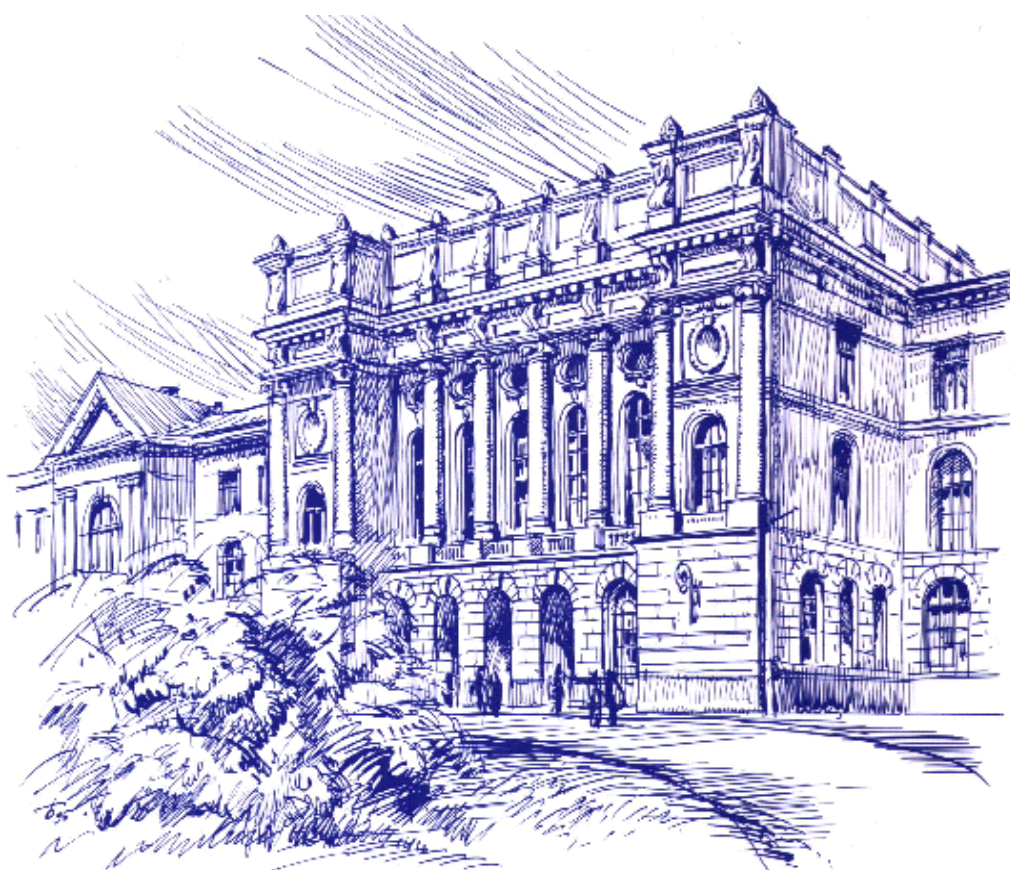


**ВЫСОКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ
В НАЦИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
УНИВЕРСИТЕТАХ**

Том 3



Санкт-Петербург
Издательство Политехнического университета
2014

Министерство образования и науки Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Координационный совет Учебно-методических объединений и Научно-методических советов высшей школы

Учебно-методическое объединение вузов России по университетскому политехническому образованию

Ассоциация технических университетов

Ассоциация технических университетов России и Китая

Международная академия наук высшей школы

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

*Материалы Международной
научно-методической конференции*

5 - 7 июня 2014 года

Том 3

**Научные исследования
в специальных дисциплинах**

Санкт-Петербург
Издательство Политехнического университета
2014

УДК 378.1

В 93

Высокие интеллектуальные технологии и инновации в национальных исследовательских университетах. Материалы Международной научно-методической конференции. 5 - 7 июня 2014 года, Санкт-Петербург. Том 3. Научные исследования в специальных дисциплинах. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. - 226 с.

Приоритетным направлением конференции является методическое обеспечение реализации Федерального закона от 29 декабря 2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» и федеральных государственных образовательных стандартов в системе высшего образования России.

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

Рассмотрены проблемы участия работодателей в развитии инженерного образования и результаты инновационных исследований.

Материалы издаются в авторской редакции.

Ответственность за содержание тезисов возлагается на авторов.

Ответственный за выпуск П. И. Романов

ISBN 978-5-7422-4456-1 (т.3)

ISBN 978-5-7422-4453-0

© Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет, 2014

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

- А. И. Рудской – сопредседатель Совета УМО, ректор ФГБОУ ВПО (председатель) «СПбГПУ», член-корреспондент РАН
А. И. Боровков – заместитель председателя Совета УМО, проректор по (зам. председателя) перспективным проектам ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»
П. И. Романов – директор Научно-методического центра «УМО вузов (ученый секретарь) России» ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»

