (4), (5) и (6) в предположении, что средние энергии частиц в каждой подгруппе равны имеем

$$\begin{aligned}
\sum_i^{n_i} \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_i}{kT}} &= n_{i_1} \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{i_1}}{kT}} + n_{i_2} \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{i_2}}{kT}} + \dots + n_{i_i} \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{i_i}}{kT}} = (n_{i_1} + n_{i_2} + \dots + n_{i_i}) \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{i_i}}{kT}} = n_i \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{i_i}}{kT}} ; \\
\sum_k^{n_k} \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_k}{kT}} &= n_{k_1} \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{k_1}}{kT}} + n_{k_2} \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{k_2}}{kT}} + \dots + n_{k_i} \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{k_k}}{kT}} = (n_{k_1} + n_{k_2} + \dots + n_{k_k}) \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{k_k}}{kT}} = n_k \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{k_k}}{kT}} ; \\
\sum_p^{n_p} \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_p}{kT}} &= n_{p_1} \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{p_1}}{kT}} + n_{p_2} \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{p_2}}{kT}} + \dots + n_{p_p} \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{p_p}}{kT}} = (n_{p_1} + n_{p_2} + \dots + n_{p_p}) \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{p_p}}{kT}} = n_p \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{p_p}}{kT}} ; \\
&\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\
\sum_j^{n_j} \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_j}{kT}} &= n_{j_1} \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{j_1}}{kT}} + n_{j_2} \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{j_2}}{kT}} + \dots + n_{j_j} \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{j_j}}{kT}} = (n_{j_1} + n_{j_2} + \dots + n_{j_j}) \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{j_j}}{kT}} = n_j \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{j_j}}{kT}} ,
\end{aligned} \tag{7}$$

где приняли, что $\ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{i_1}}{kT}} = \dots = \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{i_i}}{kT}} ; \dots ; \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{j_1}}{kT}} = \dots = \ell^{-\frac{\bar{\varepsilon}_{j_j}}{kT}}$

Учитывая, что каждая подгруппа рассматриваемых групп материальных точек по отношению к другим подгруппам является системой независимых материальных точек, следовательно, эти подгруппы подчиняются теореме умножения в теории вероятности, а число микросостояний в

каждой подгруппе определяется соотношениями, связанными с равенствами (7).

$$\begin{aligned}
\frac{W_i}{n_i^{n_{i_1}+n_{i_2}+\dots+n_{i_i}}} &= \left(\sum_i^{n_i} \ell^{-\frac{\varepsilon_i}{kT}} \right)^{n_{i_1}+n_{i_2}+\dots+n_{i_i}} = \frac{W_i}{n_i^{n_i}} = \left(\sum_i^{n_i} \ell^{-\frac{\varepsilon_i}{kT}} \right)^{n_i} = \ell^{\frac{(n_{i_1}+n_{i_2}+\dots+n_{i_i})\bar{\varepsilon}_i}{kT}} = \\
&= \ell^{\frac{n_i \cdot \bar{\varepsilon}_i}{kT}} = \ell^{\frac{\Delta \bar{E}_i}{kT}}; \\
\frac{W_k}{n_k^{n_{k_1}+n_{k_2}+\dots+n_{k_k}}} &= \left(\sum_k^{n_k} \ell^{-\frac{\varepsilon_k}{kT}} \right)^{n_{k_1}+n_{k_2}+\dots+n_{k_k}} = \frac{W_k}{n_k^{n_k}} = \left(\sum_k^{n_k} \ell^{-\frac{\varepsilon_k}{kT}} \right)^{n_k} = \ell^{\frac{(n_{k_1}+n_{k_2}+\dots+n_{k_k})\bar{\varepsilon}_k}{kT}} = \\
&= \ell^{\frac{n_k \cdot \bar{\varepsilon}_k}{kT}} = \ell^{\frac{\Delta \bar{E}_k}{kT}}; \\
\frac{W_p}{n_p^{n_{p_1}+n_{p_2}+\dots+n_{p_p}}} &= \left(\sum_p^{n_p} \ell^{-\frac{\varepsilon_p}{kT}} \right)^{n_{p_1}+n_{p_2}+\dots+n_{p_p}} = \frac{W_p}{n_p^{n_p}} = \left(\sum_p^{n_p} \ell^{-\frac{\varepsilon_p}{kT}} \right)^{n_p} = \ell^{\frac{(n_{p_1}+n_{p_2}+\dots+n_{p_p})\bar{\varepsilon}_p}{kT}} = (8) \\
&= \ell^{\frac{n_p \cdot \bar{\varepsilon}_p}{kT}} = \ell^{\frac{\Delta \bar{E}_p}{kT}}; \\
&\quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\
\frac{W_j}{n_j^{n_{j_1}+n_{j_2}+\dots+n_{j_j}}} &= \left(\sum_j^{n_j} \ell^{-\frac{\varepsilon_j}{kT}} \right)^{n_{j_1}+n_{j_2}+\dots+n_{j_j}} = \frac{W_j}{n_j^{n_j}} = \left(\sum_j^{n_j} \ell^{-\frac{\varepsilon_j}{kT}} \right)^{n_j} = \ell^{\frac{(n_{j_1}+n_{j_2}+\dots+n_{j_j})\bar{\varepsilon}_j}{kT}} = \\
&= \ell^{\frac{n_j \cdot \bar{\varepsilon}_j}{kT}} = \ell^{\frac{\Delta \bar{E}_j}{kT}};
\end{aligned}$$

ИЛИ

$$\begin{aligned}
\frac{W_i}{n_i^{n_i}} &= \left(\sum_i^{n_i} \ell^{-\frac{\varepsilon_i}{kT}} \right)^{-n_i} = \ell^{\frac{\Delta \bar{E}_i}{kT}}; \quad \frac{W_k}{n_k^{n_k}} = \left(\sum_k^{n_k} \ell^{-\frac{\varepsilon_k}{kT}} \right)^{-n_k} = \ell^{\frac{\Delta \bar{E}_k}{kT}}; \\
\frac{W_p}{n_p^{n_p}} &= \left(\sum_p^{n_p} \ell^{-\frac{\varepsilon_p}{kT}} \right)^{-n_p} = \ell^{\frac{\Delta \bar{E}_p}{kT}}; \quad \dots; \quad \frac{W_j}{n_j^{n_j}} = \left(\sum_j^{n_j} \ell^{-\frac{\varepsilon_j}{kT}} \right)^{-n_j} = \ell^{\frac{\Delta \bar{E}_j}{kT}}. \quad (9)
\end{aligned}$$

С другой стороны группы i, k, p, \dots, j материальных точек также независимы друг относительно друга и тоже подчиняются теореме умножения теории вероятности, что приводит согласно (9) к соотношению

$$\frac{\Pi W_m}{n_i^{n_i} \cdot n_n^{n_k} \cdot n_p^{n_p} \cdot \dots \cdot n_j^{n_j}} = \left(\sum_i^{n_i} \ell^{\frac{\varepsilon_i}{kT}} \right)^{-n_i} \cdot \left(\sum_k^{n_k} \ell^{\frac{\varepsilon_k}{kT}} \right)^{-n_k} \cdot \left(\sum_p^{n_p} \ell^{\frac{\varepsilon_p}{kT}} \right)^{-n_p} \cdot \dots \cdot \left(\sum_j^{n_j} \ell^{\frac{\varepsilon_j}{kT}} \right)^{n_j} =$$

$$= \ell^{\frac{(\Delta E_i + \Delta E_k + \Delta E_p + \dots + \Delta E_j)}{kT}}, \quad (10)$$

где $m = i, k, p, \dots, j$.

Если в (7) принять

$$\bar{\varepsilon}_{i_i} = \bar{\varepsilon}_{k_k} = \bar{\varepsilon}_{p_p} = \dots = \bar{\varepsilon}_{j_j} = \bar{\varepsilon}, \quad (11)$$

то равенство (10) приведет к виду

$$\frac{\Pi W_m}{n_i^{n_i} \cdot n_n^{n_k} \cdot n_p^{n_p} \cdot \dots \cdot n_j^{n_j}} = \left(n_i \cdot \ell^{\frac{\bar{\varepsilon}_{i_i}}{kT}} \right)^{n_i} \cdot \left(n_k \cdot \ell^{\frac{\bar{\varepsilon}_{k_k}}{kT}} \right)^{n_k} \cdot \left(n_p \cdot \ell^{\frac{\bar{\varepsilon}_{p_p}}{kT}} \right)^{n_p} \times$$

$$\times \dots \times \left(n_j \cdot \ell^{\frac{\bar{\varepsilon}_{j_j}}{kT}} \right)^{n_j} = \ell^{\frac{\sum_1^v \Delta E_v}{kT}} = \left(n_i^{n_i} \cdot \ell^{\frac{n_i \cdot \bar{\varepsilon}_{i_i}}{kT}} \right) \cdot \left(n_k^{n_k} \cdot \ell^{\frac{n_k \cdot \bar{\varepsilon}_{k_k}}{kT}} \right) \cdot \left(n_p^{n_p} \cdot \ell^{\frac{n_p \cdot \bar{\varepsilon}_{p_p}}{kT}} \right) \times$$

$$\times \dots \times \left(n_j^{n_j} \cdot \ell^{\frac{n_j \cdot \bar{\varepsilon}_{j_j}}{kT}} \right) = \ell^{\frac{\sum_1^v \Delta E_v}{kT}} = n_i^{n_i} \cdot n_k^{n_k} \cdot n_p^{n_p} \cdot \dots \cdot n_j^{n_j} \cdot \ell^{\frac{\bar{\varepsilon} \cdot (n_i + n_k + n_p + \dots + n_j)}{kT}} =$$

$$= n_i^{n_i} \cdot n_k^{n_k} \cdot n_p^{n_p} \cdot \dots \cdot n_j^{n_j} \cdot \ell^{\frac{N \cdot \bar{\varepsilon}}{kT}} = \ell^{\frac{\sum_1^v \Delta E_v}{kT}}, \quad (12)$$

где ν – число слагаемых в числителе показателя степени правой части равенства (10).