ЧЛЕНЫ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА

- А. В. Белоцерковский – ректор Тверского государственного университета (по согласованию)
М. Ю. Куприков – проректор по учебной работе Московского авиационного института (национального исследовательского университета) (по согласованию)
С. В. Коршунов – заместитель председателя Совета УМО, проректор Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана (по согласованию)
В. Н. Кошелев – первый проректор - проректор по учебной работе Российского государственного университета нефти и газа им. И. М. Губкина (по согласованию)
В. Л. Петров – проректор ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (по согласованию)
А. А. Шехонин – проректор по научно-методической работе Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (по согласованию)
Н. Ю. Егорова – заместитель директора Научно-методического центра «УМО вузов России» ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»
М. Ф. Баймухамедов – проректор по науке и международным связям Костанайского социально-технического университета им. З. Алдамжар, Казахстан (по согласованию)
А. В. Макаров – заведующий кафедрой «Проектирование образовательных стандартов» Республиканского НИИ высшего образования, Беларусь (по согласованию)
Harmaakorpi Vesa – декан инженерно-экономического факультета Лаппеенрантского технологического университета, Финляндия (по согласованию)
Veikko Torvinen – директор по развитию Центра образования взрослых г. Хельсинки, Финляндия (по согласованию)
Xu Xiaofei – проректор Харбинского политехнического университета, КНР (по согласованию)
Zhu Lijing – проректор Гонконгского университета науки и технологий, Гонконг, КНР (по согласованию)

СЕКЦИЯ 3

Научные исследования в специальных дисциплинах

Термодинамический критерий реакции растворения металлов в воде с образованием осадков их гидроксидов

Авраменко А. Г., Курушкин М. В., Корнеев В. Р.

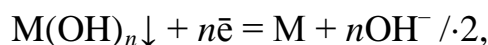
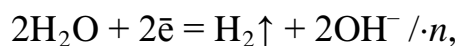
*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Во многих учебниках по общей химии [1-4] утверждается, что необходимым термодинамическим условием растворения металла М в воде является неравенство между электродными потенциалами:

$$E_{M^{n+}/M}^{\circ} < E_{2H_2O/H_2\uparrow, 2OH^-} (-0,414V; pH = 7). \quad (1)$$

Однако, очевидно, что данное утверждение справедливо лишь для металлов, переходящих в раствор в виде катионов M^{n+} . В то же время большая часть металлов средней активности ($E_{M^{n+}/M}^{\circ} > -0,8V$) образует осадки гидроксидов $M(OH)_n\downarrow$, появление которых с точки зрения термодинамики должно увеличивать восстановительную активность металлов и способствовать их окислению водой.

Рассмотрим такие реакции подробнее:

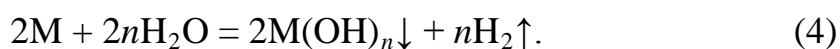


тогда, вычитая из полуреакции (2) полуреакцию (3),

$$2nH_2O + 2n\bar{e} = nH_2\uparrow + 2nOH^-, E_{Ox} = E_{2H_2O/H_2\uparrow, 2OH^-} (pH = 7) = -0,414V; \quad (2)$$

$$2M(OH)_n\downarrow + 2n\bar{e} = 2M + 2nOH^-, E_{Red} = E_{M(OH)_n\downarrow/M, nOH^-} (pH = 7) \quad (3)$$

получим реакцию окисления металла М водой:



С учетом уравнения Нернста:

$$E_{\text{Red}} = E_{\text{M(OH)}_n \downarrow / \text{M}, n\text{OH}^-} (\text{pH} = 7) = E_{\text{M(OH)}_n \downarrow / \text{M}, n\text{OH}^-}^{\circ} + \frac{0,05913}{n} \lg \frac{1}{C_{\text{OH}^-}^n} (C_{\text{OH}^-} = 10^{-7} \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}}) =$$

$$= E_{\text{M(OH)}_n \downarrow / \text{M}, n\text{OH}^-}^{\circ} + 0,414\text{В}.$$

Тогда термодинамический критерий протекания реакции (4) выразится следующим образом: $E_{\text{Red}} < E_{\text{Ox}}$ или

$$E_{\text{M(OH)}_n \downarrow / \text{M}, n\text{OH}^-}^{\circ} + 0,414\text{В} < -0,414\text{В}, \quad E_{\text{M(OH)}_n \downarrow / \text{M}, n\text{OH}^-}^{\circ} < -0,828\text{В},$$

т. е.

$$E_{\text{M(OH)}_n \downarrow / \text{M}, n\text{OH}^-}^{\circ} < E_{2\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2 \uparrow, 2\text{OH}^-}^{\circ} (-0,828\text{В}). \quad (5)$$

Полученный критерий несколько парадоксален (термодинамическое условие протекания реакции (4) в чистой воде и в стандартном растворе щелочи одинаково), но легко объясним. При отклонении от стандартных условий нернстовская логарифмическая добавка к стандартным значениям электродных потенциалов для окислителя и восстановителя в данной реакции одинакова:

$$E_{\text{Ox}} = E_{2\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2 \uparrow, 2\text{OH}^-} (\text{pH} = 7) = E_{2\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2 \uparrow, 2\text{OH}^-}^{\circ} + \frac{0,05913}{2} \lg \frac{1}{C_{\text{OH}^-}^2},$$

т. е.

$$\frac{0,05913}{n} \lg \frac{1}{C_{\text{OH}^-}^n} (\text{для } E_{\text{Red}}) = \frac{0,05913}{2} \lg \frac{1}{C_{\text{OH}^-}^2} (\text{для } E_{\text{Ox}}) = -0,05913 \lg C_{\text{OH}^-}$$

(естественно, значение C_{OH^-} для обеих полуреакций также одинаково и составляет $-0,414\text{В}$).

Значения $E_{\text{M(OH)}_n \downarrow / \text{M}, n\text{OH}^-}^{\circ}$, взятые из справочника [5], для ряда металлов, расположенных в порядке возрастания $E_{\text{M}^{n+}/\text{M}}^{\circ}$, представлены в табл. 1.

Для Cr^{3+} значение $E_{\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}}^{\circ}$ было нами рассчитано по правилу Лютера, а $E_{\text{Cr(OH)}_3 \downarrow / \text{Cr}, 3\text{OH}^-}^{\circ}$ по формуле

$$E_{\text{M(OH)}_n \downarrow / \text{M}, n\text{OH}^-}^{\circ} = E_{\text{M}^{n+}/\text{M}}^{\circ} + \frac{0,05913}{n} \lg \text{ПР}_{\text{M(OH)}_n \downarrow} \quad (6)$$

(где $\lg \text{PP}_{\text{Cr(OH)}_3\downarrow} = -30,13$ [5]), из которой, кстати, видно, что образование осадка увеличивает восстановительную активность металла, а также то, что для металлов с $E_{\text{M}^{n+}/\text{M}}^{\circ} < -0,828\text{В}$ критерий (5) выполняется безусловно и не зависит от величины $\text{PP}_{\text{M(OH)}_n\downarrow}$ (поэтому список металлов в табл. 1 начинается с цинка ($E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^{\circ} = -0,763 > -0,828\text{В}$)).

Таблица 1

Стандартные электродные потенциалы $E_{\text{M}^{n+}/\text{M}}^{\circ}$ и $E_{\text{M(OH)}_n\downarrow/\text{M}, \text{nOH}^-}^{\circ}$

| M^{n+} | $E_{\text{M}^{n+}/\text{M}}^{\circ}, \text{В}$ | $E_{\text{M(OH)}_n\downarrow/\text{M}, \text{nOH}^-}^{\circ}, \text{В}$ |
|------------------|--|---|
| Zn^{2+} | - 0,763 | - 1,222 |
| Cr^{3+} | - 0,704 | - 1,298 |
| Ga^{3+} | - 0,560 | - 1,258 |
| Fe^{2+} | - 0,441 | - 0,875 |
| Cd^{2+} | - 0,404 | - 0,825 |
| In^{3+} | - 0,338 | - 1,066 |
| Co^{2+} | - 0,277 | - 0,739 |
| Ni^{2+} | - 0,234 | - 0,749 |
| Sn^{2+} | - 0,141 | - 0,917 |
| Pb^{2+} | - 0,126 | - 0,714 |
| Bi^{3+} | + 0,317 | - 0,383 |
| Cu^{2+} | + 0,338 | - 0,226 |

Из данных таблицы видно, что в воде должны растворяться Zn, Cr(III), Ga, Fe(II), Cd (плохо), In и Sn, при этом последние три металла — вопреки критикуемому критерию (1). К сожалению, кинетика растворения, связанная как с возможным образованием пленки гидроксида металла, так и с перенапряжением выделения водорода на поверхности металла, «торпедует» наши термодинамические предсказания: Zn, Cr, Fe и Cd реагирует лишь с перегретым паром (при этом образуются оксиды), Ga — только с горячей водой, а In и Sn с чистой водой не реагируют совсем.

Список литературы

1. Байдаков Л. А., Блинов Л. Н., Курников Б. Д., Чувиляев Р. Г. Курс лекций по общей и экологической химии: Учебное пособие / Под ред. Л. А. Байдакова. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1993.

2. Коровин Н. В. Общая химия: Учебник для техн. направл. и спец. вузов. М.: Высшая школа, 1998.

3. Семенов И. Н., Перфилова И. Л. Химия: Учебник для вузов. СПб.: Химиздат, 2000.

4. Глинка Н. Л. Общая химия: Учебное пособие для вузов / Под. ред. А. И. Ермакова. 30-е изд., испр. М.: Интеграл-Пресс, 2002.

5. Лидин Р. А., Андреева Л. Л., Молочко В. А. Константы неорганических веществ: Справочник / Под ред. Р. А. Лидина. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Дрофа, 2006.

6. Авраменко А. Г. Расчет электродных потенциалов металлов в условиях образования комплексных соединений и осадков // Фундаментальные исследования в технических университетах: Материалы XII Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы. 14 мая 2008 года. Санкт-Петербург. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. С. 247-248.

Уникальность характеристик различных систем наночастиц в многомерном пространстве оптических параметров

Безрукова А. Г., Власова О. Л.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Трехмерные дисперсные системы (3D ДС) — системы нано- и /или микрочастиц в водной среде — часто называют дисперсиями, коллоидами, суспензиями или взвесьями. Одной из важных задач фундаментальных исследований природных и биомедицинских 3D ДС является on-line контроль их состояния. Оптические данные в комплексе с данными других методов могут дать ценную информацию о процессах внутри 3D ДС (агрегации, седиментации, флокуляции, коалесценции, фрактальной агрегации и т. д.) и для создания средств контроля технологических процессов и мониторинга окружающей среды.