Из уравнения (12) вытекает

$$\frac{\Pi W_m}{n_i^{n_i} \cdot n_n^{n_k} \cdot n_p^{n_p} \cdot \dots \cdot n_j^{n_j}} = n_i^{n_i} \cdot n_k^{n_k} \cdot n_p^{n_p} \cdot \dots \cdot n_j^{n_j} \cdot \ell^{\frac{N \cdot \bar{\varepsilon}}{kT}}$$

ИЛИ

$$\frac{\Pi W_m}{\left(n_i^{n_i} \cdot n_n^{n_k} \cdot n_p^{n_p} \cdot \dots \cdot n_j^{n_j} \right)^2} = \ell^{\frac{N \cdot \bar{\varepsilon}}{kT}},$$

откуда следует:

$$\left(\frac{(PW_m)^{1/2}}{n_i^{n_i} \cdot n_n^{n_k} \cdot n_p^{n_p} \cdot \dots \cdot n_j^{n_j}} \right) = \ell^{\frac{N \cdot \bar{\varepsilon}}{2kT}}. \quad (13)$$

С другой стороны имеем: $n_i^{n_i} \cdot n_n^{n_k} \cdot n_p^{n_p} \cdot \dots \cdot n_j^{n_j} \cdot \ell^{\frac{N \cdot \bar{\varepsilon}}{kT}} = \ell^{\frac{\sum_1^v \Delta E_v}{kT}}$

или

$$\left(\frac{1}{n_i^{n_i} \cdot n_n^{n_k} \cdot n_p^{n_p} \cdot \dots \cdot n_j^{n_j}} \right) = \ell^{\frac{\sum_1^v \Delta E_v - N \bar{\varepsilon}}{kT}}. \quad (14)$$

Преобразуем уравнение (14) к виду

$$\left(\frac{1}{n_i^{n_i} \cdot n_n^{n_k} \cdot n_p^{n_p} \cdot \dots \cdot n_j^{n_j}} \right) \cdot \ell^{-N} = \ell^{\frac{\sum_1^v \Delta E_v - N \bar{\varepsilon}}{kT} + N} = \ell^{\frac{N \cdot \left(\frac{\sum_1^v \Delta E_v - N \bar{\varepsilon} + RT}{RT} \right)}{RT}}. \quad (15)$$

Согласно формуле Стирлинга ($n! = n^n \cdot \ell^{-n}$) и равенства (1) уравнение (15) запишем в форме

$$\begin{aligned} \left(\frac{1}{n_i^{n_i} \cdot n_n^{n_k} \cdot n_p^{n_p} \cdot \dots \cdot n_j^{n_j}} \right) \cdot \ell^{-N} &= \left(\frac{1}{n_i^{n_i} \cdot n_n^{n_k} \cdot n_p^{n_p} \cdot \dots \cdot n_j^{n_j}} \right) \cdot \ell^{-(n_i + n_k + n_p + \dots + n_j)} = \\ &= \frac{1}{n_i! \cdot n_k! \cdot n_p! \cdot \dots \cdot n_j!} = \ell^{\frac{N \cdot \left(\frac{\sum_1^v \Delta E_v - N \bar{\varepsilon} + RT}{RT} \right)}{RT}}. \end{aligned} \quad (16)$$

Левая часть равенства (16) отражает термодинамическую вероятность по Гиббсу, где число микросостояний в группах (i, k, p, \dots, j) остаются неизменными.

$$W_\Gamma = \ell^{\frac{N \cdot \left(\frac{\sum_1^v \Delta E_v - N \bar{\varepsilon} + RT}{RT} \right)}{RT}}, \quad (17)$$

где $N \cdot \bar{\varepsilon} = E = \sum_1^v \Delta E_v$; $(v = i, k, p, \dots, j)$, причем

$$\sum_1^v \Delta E_v = \Delta E_1 + \Delta E_2 + \Delta E_3 + \dots + \Delta E_v = \Delta E_i + \Delta E_k + \Delta E_p + \dots + \Delta E_j = N \bar{\varepsilon}, \quad (18)$$

где $\Delta E_1 = \Delta E_i$; $\Delta E_2 = \Delta E_k$; \dots ; $\Delta E_v = \Delta E_j$

или $n_i \cdot \bar{\varepsilon}_i + n_k \cdot \bar{\varepsilon}_k + n_p \cdot \bar{\varepsilon}_p + \dots + n_j \cdot \bar{\varepsilon}_j = N \bar{\varepsilon}$, откуда следует:

$$\frac{n_i}{N} \cdot \bar{\varepsilon}_i + \frac{n_k}{N} \cdot \bar{\varepsilon}_k + \frac{n_p}{N} \cdot \bar{\varepsilon}_p + \dots + \frac{n_j}{N} \cdot \bar{\varepsilon}_j = \bar{\varepsilon}, \quad (19)$$

где $\frac{n_i}{N}, \frac{n_k}{N}, \frac{n_p}{N}, \dots, \frac{n_j}{N}$ – вероятности распределения по средним энергиям

$\bar{\varepsilon}_i, \bar{\varepsilon}_k, \bar{\varepsilon}_p, \dots, \bar{\varepsilon}_j$ частиц соответствующих групп системы;

$\bar{\varepsilon}$ – средняя статистическая энергия частиц системы материальных точек.

Проведем анализ термодинамической вероятности на базе уравнения (17) в котором введем замену

$$x = \frac{N\bar{\varepsilon} - \sum_1^v \Delta E_v + RT}{RT}; \quad W_\Gamma = \frac{1}{n_k^{n_k} \cdot n_p^{n_p} \cdot \dots \cdot n_j^{n_j} \cdot \ell^{-N}}, \quad (20)^*$$

где W_Γ – термодинамическая (математическая) вероятность по Гиббсу. Согласно замене в (20)*, равенство (17) приведет к виду

$$W_\Gamma = \ell^{N \cdot x} = (\ell^x)^N \approx (1+x)^N, \quad (20)$$

где функцию ℓ^x разложили в ряд $\ell^x \approx 1+x$, ограничившись двумя членами разложения. Откуда следует, что

$$x \approx \ell^x - 1. \quad (21)$$

Подставляя (21) в (20), находим

$$W_\Gamma \approx (\ell^{\ell^x - 1})^N = \ell^{-N} \cdot \ell^{N \ell^x}; \quad W_\Gamma \cdot \ell^N = \ell^{N \ell^x}; \quad (22)$$

Прологарифмировав равенство (21), и, умножив на постоянную Больцмана « k », найдем функцию энтропии

$$S_\Gamma = -k \ln W_\Gamma = -kN \ln(\ell^{\ell^x - 1}) = -kN(\ell^x - 1), \quad (23)$$

где S_Γ – энтропия, рассчитанная по термодинамической вероятности Гиббса.