В нашей работе [1-12] для характеристики 3D ДС используются совместимые неразрушающие оптические методы: рефрактометрия, спектроскопия поглощения и флуоресценции, светорассеяние (динамическое и статическое, интегральное и дифференциальное, неполяризованное и

поляризованное, однократное и многократное). С помощью этих методов исследовались следующие водные *3D* ДС, содержащие нано- и / или микро- частицы (со средним диаметром от нескольких нанометров до десяти микрометров): белки (сывороточные альбумины, яичный альбумин, лизоцим, химотрипсин, химотрипсиноген, гемоглобин и др.), сыворотка и плазма крови, нуклеопротеиды, липопротеиды, липосомы, вирусы (вирус гриппа разных штаммов и др.), жировые эмульсии, перфторуглеродные кровезаменители, антибиотики, полиароматические углеводороды, циклодекстрины, латексы разного размера, жидкие кристаллы, бактериальные и другие биологические клетки разных штаммов, форм, размеров (кишечная палочка, ацидофильная палочка, тромбоциты, тимоциты, лимфоциты, эритроцитарные диагностикумы, клетки асцитной карциномы Эрлиха и др.), металлические порошки (гидроксиды железа, диоксид рутения, коллоидное серебро и др.) каолин, кимберлиты, фуллерены, цеолиты, масла и т. д., а также различные смеси: белков и нуклеиновых кислот, белков и полимеров, липосом с различными веществами (рентгеноконтрастными агентами, металлическими частицами, ферментами, вирусами, антибиотиками и т. д.), жидких кристаллов с поверхностно-активными веществами, смеси клеток кишечной палочки с каолином (модель воды Маркизовой Лужи), смеси антрацена с циклодекстрином, образцы нефти и нефтепродуктов, образцы продуктов питания (молока, чая, и т. п.), образцы природной и водопроводной воды, снега (воздушные осадки в воде) и т. д. Большинство исследованных нами *3D* ДС содержит наночастицы (это могут быть и «осколки» клеток), но, как правило, такие смешанные системы не стабильны и при изменении условий склонны к образованию агрегатов (ассоциатов, агломератов) даже микронного размера. В связи с этим особое значение имеет on-line контроль стабильности *3D* ДС, например, при использовании разных партий кровезаменителей в чрезвычайных ситуациях или для получения информации о концентрации патогенных вирусов и бактерий в воде. В результате наших исследований *3D* ДС сформировалось представление о новом научном явлении, заключающемся в уникальности характеристики любой *3D* ДС в многомерном пространстве оптических параметров так называемого «второго класса» (полученных в результате обработки экспериментальных данных без привлечения каких-либо

представлений о частицах дисперсной фазы). Иными словами, характеристику любой 3D ДС можно представить в виде уникального N -мерного вектора (набора параметров второго класса) в N -мерном пространстве оптических параметров. N -мерный вектор системы может отражать в неявном виде все ее особенности: структуру и форму частиц, показатель преломления вещества частиц, функции распределения числа и массы частиц по размерам и т. д. Наиболее информативные для конкретной системы параметры можно использовать для создания датчиков on-line контроля. Также следует отметить, что явление уникальности N -мерного вектора оптических параметров может распространяться и на воздушные 3D ДС, а информационно-статистические методы решения обратных задач могут применяться практически в любой области науки.

Список литературы

1. Alexandra G. Bezrukova «Optical investigations of disperse systems» *Progress in Colloid and Polymer Science*, 93 (1993), pp. 186-187.

2. Безрукова А. Г. Характеристика биомедицинских и природных дисперсных систем в многомерном пространстве оптических параметров. Научно-технические ведомости СПбГТУ, Изд-во СПбГТУ, N 2-3 (12-13), СС. 157-160 (1998).

3. Безрукова А. Г. Перспективы многопараметрического оптического анализа природных дисперсных систем (Концепция on-line контроля воды и воздуха). Вестник СПбО РАЕН, 1998, N 2(2), 157-161.

4. Alexandra G. Bezrukova. «Development of multiparametric optical analysis for on-line environmental control», *Proceedings of SPIE*, 3107 (1997), pp. 298-304.

5. Olga L. Vlasova, Alexandra G. Bezrukova. «Laser control of natural disperse systems», *Proceedings of SPIE*, 5127 (2003), pp. 154-158.

6. Alexandra Bezrukova. *Proceedings of SPIE*, «Nondestructive testing of 3D disperse systems with micro- and nano- particles: N -dimensional space of optical parameters» *Proceedings of SPIE*, 6253 (2006), pp. 62530C-1 — С. 4.

7. Безрукова А. Г. «Статистические подходы к решению обратной оптической задачи для биомедицинских и природных систем микро- и

нано- частиц». Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2007, СПб: Изд-во СПбГПУ, N 2 (50), С. 114-117.

8. Alexandra G. Bezrukova. «Nanoparticle interactions: improvement of experimental optical data analysis», *Proceedings of SPIE*, 7377 (2009), pp. 73770В-1 -73770В-6.

9. Власова О. Л. «Многопараметрический подход к оптическому анализу модельных дисперсий бычьего сывороточного альбумина», Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2009, N 2(77), С. 39-45.

10. Alexandra G. Bezrukova, Olga L. Vlasova. «Aggregation of protein nanoparticles testing by optical spectroscopy», *Materials Physics and Mechanics*, 9, (2010), pp 167-174.

11. Власова О. Л. «Оптические свойства радахлорина как фотосенсибилизатора в диагностике и медицине». Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 11. 2011. Вып. 1. С. 170-177.

12. Alexandra G. Bezrukova, Olga L. Vlasova. «Optical Characterization of 3D Disperse Systems with Nano- and Micro- Particles: Polymodality of Size Distributions». *Materials Physics and Mechanics*, V. 13 (2012) N 2, 162-174.

Монте-Карло моделирование жестких взаимодействий адронов и лептонов высоких энергий с атомными ядрами

Бердников Я. А., Головин А. В., Иванов А. Е., Суетин Д. П.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Исследование механизма взаимодействия лептонов с ядрами является одной из важнейших областей физики высоких энергий. Изучая вторичные частицы, рождающиеся в лептон-ядерных столкновениях, можно получить информацию об особенностях протекания таких взаимодействий. Извлечь такого рода информацию не просто, так как на характеристики вторичных частиц оказывает влияние множество факторов, имеющих место на промежуточных стадиях протекания ядерной реакции. Крайне сложно, например, извлечь информацию о роли и типе процессов (например, процессов фрагментации кварков в адроны, пространственно-временной эволюции партонов в адроны и т. д.), понимание особенностей

которых позволит дать ответ на вопросы, связанные как с механизмом взаимодействия, так и с возможным образованием новых состояний вещества, таких как кварк-глюонная плазма. Успехи экспериментальных исследований породили большое количество теоретических работ, которые основаны на различных подходах (феноменологические модели, Монте-Карло (МК) моделирование, решеточные методы, теория возмущений квантовой хромодинамики (КХД) и др.) и демонстрируют большой интерес физиков к процессам взаимодействия частиц с ядрами.

Заработанная модель Монте-Карло для адрон-ядерных столкновений, в которую включены эффекты, связанные с многократными мягкими перерассеяниями до жесткого и после жесткого процесса, а также дополнительные энергетические потери за счет образования нескольких цветковых струн вследствие многократных взаимодействий в ядерной среде, позволяет проводить моделирование лептон-ядерных и адрон-ядерных столкновений при высоких энергиях.

Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными приведено на рис. 1 - рис. 3. Видно хорошее согласие созданной модели экспериментом.

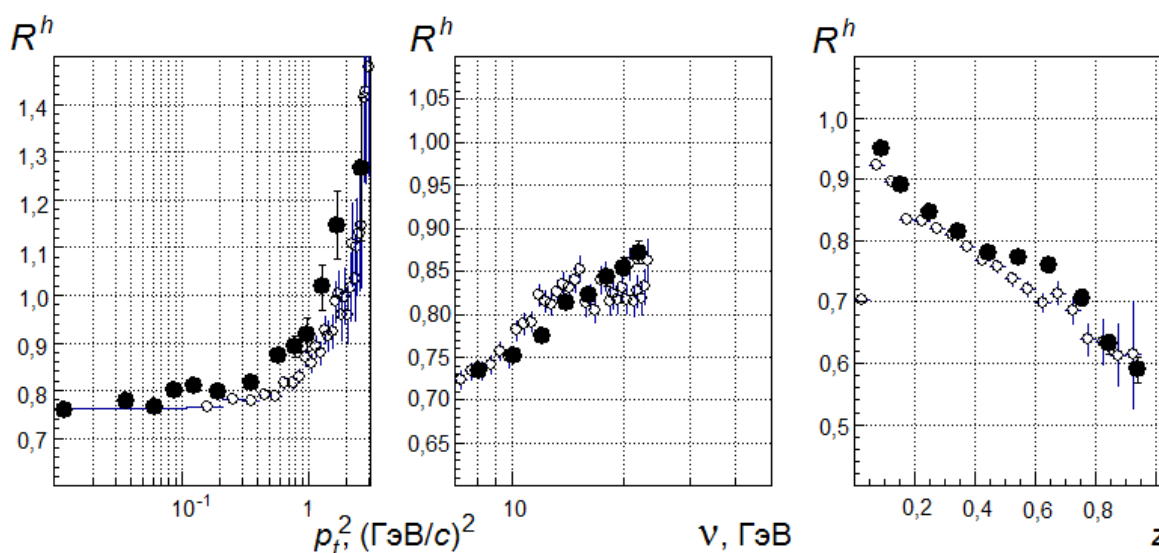


Рис. 1. Отношение множественностей заряженных адронов для криптонной и дейтонной мишеней, как функция квадрата поперечного импульса, энергии виртуального фотона ν и доли энергии виртуального фотона переданной адрону. Приведены данные эксперимента HERMES (черные маркеры) и результаты МК моделирования (светлые маркеры)