Из равенства (23) вытекает

$$S_\Gamma - kN = -kN \cdot \ell^x. \quad (24)$$

Подставляя (21) в (24), имеем

$$S = -kN \cdot \ell^{\ell^x - 1}, \quad (25)$$

где $S = S_\Gamma - kN$

Преобразуем правую часть равенства (25), для чего при разложении функции ℓ^x в ряд ограничимся тремя членами разложения

$$\ell^x = (\ell^{2x})^{\frac{1}{2}} = \left(1 + x_1 + \frac{1}{2}x_1^2\right)^{\frac{1}{2}} = \pm \left(\frac{1}{2}(x_1 + 1)^2 + \frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (26)$$

где $x_1 = 2x$. Подставляя (26) в (25), получим

$$S \approx -kN \cdot \ell^{-1} \cdot \ell^{\pm \left[\frac{1}{2}(x_1+1)^2 + \frac{1}{2}\right]^{\frac{1}{2}}}. \quad (27)$$

Правая часть уравнения (27) отражает частный случай общего вида уравнения энтропии

$$S = -\alpha_S \cdot \ell^{\pm \left[\frac{1}{a}\left(\frac{b}{T} + \frac{1}{\ln T}\right)^2 + C\right]^{\frac{1}{2}}} = -\alpha_S \cdot \ell^{\pm \left[\frac{b^2/a}{T^2} + \frac{2b/a}{T \ln T} + \frac{1/a}{(\ln T)^2} + C\right]^{\frac{1}{2}}}, \quad (28)$$

где приняли $2 = a$; $b = \frac{2E}{R}$; $\ln e = \ln T$; $\frac{1}{2} = C$; $\left(1 = \frac{1}{\ln e}\right)$; $\alpha_S = kN \cdot \ell^{-1}$, причем числители слагаемых в квадратных скобках можно рассматривать как эквиваленты отношений сумм состояний. С учетом выше принятых замен в (28) общий вид уравнения энтропии можно представить

$$S = -\alpha_S \cdot \ell^{\pm \left[\frac{A_1}{T^2} + \frac{A_2}{T \ln T} + \frac{A_3}{(\ln T)^2} + C\right]^{\frac{1}{2}}}, \quad (29)$$

где A_1, A_2, A_3 – постоянные; $C = C(T)$; $\alpha_S = \alpha(T)$ – величины, которые часто рассматриваются как постоянные величины.

Основопологающей термодинамической функцией при изучении процессов теплопередачи является энтропия. Важнейшей задачей равновесной термодинамики является доказательство существования энтропии на основе постулатов, отражающих свойства равновесных термодинамических процессов, которых, как известно, в реальных условиях не существует, поэтому проблема доказательства существования энтропии привела к возникновению направления в термодинамике, которое отвергает необходимость доказательства энтропии с помощью каких либо постулатов. Доказательством существования энтропии предлагается рассматривать опыт, который подтверждает все выводы и уравнения, полученные на основе

использования аналитического выражения – принципа существования энтропии:

$$\delta Q = TdS . \quad (30)$$

Важным аргументом в пользу фундаментального характера исследуемого уравнения служат вытекающие из него следствия, подтвержденные экспериментом. В этой связи в работах [2, 3] рассматривался вопрос о принципиальной необходимости соответствия предложенного уравнения энтропии (29) фундаментальному соотношению

$$C_p^o = T \frac{\partial S^o}{\partial T} , \quad (31)$$

которое вытекает из феноменологической теории термодинамики, т. е. рассматривалось требование получения общего вида функции изобарной теплоемкости из (31) посредством дифференцирования функции (30) по температуре. Из результата дифференцирования (30) согласно (31) получили уравнение изобарной теплоемкости

$$C_p^o = \ell^{(A_5+c'(T))^{\frac{1}{2}}} \ell^{\pm \left(\frac{A_1}{T^2} + \frac{2A_2}{T \ln T} + \frac{A_3}{(\ln T)^2} + c'(T) \right)^{\frac{1}{2}}} \left\{ \frac{b'(T)}{2(A_5 + c'(T))^{\frac{1}{2}}} + \frac{\frac{A_1}{T^2} + \frac{A_2(1 + \ln T)}{T(\ln T)^2} + \frac{A_3}{(\ln T)^3} + b'(T)}{\left(\frac{A_1}{T^2} + \frac{2A_2}{T \ln T} + \frac{A_3}{(\ln T)^2} + c'(T) \right)^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (32)$$

где $c'(T)$ есть функция температуры

$$c'(T) = \left(\frac{a_1 + b_1 \cdot T}{c_1 + T} \right)^{\frac{1}{2}} ; a_1, b_1, c_1 - const , \quad (33)$$

производная, которой по температуре T выражается зависимостью

$$\frac{dc'}{dT} = b'(T) = \frac{b_1 c_1 - a_1}{2(c_1 + T)^3} (a_1 + b_1 T) , \quad (34)$$

где при $T \gg 1$ правая часть равенства (34) с изменением температуры практически остается величиной постоянной, поэтому ее можно представить:

$$\frac{dc'}{dT} = b'(T) \approx const, \quad (35)$$

следовательно, в уравнении (32) значение $b'(T)$, как правило, принимается величиной постоянной. Приведем уравнение (13) к виду

$$\frac{(PW_m)^{1/2}}{(n_i!n_k!n_p!\dots n_j!)} = \ell^{\frac{N(N\bar{\varepsilon} + 2RT)}{2RT}}. \quad (36)$$

Принимая в (36) величину $(PW_m)^{1/2} = N!$, имеем

$$\frac{N!}{(n_i!n_k!n_p!\dots n_j!)} = \ell^{\frac{N(N\bar{\varepsilon} + 2RT)}{2RT}}, \quad (37)$$

Левая часть уравнения (37) отражает термодинамическую вероятность по Больцману

$$W_B = \ell^{\frac{N(N\bar{\varepsilon} + 2RT)}{2RT}}. \quad (38)$$

В равенствах (36) – (38) при подсчете числа микросостояний системы предполагается нумерация всех тождественных частиц термодинамической системы. Если же учитывать принцип неразличимости тождественных частиц, то необходимо равенства (36) – (38) преобразовать. С этой целью левую и правую часть равенства (37) представим

$$\frac{1}{(n_i^{n_i} \cdot n_k^{n_k} \cdot n_p^{n_p} \dots n_j^{n_j})} = (n_{1i}^{-n_{1i}} \cdot n_{1k}^{-n_{1k}} \cdot n_{1p}^{-n_{1p}} \dots n_{1j}^{-n_{1j}}) \ell^{(n_{1i} + n_{1k} + n_{1p} + \dots + n_{1j})} = \ell^{\frac{-N(N\bar{\varepsilon} + 2RT)}{2RT} + N_1}, \quad (39)$$

где $n_i \neq n_{1i}; \dots; n_j \neq n_{1j}$; $N_1 = n_{1i} + n_{1k} + n_{1p} + \dots + n_{1j}$; $N_1 < N$, причем

$$(PW_m)^{1/2} = (n_{1i}^{n_{1i}} \cdot n_{1k}^{n_{1k}} \cdot n_{1p}^{n_{1p}} \dots n_{1j}^{n_{1j}}).$$

Принимая во внимание формулу Стирлинга ($n! = n^n \cdot \ell^{-n}$) из (39) вытекает

$$\frac{1}{n_{1i}!n_{1k}!n_{1p}!\dots n_{1j}!} = \ell^{\frac{-N(N\bar{\varepsilon} + 2RT)}{2RT} + N_1} = \ell^{\left(\frac{-N(N\bar{\varepsilon} + 2RT) + 2RT \cdot N_1}{2RT}\right)} = \ell^{\frac{-N\left(N\bar{\varepsilon} + 2RT\left(1 - \frac{N_1}{N}\right)\right)}{2RT}}. \quad (40)$$

Левая часть равенства (40) выражает термодинамическую вероятность по Гиббсу, где число микросостояний в группах (i, k, p, \dots, j) принимают иные значения:

$$W'_T = \frac{1}{n_{1i}! n_{1k}! n_{1p}! \dots n_{1j}!} = \ell^{\frac{-N \left(N \cdot \bar{\varepsilon} + 2RT \left(1 - \frac{N_1}{N} \right) \right)}{2RT}}. \quad (41)$$

Прологарифмировав уравнение (41) и, умножив результат логарифмирования на постоянную величину Больцмана « $-k$ », получим

$$S_T = -k \cdot W'_T = \frac{\left(N \cdot \bar{\varepsilon} - 2kTN \cdot \left(1 - \frac{N_1}{N} \right) \right)}{2T} = \frac{\left(\frac{N \cdot \bar{\varepsilon}}{2} - kTN \cdot \left(1 - \frac{N_1}{N} \right) \right)}{T}. \quad (42)$$

Приведем уравнение (42) к виду

$$E - ST = -kTN \cdot \left(1 - \frac{N_1}{N} \right), \quad (43)$$

где $E = \frac{N \cdot \bar{\varepsilon}}{2}$ – внутренняя энергия термодинамической системы.

Из квантовой теории известно

$$E - ST = -kT \ln \sum \ell^{\frac{\varepsilon_i}{kT}}, \quad (44)$$

где S связанная энтропия термодинамической системы.

Левые части равенств (43) и (44) выражают функцию F свободной энергии термодинамической системы, т. е.

$$F = E - ST. \quad (45)$$

Преобразуем правую часть равенства (43) к виду удобному для сопоставления с правой частью равенства (44). С этой целью правую часть равенства (43) приведем к виду

$$-kTN \cdot \left(1 - \frac{N_1}{N} \right) = -kT \ln \ell^{N \cdot \ell^x}. \quad (46)$$

Сопоставляя правую часть равенства (44) с правой частью равенства (46), находим

$$\ln \sum \ell^{\frac{\varepsilon_i}{kT}} = \ln \ell^{N \cdot \ell^x} = N \cdot \ell^x, \quad (47)$$

где $\ell^x \approx 1 + x = 1 - \frac{N_1}{N}$ при $|x| = \left| -\frac{N_1}{N} \right| < 1$.

Согласно равенству (47), можно записать:

$$\sum \ell^{\frac{\varepsilon_i}{kT}} = \ell^{N \cdot \ell^x} . \quad (48)$$

Полагая, что энергия i -ой частицы $\varepsilon_i = \varepsilon_{cp} = const$ равенство (48) приведем к виду

$$\sum \ell^{\frac{\varepsilon_i}{kT}} = \left(\ell^{\frac{\varepsilon_{cp}}{kT}} \right)_1 + \left(\ell^{\frac{\varepsilon_{cp}}{kT}} \right)_2 + \dots + \left(\ell^{\frac{\varepsilon_{cp}}{kT}} \right)_N = N \cdot \ell^{\frac{\varepsilon_{cp}}{kT}} , \quad (49)$$

где приняли

$$\left(\ell^{\frac{\varepsilon_{cp}}{kT}} \right)_1 = \left(\ell^{\frac{\varepsilon_{cp}}{kT}} \right)_2 = \dots = \left(\ell^{\frac{\varepsilon_{cp}}{kT}} \right)_N ,$$

причем $\varepsilon_{cp.1} = \varepsilon_{cp.2} = \dots = \varepsilon_{cp.N}$. На основании равенств (48) и (49) можно записать

$$N \cdot \ell^{\frac{\varepsilon_{cp}}{kT}} = \ell^{N \cdot \ell^x} . \quad (50)$$

Прологарифмировав равенство (50), получим

$$\ln N - \frac{\varepsilon_{cp}}{kT} = N \cdot \ell^x \approx N \cdot \left(1 - \frac{N_1}{N} \right) , \quad (51)$$

где приняли $\ell^x \approx 1 + x$, причем $|x| = \left| -\frac{N_1}{N} \right| \leq 1$.

Решая уравнение (51) относительно N_1 , находим

$$N_1 = N - \left(\ln N - \frac{\varepsilon_{cp}}{kT} \right) . \quad (52)$$

Принимая в термодинамической системе, что все ее частицы связаны с образованием общего числа неразличимых микросостояний при неизменной энергии системы, необходимо принять в равенстве (52) $\left(\ln N - \frac{\varepsilon_{cp}}{kT} \right) = 0$, что эквивалентно принятию в равенстве (51) $\frac{N_1}{N} = 1$. Откуда вытекает, что среднее значение энергии частиц ε_{cp} связано соотношением

$$\varepsilon_{cp} = kT \cdot \ln N . \quad (53)$$

В основе расчета коэффициентов уравнения (29) использовалось равенство:

$$[\ln(S_T^0 - S_{T'=0}^0)]^2 = \frac{b^2}{T^2} + \frac{2\sigma \cdot b}{T \ln T} + \frac{\sigma^2}{(\ln T)^2} + 2 \ln(S_T^0 - S_{T'=0}^0) \cdot \gamma + c' - [\ln(-\alpha_S)]^2 . \quad (54)$$

На базе уравнения (54) для твердой фазы алюминия $Al_{кр}$ нашли

$$A_1 = b^2 = 38449; A_2 = b\sigma = 169,37; A_3 = \sigma^2 = 143,59; A_4 = \gamma = 4,89; \\ A_5 = c = c' - [\ln(-\alpha_S)]^2 = -26,532 . \quad (55)$$

Из последнего равенства (55) вытекает

$$-\alpha_S = e^{(26,532+c')^{\frac{1}{2}}} . \quad (56)$$

В развернутом виде уравнение (29), согласно (56), примет вид

$$S_T^0 = e^{(c+c')^{\frac{1}{2}}} \cdot e^{-\left(\frac{A_1}{T^2} + \frac{A_2}{T \ln T} + \frac{A_3}{(\ln T)^2} + c'\right)^{\frac{1}{2}}} + S_{T'}^0 . \quad (57)$$

По уравнению (57) нашли конкретные виды функций для расчета энтропии простых веществ. Для твердой фазы алюминия в интервале температур $100 \leq TK \leq 400$ уравнение (57) преобразуем к виду

$$S_{Al_{кр}}^0 = \frac{132,357}{e^{\left(\frac{38449}{T^2} + \frac{338,745}{T \ln T} + \frac{143,59}{(\ln T)^2} - 2,664\right)^{\frac{1}{2}}}} \left(\frac{\text{Дж}}{\text{мольК}} \right), \quad (58)$$

где $c' = -2,664; c = 26,532$.

При температуре $T = 500$ К расчетное значение энтропии по уравнению (58) превышает экспериментальные с относительной погрешностью \approx в 1 %, начинает сказываться слабая зависимость параметра c' от температуры. Результаты расчета в интервале $100 \leq TK \leq 500$ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета энтропии твердой фазы алюминия по уравнению (58) в сопоставлении с данными литературных источников [6]

TK	c'	$S_{Al,кр}^0$		Относительная ошибка %
		Дж/моль К		
		расчет	[6]	
100	-2,664	6,946	6,945	0
200	-2,664	19,178	19,179	0
300	-2,664	28,34	28,34	0
400	-2,664	35,692	35,703	0
500	-2,664	42,015	41,547	1,3

На всем исследуемом участке интервала температур $100 \leq TK \leq 933$ справедлива зависимость

$$S_T^0 = \frac{e^{(23,77+2,656 \cdot 10^{-4} \cdot T)^{\frac{1}{2}}}}{e^{\left(\frac{38449}{T^2} + \frac{338,745}{T \ln T} + \frac{143,588}{(\ln T)^2} - 2,763 + 2,656 \cdot 10^{-4} \cdot T\right)^{\frac{1}{2}}}}, \quad (59)$$

где

$$c' = -2,763 + 2,656 \cdot 10^{-4} \cdot T. \quad (60)$$

Результаты расчета по уравнению (59) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета энтропии твердой фазы алюминия по уравнению (59) в сопоставлении с данными литературных источников [6]

TK	c'	$S_{Al,kp}^o$	$S_{Al,kp}^o$	Относительная ошибка в %
		Дж/моль К		
		расчет	[6]	
100	-2,736	6,98	6,945	0,5
200	-2,71	19,317	19,179	0,7
300	-2,683	28,47	28,34	0,45
400	-2,657	35,62	35,692	0,2
500	-2,63	41,547	41,547	0
600	-2,604	46,65	46,531	0,26
700	-2,5771	51,146	50,948	0,39
800	-2,5505	55,16	54,984	0,34
933	-2,5152	59,908	59,992	0,14

По аналогии с установленным видом функции для кристаллической фазы алюминия, рассмотренные выше, установили виды функций для расчета энтропии в различных интервалах температур ряда простых веществ, записанных ниже.

Бериллий кристаллический:

$$S_{Be,kp}^0 = \frac{7,2182}{e^{\pm \left(\frac{48919,585}{T^2} + \frac{10112,54}{T \ln T} - \frac{841,0722}{(\ln T)^2} + 19,5147\right)^{\frac{1}{2}}}}; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}\right); 10 \leq TK \leq 200; \quad (61)$$

$$S_{Be,kp}^0 = \frac{2,34656}{e^{\pm \left(\frac{131634,2}{T^2} + \frac{276,468}{T \ln T} - \frac{730,237}{(\ln T)^2} + 22,808\right)^{\frac{1}{2}}}}; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}\right) \quad 200 \leq TK \leq 400; \quad (62)$$

$$S_{Be, kp}^0 = \frac{8,7649 \cdot e^{(-4,16422 \cdot 10^{-3} \cdot T + 6,93 \cdot 10^{-6} \cdot T^2)}}{e^{\pm \left(\frac{-993,01}{T^2} + \frac{8407,2546}{T \ln T} - \frac{714,5725}{(\ln T)^2} + 17,576 \right)^{\frac{1}{2}}}} \left(\frac{Дж}{\text{моль} \cdot K} \right); \quad 200 \leq TK \leq 400; \quad (63)$$

$$S_{Be, kp}^0 = \frac{5,1576}{e^{\pm \left(\frac{-993,01}{T^2} + \frac{8407,2546}{T \ln T} - \frac{714,5725}{(\ln T)^2} + 17,576 \right)^{\frac{1}{2}}}} \left(\frac{Дж}{\text{моль} \cdot K} \right); \quad 500 \leq TK \leq 1000. \quad (64)$$

Магний кристаллический:

$$S_{Mg, kp}^0 = \frac{22,55}{e^{\pm \left(\frac{-5151,531}{T^2} + \frac{3412,834}{T \ln T} - \frac{265,1916}{(\ln T)^2} + 6,3556 \right)^{\frac{1}{2}}}} \left(\frac{Дж}{\text{моль} \cdot K} \right); \quad 10 \leq TK \leq 350; \quad (65)$$

$$S_{Mg, kp}^0 = \frac{31445,145}{e^{\pm \left(\frac{109,439}{T^2} - \frac{3809,6642}{T \ln T} + \frac{1078,5378}{(\ln T)^2} + 15,9342 \right)^{\frac{1}{2}}}} \left(\frac{Дж}{\text{моль} \cdot K} \right); \quad 350 \leq TK \leq 923. \quad (66)$$