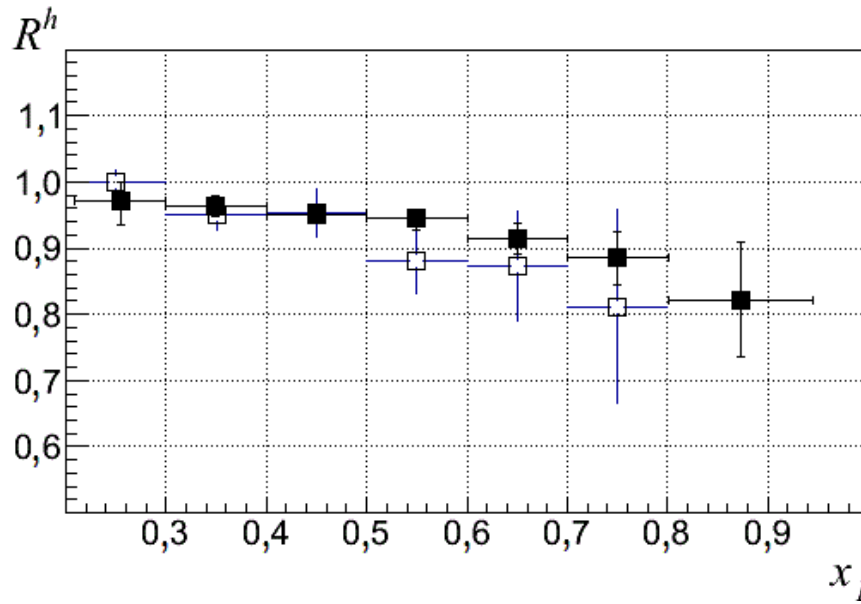


Рис. 2. Отношения дифференциальных сечений рождения лептонных пар в pW - и pBe -столкновениях при энергии 800 ГэВ как функция доли x_1 4-е импульса налетающего протона, которую несет партон измеренные коллаборацией E866 [2] (темные маркеры) и результаты МК моделирования (светлые маркеры).

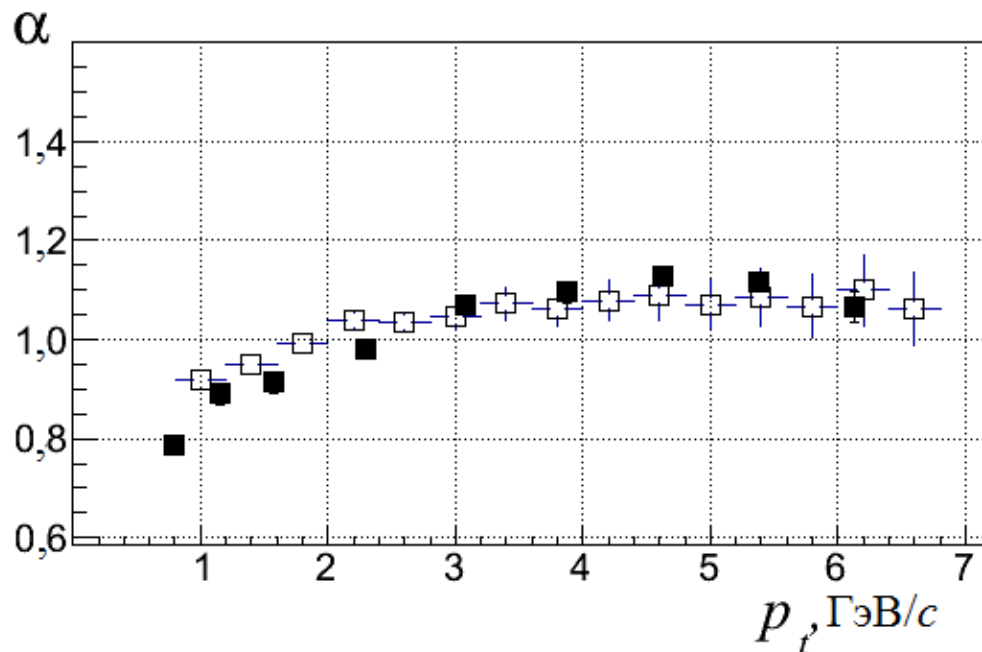


Рис. 3. Показатель A – зависимости для рождения π^+ - мезонов в pW - и pBe -столкновениях при энергии 400 ГэВ в зависимости от поперечного импульса p_t π^+ - мезонов, экспериментальные данные [3] (темные маркеры), полученные в результате МК моделирования (светлые маркеры)

Список литературы

1. Airapetian A. Quark fragmentation to $\pi^{+/-}$, π^0 , $K^{+/-}$, p , \bar{p} in nuclear environment [Текст] / A. Airapetian [et al.] // Phys. Lett. — 2003. — Vol. B577. — P. 37-44.
2. Gyulassy M. Jet quenching in lepton nucleus scattering [Текст] / M. Gyulassy, M. Plumer // Nucl. Phys. — 1990. — Vol. B346. — P. 1-16.
3. Cronin J. W. Production of hadrons at large transverse momentum at 200, 300, and 400 GeV [Текст] / J. W. Cronin, H. J. Frisch, M. J. Shochet [et al.] // Phys. Rev. — 1975. — Vol. D11. — P. 3105-3123.