Германий кристаллический:

$$S_{Ge, kp}^0 = \frac{606,188}{e^{\pm \left(\frac{57603,207}{T^2} - \frac{177,853}{T \ln T} + \frac{315,591}{(\ln T)^2} - 1,41326 \right)^{\frac{1}{2}}}} \left(\frac{Дж}{\text{моль} \cdot K} \right); \quad 200 \leq TK \leq 1200. \quad (67)$$

Кремний кристаллический:

$$S_{Si, kp}^0 = \frac{68,71}{e^{\pm \left(\frac{2,2024}{T^2} + \frac{4982,1892}{T \ln T} - \frac{68,617}{(\ln T)^2} + 0,8529 \right)^{\frac{1}{2}}}} \left(\frac{Дж}{\text{моль} \cdot K} \right); \quad 100 \leq TK \leq 1600. \quad (68)$$

Кальций кристаллический:

$$S_{Ca, kp}^0 = \frac{0,787462}{e^{\pm \left(\frac{-7980,2}{T^2} + \frac{2311,084}{T \ln T} - \frac{589,279}{(\ln T)^2} + 82,618 \right)^{\frac{1}{2}}}} \left(\frac{Дж}{\text{моль} \cdot K} \right); \quad 100 \leq TK \leq 500; \quad (69)$$

$$S_{Ca, kp}^0 = \frac{26,25}{e^{\pm \left(\frac{1172,2119}{T^2} + \frac{3147,356}{T \ln T} - \frac{255,1557}{(\ln T)^2} + 6,1185 \right)^{\frac{1}{2}}}} \left(\frac{Дж}{\text{моль} \cdot K} \right); \quad 500 \leq TK \leq 1000. \quad (70)$$

Диоксид кремния кристаллический:

$$S_{SiO_2, kp}^0 = \frac{22355,529}{e^{\pm \left(\frac{-1328378}{T^2} + \frac{60912,078}{T \ln T} - \frac{238,646}{(\ln T)^2} + 25,39 \right)^{\frac{1}{2}}}} \left(\frac{Дж}{\text{моль} \cdot K} \right); \quad 400 \leq TK \leq 1000; \quad (71)$$

$$S_{SiO_2, kp}^0 = \frac{150,8849}{e^{\pm \left(\frac{-195076,18}{T^2} + \frac{10257,04}{T \ln T} - \frac{168,2076}{(\ln T)^2} + 2,2974 \right)^{\frac{1}{2}}}} \left(\frac{Дж}{\text{моль} \cdot K} \right); \quad 900 \leq TK \leq 2000. \quad (72)$$

Дигидроксид бериллия кристаллического:

$$S_{Be(OH)_2, kp}^0 = \frac{66,122}{e^{\pm \left(\frac{-59341}{T^2} + \frac{2 \cdot 5981}{T \ln T} - \frac{549,9474}{(\ln T)^2} + 10,706 \right)^{\frac{1}{2}}}} ; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right) ; 10 \leq TK \leq 300 ; \quad (73)$$

$$S_{Be(OH)_2, kp}^0 = \frac{e^{(17,5591+9 \cdot 10^{-6} \cdot T)^{\frac{1}{2}}}}{e^{\pm \left(\frac{-59341}{T^2} + \frac{11962}{T \ln T} - \frac{549,9474}{(\ln T)^2} + 10,6961+9 \cdot 10^{-6} \cdot T \right)^{\frac{1}{2}}}} \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right) ; 300 \leq TK \leq 500 . \quad (74)$$

Дигидроксид бериллия газообразного:

$$S_{Be(OH)_2, z}^0 = \frac{30,197}{e^{\pm \left(\frac{-15327,95}{T^2} + \frac{2 \cdot 1476,388}{T \ln T} - \frac{273,187}{(\ln T)^2} + 11,2977 \right)^{\frac{1}{2}}}} ; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right) ; 50 \leq TK \leq 1000 ; \quad (75)$$

$$S_{Be(OH)_2, z}^0 = \frac{e^{(0,32+c'(T))^{\frac{1}{2}}}}{e^{\pm \left(\frac{-15327,95}{T^2} + \frac{2 \cdot 1476,388}{T \ln T} - \frac{273,187}{(\ln T)^2} + c'(T) \right)^{\frac{1}{2}}}} ; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right) ; 100 \leq TK \leq 6000 , \quad (76)$$

где $c' = \sqrt{\frac{1061928,4 + 147,0177 \cdot T}{8433,396 + T}}$.

Результаты расчета по уравнениям (73), (74) приведены в табл. 3, 4.

Таблица 3

Результаты расчета дигидроксида бериллия по уравнению (73) в сопоставлении с данными литературных источников [6]

TK	c'	$S_{Be(OH)_2, kp}^0$	$S_{Be(OH)_2, kp}^0$	Относительная ошибка %
		Дж/моль К		
		расчет	[6]	
10	10,706	$6,66 \cdot 10^{-6}$	-	-
30	10,706	1,41	-	-
50	10,706	2,723	-	-
80	10,706	4,766	-	-
100	10,706	7,367	7,364	0
200	10,706	25,33	25,301	0
300	10,706	45,909	45,866	0

Таблица 4

**Результаты расчета дигидроксида бериллия по уравнению (74)
в сопоставлении с данными литературных источников [6]**

ТК	c'	$S_{Be(OH)_2,kp}^0$	$S_{Be(OH)_2,kp}^0$	Относительная ошибка %
		Дж/мольК		
		расчет	[6]	
300	10,699	46,332	45,866	1,0
350	10,69925	56,79	-	-
400	10,6997	67,048	67,029	0,028
425	10,699925	72,059	-	-
450	10,70015	77,001	-	-
475	10,700375	81,865	-	-
500	10,7006	86,647	86,699	0,06

Результаты расчета энтропии газообразной фазы дигидроксида бериллия по уравнениям (75), (76) приведены в табл. 5, 6.

Таблица 5

**Результаты расчета дигидроксида бериллия по уравнению (75)
в сопоставлении с данными литературных источников [6]**

ТК	$c'(T)$	$S_{Be(OH)_2,g}^0$	$S_{Be(OH)_2,g}^0$	Относительная ошибка %
		Дж/мольК		
		расчет	[6]	
100	11,2927	185,68	185,699	0
200	11,2927	221,357	221,400	0,02
300	11,2927	249,135	249,363	0,09
400	11,2927	271,32	271,611	0,107
500	11,2927	289,500	289,963	0,159
600	11,2927	304,769	305,56	0,259
700	11,2927	317,85	319,124	0,397
800	11,2927	329,266	331,141	0,566
900	11,2927	339,344	341,945	0,761
1000	11,2927	348,35	351,777	1,0

Таблица 6

**Результаты расчета дигидроксида бериллия по уравнению (76)
в сопоставлении с данными литературных источников [6]**

TK	$c'(T)$	$S_{Be(OH)_{2,\Gamma}}^0$	$S_{Be(OH)_{2,\Gamma}}^0$	Относительная ошибка %
		Дж/мольК		
		расчет	[6]	
100	11,2324	181,0	185,699	2,53
500	11,2739	287,503	289,963	0,848
800	11,3025	330,416	331,141	0,219
1000	11,3206	351,774	351,777	0
2000	11,400	421,182	420,546	0,15
3000	11,4654	463,803	463,606	0,042
4000	11,52	494,9428	494,943	0
5000	11,566	519,45	519,529	0,0152
6000	11,605	534,27	539,738	1,0

На основании функции (31) с учетом конкретного вида уравнения энтропии для кристаллической фазы алюминия (58) нашли уравнение теплоемкости $C_p = e^{(26,532+c')\frac{1}{2}} \cdot e^{-\left(\frac{38449}{T^2} + \frac{338,745}{T \ln T} + \frac{143,59}{(\ln T)^2} + c'\right)\frac{1}{2}} x$

$$C_p = e^{(26,532+c')\frac{1}{2}} \cdot e^{-\left(\frac{38449}{T^2} + \frac{338,745}{T \ln T} + \frac{143,59}{(\ln T)^2} + c'\right)\frac{1}{2}} x \left\{ \frac{b' \cdot T}{2(26,532 + c')\frac{1}{2}} + \frac{\frac{38449}{T^2} + \frac{169,37 \cdot (1 + \ln T)}{T(\ln T)^2} + \frac{143,59}{(\ln T)^3} + b'T}{\left(\frac{38449}{T^2} + \frac{338,745}{T \ln T} + \frac{143,59}{(\ln T)^2} + c'\right)\frac{1}{2}} \right\} \quad (77)$$

$$b' = 2,656 \cdot 10^{-4}; c' = \left(\frac{a + b \cdot T}{c + T}\right)^{\frac{1}{2}} \quad a, b, c - const.$$

Результаты расчета по уравнению (77) приведены в табл. 7, 8.

Расчеты по уравнению (77) находятся в хорошем согласии с данными литературных источников [2-3]. Результаты расчета изобарной теплоемкости твердой фазы алюминия в интервале $200 \leq TK \leq 933$ приведены в табл. 7.

Таблица 7

**Результаты расчета изобарной теплоемкости твердой фазы алюминия
в интервале $200 \leq TK \leq 933$ в сопоставлении с данными
литературных источников [2-3]**

$c' = \sqrt{\frac{1083,113 + 2,6905 \cdot T}{2,442 + T}}$				
TK	c'	$C_{p,Al,kr}$	$C_{p,Al,kr}$	Относительная ошибка %
		Дж/моль К		
		расчет	[2-3]	
200	-2,83	22,732	21,59	5
250	-2,637	23,622	23,15	2
300	-2,5	24,206	24,384	0,7
400	-2,316	25,226	25,665	1,7
500	-2,2	26,472	26,759	1
600	-2,116	27,907	27,973	0,25
700	-2,055	29,628	29,415	0,7
800	-2,008	31,698	31,576	0,4
900	-1,9706	33,686	33,138	1,6
933	-1,956	34,473	33,881	1,6

Результаты расчета твердой фазы алюминия при низких температурах в интервалах $100 \leq TK \leq 200$ и $55 \leq TK \leq 100$ приведены в табл. 8.

Таблица 8

**Результаты расчета твердой фазы алюминия при низких
температурах в интервалах $100 \leq TK \leq 200$ и $55 \leq TK \leq 100$
в сопоставлении с данными литературных источников [2-3]**

$c' = -\sqrt{\frac{-161,684 + 4,047 \cdot T}{-54,1 + T}}$					$c' = -\sqrt{\frac{-242,684 + 9,28 \cdot T}{29,525 + T}}$				
$55 \leq TK \leq 100$					$100 \leq TK \leq 200$				
TK	c'	$C_{p,Al,kr}$	$C_{p,Al,kr}$	Отн. ошиб- ка %	TK	c'	$C_{p,Al,kr}$	$C_{p,Al,kr}$	Отн. ошиб- ка %
		Дж/моль К					Дж/моль К		
		расчет	[2-3]				расчет	[2-3]	
55	-8,83	6,206	-	-	100	-2,3	13,04	13,05	0
60	-3,7	6,457	-	-	130	-2,258	16,5	-	-
80	-2,5	10,23	10,14	0	150	-2,53	18,21	18,21	0
90	-2,375	11,78	-	-	180	-2,61	20,32	-	-
100	-2,13	13,07	13,05	0,15	200	-2,65	21,57	21,59	0

Выводы:

1. Выведены уравнения энтропии и изобарной теплоемкости веществ как функции температуры.
2. Проведен анализ сходимости расчетных значений энтропии и теплоемкости простых и сложных веществ в сопоставлении с данными литературных источников.
3. Показана применимость выведенных уравнений в широком интервале температур, как в низкой области изменения температур, так и при высоких температурах.

Список литературы:

1. Семенченко В. К. Избранные главы теоретической физики. Изд. «Просвещение» М. 1966. 396 с.
2. Федоров С. В. Новые принципы расчета функций образования термодинамических свойств веществ. Материалы XV Международной научно-методической конференции. Т. I. СПб.: изд. СПб ГПУ, 2008. С. 303-329.
3. Федоров С. В. Характерные особенности расчета изобарной теплоемкости и энтропии простых веществ. Материалы XII Международной научно-методической конференции. Т. I. СПб.: изд. СПбГПУ, 2005. С. 294-299.
4. Федоров С. В. Уравнение изобарной теплоемкости веществ в параметрической форме. Материалы IV Международной научно-практической конференции «Динамика Исследования — 2008». Том 29. София «Бял ГРАД-БГ» ООД 2008 г. С. 78 - 91.
5. Федоров С. В. Квантовая природа функций образования термодинамических свойств веществ и новые принципы их расчета. Материалы IV Международной научно практической конференции 1-15 сентября 2008 г. «Передовые научные разработки», т. 6. Прага. 2008 г.
6. Глушко В. П., Гуревич Л. В., Бергман Г. А. и др. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. М. — Наука, 1978. т. I., 496 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ СТУДЕНТОВ

Федотов А. И., Чернова Н. В.

Казанский государственный энергетический университет

Профессиональная ориентация студентов в период их обучения играет важную роль для осознанного выбора сферы деятельности после окончания вуза. Хорошо известно, что значительная часть выпускников устраивается не по специальности. Причин такому положению дел можно назвать достаточно много, но основными представляются следующие.

Во-первых, это можно отнести на осознание неверного выбора профессии; во-вторых, вуз не сумел привить желание работать именно в данной сфере деятельности; в-третьих, работодатель ведет кадровую политику «впотымах», не представляя возможностей молодого выпускника и ориентируясь на кратковременное собеседование и тесты, которые далеко не всегда способны раскрыть его потенциальный уровень как специалиста.

В этой связи как определенный прорыв в решении проблем закрепления студентов в профессиональной сфере деятельности можно оценить инициативу Российского национального комитета СИГРЭ в лице ее Молодежной секции, предложивших и уже реализующих целый ряд мероприятий, направленных как на привлечение студентов к специализации в области электроэнергетики, так и на выявление перспективных будущих выпускников в качестве кадрового резерва.

Первый опыт проведения таких мероприятий в КГЭУ показал их своевременность и необходимость более широкого распространения. В настоящее время в деятельность СИГРЭ организационно вовлечены восемь вузов, обучающихся по значительному количеству специальностей электроэнергетического направления. Учитывая, что работа началась только с сентября 2012 года, можно считать, что идет накопление опыта. В то же время, уже сейчас очевидна необходимость расширения сферы охвата учащейся молодежи из других вузов, где также выпускаются бакалавры и магистры соответствующего профиля, но набор специальностей ограничен. Представляется, что уже существующие базовые вузы могут вовлекать в свои мероприятия, проводимые под эгидой СИГРЭ, студентов из других вузов своего региона.

ЛОГИЧЕСКАЯ НЕКОГЕРЕНТНОСТЬ В ИЗЛОЖЕНИИ ОСНОВ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

Шапошников А. В.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

По мнению некоторых известных ученых в ряде современных физических концепций нарушается критерий рациональности (логической когерентности) [1]. Нарушение когерентности в самой физической теории с необходимостью приводит к логической некогерентности и при изложении того или иного учебного курса, базирующегося на такой теории, независимо от качества преподавания.

В основе современной электродинамики лежит специальная теория относительности с тремя постулатами. Первый из них — это конвенция (по терминологии А. Пуанкаре) о необходимости введения процедуры синхронизации часов. Данное утверждение в учебниках обычно не упоминается как постулат, однако, в самом начале своей статьи 1905-го года А. Эйнштейн говорит о том, что наблюдатель с собственными часами не сможет адекватно оценить одновременность разноместных событий, поэтому и необходимо использовать процедуру синхронизации часов. Но физические объекты не могут самопроизвольно выполнить процедуру синхронизации и получают искаженную информацию о скорости, расположении удаленных объектов и об искажениях видимой формы тел из-за ограниченности скорости распространения электромагнитных волн. В результате поведение быстро движущихся заряженных тел отличается от предсказаний классической физики, но и использование процедуры синхронизации часов не имеет никакого рационального обоснования (как и, например, эпициклы Птолемея) поскольку ее аналога в природе не обнаружено.

Второй постулат — это принцип относительности, то есть невозможности экспериментального обнаружения абсолютного инерциального движения системы тел. Этот принцип подменяется в специальной теории относительности условием инвариантности формы уравнений физики

относительно преобразований координат и времени. Но это чисто математическое условие, не имеющее физического содержания, потому что уравнений непосредственно в природе мы не наблюдаем, а эксперименту можно сопоставить лишь только некоторые решения уравнений, имеющие физический смысл.

Третий постулат — постоянство скорости света во всех инерциальных системах отсчета — основан на неадекватной интерпретации опыта Майкельсона-Морли. Действительно, при анализе процессов в интерферометре использовалось понятие «луч», характерное для геометрической оптики, где как раз волновыми свойствами света пренебрегают по определению. При анализе волновых процессов в данном опыте необходимо учитывать эффект искажения информации о реальном положении удаленного источника сигналов.