Измерение свойств легких адронов, рождающихся в Cu+Au столкновениях при энергии 200 ГэВ в эксперименте «ФЕНИКС»

Бердников Я. А., Котов Д. О., Сафонов А. С.,
Иванищев Д. А., Рябов В. Г., Рябов Ю. Г.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет,
Петербургский институт ядерной физики,
НИЦ «Курчатовский институт»*

К настоящему времени экспериментами на коллайдерах RHIC и LHC было установлено, что в центральных столкновениях ультрарелятивистских тяжелых ядер (Au + Au) образуется новое состояние материи — сильно взаимодействующая кварк-глюонная плазма (КГП) [1], обладающая партонными степенями свободы и ведущая себя как идеальная жидкость. Столкновения асимметричных ядер (Cu + Au) существенно отличаются геометрией перекрытия ядер от случая столкновения симметричных ядер (Cu + Cu, Au + Au). Соответствующие радиусы ядер составляют $R(\text{Au}) \sim 7$ фм и $R(\text{Cu}) \sim 4,5$ фм. Это приводит к ряду последствий, которые позволяют получить более полные и точные данные о фундаментальных свойствах КХД материи в экстремальных условиях.

Новые экспериментальные результаты, полученные при изучении взаимодействий асимметричных тяжелых ядер, позволят дискриминировать различные теоретические модели и получить более точные численные оценки для параметров КГП и динамики ее образования. Это связано, прежде всего, с тем, что:

- для нецентральных $\text{Cu} + \text{Au}$ столкновений область перекрытия ядер приобретает асимметрию в направлении лево-право, приводя к появлению нечетных гармоник потока. Измерение потока в различных геометрических конфигурациях позволяет получить дополнительную информацию о динамике взаимодействия тяжелых ядер на самых ранних этапах, а также о скорости термализации образующейся среды. Одновременное сравнение экспериментальных результатов, полученных для различных сталкивающихся систем, с предсказаниями теоретических моделей позволит получить более точные оценки для величины вязкости образующейся среды, времени и механизме ее термализации.

- в ряде теоретических моделей предполагается, что высокая плотность цветковых зарядов, достигаемая в центральной области перекрытия тяжелых ядер, настолько велика, что делает данную область непрозрачной даже для тяжелых кварков. А подавляющая часть адронов и струй с большими поперечными импульсами образуется на периферии области перекрытия ядер, в области, где плотность взаимодействующего вещества существенно ниже. Образование подобной периферийной зоны с малой плотностью характерно даже для наиболее центральных столкновений симметричных тяжелых ядер. В то же время в наиболее центральных $\text{Cu} + \text{Au}$ столкновениях практически отсутствует периферическая область с низкой плотностью вещества, свойственная столкновениям любых симметричных ядер. И если центральная область взаимодействия действительно непрозрачна для распространяющихся в ней партонов, то они не должны выходить на поверхность. Экспериментально данный эффект должен проявляться в существенно большем подавлении выхода адронов и струй с большими поперечными импульсами. Сравнение результатов по измерению подавления выхода адронов и струй с большими поперечными импульсами в столкновениях симметричных ($\text{Cu} + \text{Cu}$, $\text{Au} + \text{Au}$) [2] и асимметричных ($\text{Cu} + \text{Au}$) ядер, а также сравнение с предсказаниями теоретических моделей позволит получить дополнительные ограничения на параметры теоретических моделей, получить численные оценки для плотности цветковых зарядов в среде, среднем значении константы сильного взаимодействия, механизме взаимодействия партонов различных ароматов со средой.

В настоящем докладе представлены экспериментальные результаты для инвариантных дифференциальных спектров рождения по поперечному импульсу, факторов ядерной модификации для π^0 -мезонов, каонов и протонов, а также отношений их выходов в Cu + Au столкновениях при энергии 200 ГэВ, полученные на экспериментальной установке ФЕНИКС коллайдера RHIC. Производится сравнение полученных результатов, с аналогичными результатами, полученными экспериментом ФЕНИКС для симметричных Au + Au взаимодействий при энергии 200 ГэВ.

Список литературы

1. Müller B., Schukraft J., Wyslousch B. First Results from Pb + Pb Collisions at the LHC [Text] // Annual Review of Nuclear and Particle Science. 2012. Vol. 62. P. 361–386.

2. Бердников Я. А., Иванищев Д. А., Котов Д. О., Рябов В. Г., Рябов Ю. Г., Самсонов В. М. Рождение странных адронов в ядро-ядерных взаимодействиях в эксперименте PHENIX на коллайдере RHIC [Текст] // Ядерная физика и инжиниринг. 2013. Том 4. № 9–10. С. 812–817.

Рождение легких адронов в U + U взаимодействиях при энергии 192 ГэВ в эксперименте «ФЕНИКС» на коллайдере RHIC

Бердников А. Я, Котов Д. О., Сафонов А. С.,
Иванищев Д. А., Рябов В. Г., Рябов Ю. Г.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет,
Петербургский институт ядерной физики,
НИЦ «Курчатовский институт»*

В настоящий момент RHIC [1] уступил статус наиболее мощного коллайдера тяжелых ионов в мире. С начала ноября и до конца 2010 года Большой адронный коллайдер работал в режиме столкновений тяжелых ионов (Pb) и сталкивал частицы при больших энергиях (1,4 ТэВ/нуклон). Однако, LHC далеко не по всем параметрам превосходит возможности RHIC. Отличительной особенностью RHIC является возможность сталкивать спин-поляризованные протоны. Помимо этого, RHIC, обладает

гибкостью как в энергетическом диапазоне столкновения ядер, так и в сортах сталкиваемых ядер. Недавно введенный в строй источник ионов EBIS открыл возможность изучать взаимодействия тяжелых ионов урана ($U + U$).