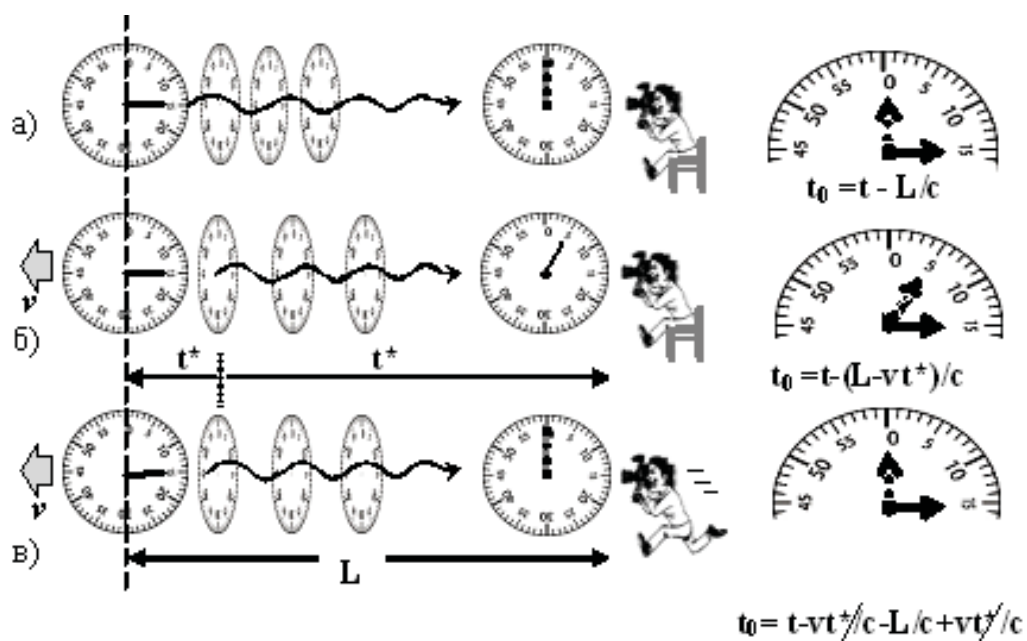


Рис. 1. Запаздывание информации при быстром движении источника сигналов и наблюдателя (датчика) относительно среды передачи

Если часы находятся на расстоянии L от наблюдателя и неподвижны относительно среды передачи сигналов, как и сам наблюдатель, то запаздывание информации о положении стрелки удаленных часов, которые предварительно были синхронизированы с часами наблюдателя, составит

$\Delta t = L/c$, где c — скорость распространения электромагнитных волн (см. рис. 1, *a*). Пусть теперь источник движется со скоростью v относительно среды передачи и удаляется от наблюдателя. В тот момент, когда расстояние между источником и наблюдателем будет равно L , наблюдатель увидит, что разница показаний часов составит не L/c , как в первом случае, а t^* , где t^* — это время, за которое часы сместятся на расстояние L из предыдущего положения $L-vt^*$, а сигнал (соответствующая поверхность равной фазы) за это же время дойдет до наблюдателя (см. рис. 1, *b*).

В итоге, в случае, когда наблюдатель и источник движутся совместно относительно среды передачи сигналов (см. рис. 1, *в*), как это происходит и в интерферометре Майкельсона, наблюдатель не может отличить возникла ли наблюдаемая в текущий момент поверхность равной фазы раньше, но приближалась с большей относительной скоростью или возникла позже, но и ее относительная скорость движения была меньше. В любом случае, если расстояние между источником сигнала и наблюдателем не меняется, то набег фазы составит $\varphi = \omega(t - L/c)$. В «боковом» плече интерферометра по сравнению с «продольным» совместно изменяются и относительная скорость, и величина смещения положения наблюдателя за время движения каждой поверхности равной фазы, так что эффект полной компенсации сохраняется.

Таким образом, даже для случая движения луча в одну сторону в каждом плече интерферометра наблюдатель не сможет обнаружить абсолютное движение интерферометра, так как классическое сложение скоростей компенсируется изменением относительного положения наблюдателя и источника сигнала за время движения этого сигнала [2].

Можно показать, что данный эффект компенсации возникает как для поперечных так и для продольных волн различной природы и поэтому легко может быть проверен в реальном эксперименте.

Следовательно, в классической физике не было никаких оснований предполагать какое-либо сокращение длины плеч интерферометра, потому что отсутствие сдвига интерференционной картинки определяется чисто оптическими взаимно компенсирующими друг друга эффектами.

Список литературы:

1. Ильин Н. П. Физика и логика. Проблема логической когерентности в курсе общей физики // Материалы Всероссийской научно-методической конференции «Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах», т. 1 — СПб., 2012. — С. 52.

2. Денисов А. А. Мифы теории относительности. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. — 96 с. URL:<http://graviton.neva.ru>

ПРОБЛЕМА СОВМЕСТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ И НЕПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ГЕОПОЛЕЙ

Яковлева А. А., Голубев И. А.

*Национальный минерально-сырьевой
университет «Горный»*

В геологии и геофизике указанная проблема решается, во-первых, методами многомерной статистики, во-вторых, кросс-спектральным анализом, в-третьих, на уровне формирования качественных априорных представлений, как начального приближения в количественной интерпретации потенциальных полей. Методы многомерной статистики отличаются линейным характером оценок, таких как коэффициент парной или множественной корреляции. Многофакторный дисперсионный анализ, метод главных компонент, модификации факторного анализа, распознавание образов с обучением используют для оценок матрицы, элементами которых служат дисперсии, ковариации, коэффициенты линейной корреляции, линейные расстояния Махаланобиса. Достоверность линейных оценок высока в условиях стационарности (пространственной или временной) многомерной выборки или, иными словами, когда выборка удовлетворяет только одному типу вероятностного распределения. Кросс-спектральный анализ является аналогом корреляционного анализа, но не в предметной, а в спектральной плоскости. Вместо расчета линейного коэффициента парной

корреляции в скользящем окне здесь вычисляется функция когерентности, области повышенных значений которой образуют систему апертур, формирующих узкополосной фильтр. Априорная геологическая информация играет роль начального приближения в задаче подбора структуры и параметризации геологического разреза по геофизическим полям. Геометрия поверхностей напластования закругляется: принимается кусочно-гладкой, с детерминированным положением разрывных участков (не меняются в процессе подбора); исходно в пределах каждой геологической формации распределение физических свойств таково, что формации представляются однородными.

Общность в системе разнородных признаков может быть обнаружена только в рамках гипотез, которые можно разбить на две группы: корреляционные и физические. Первые предполагают, как отмечалось, линейные критериальные оценки. Физические гипотезы отталкиваются от факта проявления одних и тех же структурных форм в площадных схемах и параметрических разрезах, восстанавливаемых как по потенциальным, так и по непотенциальным полям. В геологии данный эффект качественно описан на уровне термобарического сепаратора, определяющего металлогеническую зональность; явления изостатической компенсации, проявленного как в гравитационном поле, так и в рельефе дневной поверхности, поверхностей напластования, космо- и аэроснимках; специфических элементов, свойственные геоблокам определенного тектоногенеза (наличие реликтов океанической коры в фундаменте нефтегазоносных осадочных бассейнов, обладающих осевой зональностью по типам залежей углеводородов и т. д.). Приведенные примеры отображают частные случаи структурирования неравновесной в плотностном отношении геологической среды, которая в геологическом масштабе времени ведет себя как неравновесная вязкая жидкость и, следовательно, допускает прямые гидродинамические аналогии [1]. Последние отталкиваются от опыта Бенара, впервые системно описавшего явление полигонального дробления поверхности и объема неравновесной среды, впоследствии наблюдавшееся в средах разного генезиса и реологии, в том числе, и в среде геологической. Полигональное,

пространственно регулярное структурирование геологической среды и коррелируемое с ней пространственно регулярное структурирование геополей закономерно и ложится в основу авторского подхода к качественной и количественной интерпретации, применимых независимо от степени потенциальности этих полей [2]. Алгоритмическая сущность подхода состоит в применении линеаментного дешифрирования в авторской модификации автоматизированного прослеживания соосных аномальных и градиентных зон. Разделяя исследуемое геополе (магнитное, гравитационное, поле абсолютных высот рельефа, поле оптической плотности аэрофотоизображения и т. д.) на разночастотные составляющие, возможно формировать структурно-линеаментные карты на разных уровнях детальности (генерализации). Опыт показывает, что восстановленный структурный каркас на детерминированном уровне генерализации обладает выраженной полигональной структурой, средний линейный размер элемента которого позволяет отнести этот структурный образ к определенной глубине. Прослеживая корреляцию разноглубинных структурных образов, можно реконструировать структурные элементы, отражающие геоблоковое строение полигона работ, а также рудоконтролирующие структурные особенности. Последние допускают как интер-, так и экстраполяционные прогнозные реконструкции.

Литература:

1. Петров О. В. Диссипативные структуры Земли как отражение фундаментальных волновых законов природы / Изд-во ВСЕГЕИ, 2007. — 327 с.
2. Яковлева А. А. и др. Дешифрирование потенциальных и непотенциальных полей Великобритании при реконструкции сети геологической трещиноватости // Региональная геология и металлогения, Изд-во ВСЕГЕИ, т. 34. — 2008. — с. 31-46.

УКАЗАТЕЛЬ УЧАСТНИКОВ КОНФЕРЕНЦИИ

СЕКЦИЯ 5

Компетенции и технологии профессиональных дисциплин.....	4
ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ В ОБУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНАМ ГЕОМЕТРО-ГРАФИЧЕСКОГО ЦИКЛА	
АФАНАСЬЕВА И. Б., БЕЖАНОВА А. И., ДИМЕНТ Л. И., МЕРКУЛОВА О. В.....	4
АКТИВИЗАЦИЯ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА ВУЗА	
АХМЕДЬЯНОВА Г. Ф., ПИЩУХИН А. М., ТУГОВ В. В.....	5
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ФУНКЦИЙ УПРАВЛЯЮЩИХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ	
АХМЕТВАЛЕЕВА Л. В.	8
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ САПР В ОБУЧЕНИИ — ОСНОВА РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ	
БАЛТРУКОВ Н. Н., СКВОРЦОВ А. Н., НИКИТИН А. А.	10
МЕХАНОХИМИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
БАЛЬМАКОВ М. Д., БЛИНОВ Л. Н.....	13
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АГРЕГАЦИИ НАНОЧАСТИЦ	
БЕЗРУКОВА А. Г.	17
ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС	
БЕРДНИКОВ А. Я., ГОЛОВИН А. В., ГОЛИКОВ И. Г., КОТОВ Д. О.....	18
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ ECLIPSE В ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ	
БЕРДНИКОВ Я. А., САФОНОВ А. С., СУЕТИН Д. П.....	19
ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УДАЛЕННОЙ АУДИТОРИИ	
БОБРОВА Л. В., КУРУНОВА Е. В.	20

ВНЕДРЕНИЕ БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ: ПЛЮСЫ И МИНУСЫ	
Боброва Л. В., Машкара Л. В.	21
НЕОБХОДИМОСТЬ В СБОРНЫХ КОНТЕЙНЕРАХ НА ЮЖНО-УРАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ	
Гаганова Е. А.	22
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ЛЕКЦИЙ	
Голиков И. Г., Головин А. В.	25
ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ШИРИНЫ ЛЕНТОЧКИ СРЕЗАННОГО ПАЛЬЦА НА ВЕЛИЧИНУ ПРОДОЛЬНОГО ЗАЗОРА	
Гринев Д. В.	26
ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ИННОВАТИКА» В ОРИЕНТАЦИИ НА ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ	
Дубнищева Т. Я.	29
РЕАЛИЗАЦИЯ УЧАСТИЯ СТУДЕНТОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (МОНИТОРИНГ ПАССАЖИРОПОТОКА В ПРИГОРОДНЫХ ПОЕЗДАХ)	
Жабреев В. С., Губская С. А.	31
ИНТЕРАКТИВНЫЙ МЕТОД ОБУЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ГРУППАМИ (ИМО ДГ)	
Жевлаков Б. П., Отцовский А. Г.	32
СОВРЕМЕННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ	
Жуковский Ю. Л.	37
АЛГОРИТМ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ОПУХОЛЕЙ МЯГКИХ ТКАНЕЙ ПРИ СЕРОШКАЛЬНОЙ ЭХОГРАФИИ	
Зайцев А. Н., Грызунов В. В.	39
ПРИМЕНЕНИЕ ВИДЕОФРАГМЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ	
Кимстач А. В.	41
ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИЙ. ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР	
Косалимова О. А.	42
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДИАГНОСТИКИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И НАПОЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ СЦБ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ И НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ	
Костров А. А., Семенов А. Е.	43

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	
Котелева Н. И.	44
НЕПРЕРЫВНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ	
Кравченко И. В.	46
ПРОГРАММА ФАКУЛЬТАТИВНОГО КУРСА «SELF-МЕНЕДЖМЕНТ В НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ АСПИРАНТА»	
Латушкина В. М.	48
ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ НАПРАВЛЕНИЯ «ИННОВАТИКА»	
Макарова Д. С.	53
ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В АППАРАТНОМ ЦИКЛЕ ДИСЦИПЛИН ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА»	
Мамутова О. В., Филиппов А. С.	54
ОПЫТ ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ	
Маховиков А. Б.	56
ИНТЕРАКТИВНЫЙ ПОДХОД К МЕТОДИКЕ ИЗУЧЕНИЯ ЗАМЕНЫ БЕСКОНТАКТНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ	
Михеев А. Г.	58
ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ ОЦЕНКИ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ УСТРОЙСТВ	
Мовчан И. Б., Брагинец О. Н.	60
О ВОЗМОЖНОСТЯХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В СРЕДЕ ADOBE И MOODLE СТУДЕНТОВ И СЛУШАТЕЛЕЙ ФАКУЛЬТЕТА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ	
Морокина Г. С., Платонова Э. В.	63
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ ВЫСОКОНАДЕЖНЫХ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ К ВНУТРИСХЕМНОМУ ТЕСТИРОВАНИЮ	
Ненашев О.	64
МЕТОДОЛОГИЯ ОБУЧЕНИЯ СОТРУДНИКОВ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ПРИБОРНЫМ МЕТОДАМ КОНТРОЛЯ ПОДЛИННОСТИ ДОКУМЕНТОВ	
Павлов И. В.	68
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКА	
Палаев А. Г.	69

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ СО СТУДЕНТАМИ СТАНОЧНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ	
Пелевин Н. А., Прокопенко В. А.	71
К ВОПРОСУ О ПРЕПОДАВАНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ» ДЛЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ	
Петухова Н. М.	72
РАЗВИТИЕ ОЛИМПИАДНОГО ДВИЖЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ»	
Попов А. И., Кузнецова Т. С., Васильев А. А.	73
ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБУЧЕНИИ ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ	
Рачева Н. В.	75
МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ СКОРОСПЕЛОСТИ ОБРАЗЦОВ ГРЕЧИХИ.	
Романова О. И., Кошкин В. А.	77
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШТАМПОВ	
Самаркин А. И., Дмитриев С. И., Евгеньева Е. А., Гольшев С. Н.	80
К ВОПРОСУ О ПРОГРАММНОЙ КОРРЕКЦИИ ДЕФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРОДА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОПЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ПРОВОЛОЧНОЙ РЕЗКИ	
Самаркин А. И., Негина О. В.	83
ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ФУНКЦИОНАЛУ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО СТРУКТУРОЙ ПОДЧИНЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ	
Серов А. Е.	86
ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕНАЖЕРОВ В ОБУЧЕНИИ МАТЕМАТИКЕ	
Сибирев В. Н.	88
О НАУЧНЫХ ИТОГАХ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ПО ПОСТАНОВЛЕНИЮ № 218 ПРАВИТЕЛЬСТВА РФ МЕЖДУ ОАО «ПРОТОН - ПЕРМСКИЕ МОТОРЫ» И ПЕРМСКИМ НАЦИОНАЛЬНЫМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИМ УНИВЕРСИТЕТОМ	
Ташкинов А. А., Петроченков А. Б., Арбузов И. А., Щенятский Д. В., Бибишев А. П.	91
ФУНКЦИЯ ЭНТРОПИИ, ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВ И ПРИНЦИП ИХ РАСЧЕТА	
Федоров С. В.	96
ПОЛИВАРИАНТНАЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА И ЕЕ ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ	
Федоров С. В.	111

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ $U(T); S(T); H(T); C_p(T); C_v(T); C_p - C_v$, РАЗЛОЖЕННЫХ В СООТВЕТСТВУЮЩИЕ РЯДЫ, ИХ АНАЛИЗ, ОБОСНОВАНИЕ УРАВНЕНИЯ МАЙЕРА И МЕХАНИЧЕСКОГО ЭКВИВАЛЕНТА ТЕПЛОТЫ	
Федоров С. В.	130
УРАВНЕНИЯ ЭНТРОПИИ И ИЗОБАРНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВЕЩЕСТВ КАК ФУНКЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ	
Федоров С. В.	143
ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ СТУДЕНТОВ	
Федотов А. И., Чернова Н. В.	163
ЛОГИЧЕСКАЯ НЕКОГЕРЕНТНОСТЬ В ИЗЛОЖЕНИИ ОСНОВ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ	
Шапошников А. В.	164
ПРОБЛЕМА СОВМЕСТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ И НЕПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ГЕОПОЛЕЙ	
Яковлева А. А., Голубев И. А.	167

ВЫСОКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ
В НАЦИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
УНИВЕРСИТЕТАХ

*Материалы Международной
научно-методической конференции*

28 февраля – 1 марта 2013 года

Том 3

Интеллектуальные технологии формирования
профессиональных компетенций

Ответственный за выпуск П.И. Романов

Лицензия ЛР № 020593 от 07.08.97

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т. 2; 95 3004 – научная и производственная литература

Подписано в печать	Формат 60x84/16		
Усл. печ. л.	Уч.-изд. Л	Тираж	Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного НМЦ УМО СПбГПУ,
в Цифровом типографском центре Издательства Политехнического университета.

195251, Санкт-Петербург, Политехническая, 29.

Тел.: (812) 294-21-65

Тел./факс: (812) 294-21-65