Исследования, проведенные на коллайдере RHIC и позже на коллайдере LHC, позволили сделать вывод об образовании сильновзаимодействующей кварк-глюонной плазмы (КГП) [2] в центральных столкновениях тяжелых ядер при энергии 200 ГэВ. Данное открытие основано на нескольких основных наблюдениях:

- образующаяся в столкновениях тяжелых ядер среда обладает большой плотностью цветовых зарядов, достаточной для того, чтобы жестко рассеянные партонны, распространяющиеся в ней, эффективно теряли часть своей энергии. Эффект получил название эффекта гашения струй и на практике реализуется в подавление выхода адронов и струй с большими поперечными импульсами;

- среда обладает партонными степенями свободы. Данный вывод следует из наблюдения универсальности масштабирования эллиптического потока и более высоких порядков потока, измеренных для идентифицированных легких адронов в области промежуточных поперечных импульсов, с числом валентных кварков;

- среда ведет себя как идеальная жидкость, т. е. характеризуется очень малым значением отношения вязкости к энтропии. Данный вывод следует из возможности описания эллиптических потоков, измеренных для (не)идентифицированных легких адронов в области малых поперечных импульсов, в рамках гидродинамических расчетов;

- среда обладает высокой начальной температурой, составляющей 300-600 МэВ, что следует из измерения спектров рождения прямых фотонов по поперечному импульсу в области малых поперечных импульсов. Температура существенно превышает критическую температуру фазового перехода в КГП, предсказываемую теоретическими расчетами.

Несмотря на достигнутые успехи, остается много открытых вопросов, связанных с особенностями возникновения, охлаждения и

расширения КГП, определением ее свойств и доминирующих степеней свободы, что в основном связано с неоднозначностью интерпретации полученных экспериментальных результатов. В настоящее время исследования на коллайдерах RHIC и LHC направлены на более глубокое и детальное изучение нового состояния ядерной материи и получения его количественного теоретического описания. Существенный прогресс в данном направлении ожидается при изучении взаимодействий тяжелых ядер урана ($U + U$) при максимальной энергии коллайдера RHIC. До сих пор образование КГП наблюдалось только в центральных столкновениях ядер золота. Взаимодействия ядер урана позволят провести систематическое изучение эффектов гашения струй и развития коллективного потока, являющихся одними из основных сигнатур образования КГП и несущих большой объем данных о свойствах образующегося состояния. Это, безусловно, позволит получить более полные и точные данные о фундаментальных свойствах материи в экстремальных условиях, позволит проверить основы квантовой хромодинамики.

В настоящем докладе обсуждаются экспериментальные результаты для инвариантных дифференциальных спектров рождения по поперечному импульсу, полученные для π^0 -мезонов, каонов и протонов в $U + U$ столкновениях при энергии 192 ГэВ, полученные на экспериментальной установке ФЕНИКС коллайдера RHIC. Производится сравнение полученных результатов, с аналогичными результатами, полученными экспериментом ФЕНИКС для $Au + Au$ взаимодействий при энергии 200 ГэВ.

Список литературы

1. Baym G. RHIC: From dreams to beams in two decades [Text] / Nucl. Phys. A. — 2002. — Vol. 698. — P. 23 – 32.
2. Adcox K. Formation of dense partonic matter in relativistic nucleus-nucleus collisions at RHIC [Text] / Nucl. Phys. A. — 2005. — Vol. 757. — P. 184 – 283.

**Исследование влияния ядерной среды на процессы рождения
лептонных пар в адрон-ядерных взаимодействиях
при помощи генератора HARDPING**

Бердников А. Я., Суетин Д. П.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Генератор HARDPING основан на Монте-Карло генераторах PYTHIA и HIJING. Первая версия генератора учитывала эффекты, связанные с взаимодействием налетающего адрона с ядерной средой до жесткого процесса с образованием лептонной пары. Результаты моделирования HARDPING сравнивались с экспериментальными данными E866. Вторая версия генератора HARDPING описывала лептон-ядерные столкновения с образованием адронов, результаты моделирования сравнивались с данными HERMES и EMS. Третья версия генератора позволила описать рождение адронов в адрон-ядерных столкновениях [1].

Исследование столкновений адронов высоких энергий с ядрами позволяет получить информацию об особенностях механизма взаимодействия партонов с ядерной материей. К таким особенностям можно отнести процессы многократного перерасеяния партонов и их торможение ядерной среде.

При высокоэнергетических столкновениях адронов с ядрами с образованием лептонных пар механизм взаимодействия может быть представлен следующим образом: налетающий адрон испытывает ряд мягких соударений в ядерной среде. После мягких процессов происходит жесткое столкновение налетающего партона с партоном ядра мишени с образованием вторичных частиц. Эти вторичные частицы в свою очередь могут участвовать в процессах мягкого перерасеяния в ядре. Мягкие перерасеяния вторичных лептонов ввиду малого сечения взаимодействия не могут оказывать заметного влияния на механизм взаимодействия адронов с ядрами.

Данная работа посвящена исследованию процесса образования лептонных пар в протон-дейтронных столкновениях с помощью генератора HARDPING.

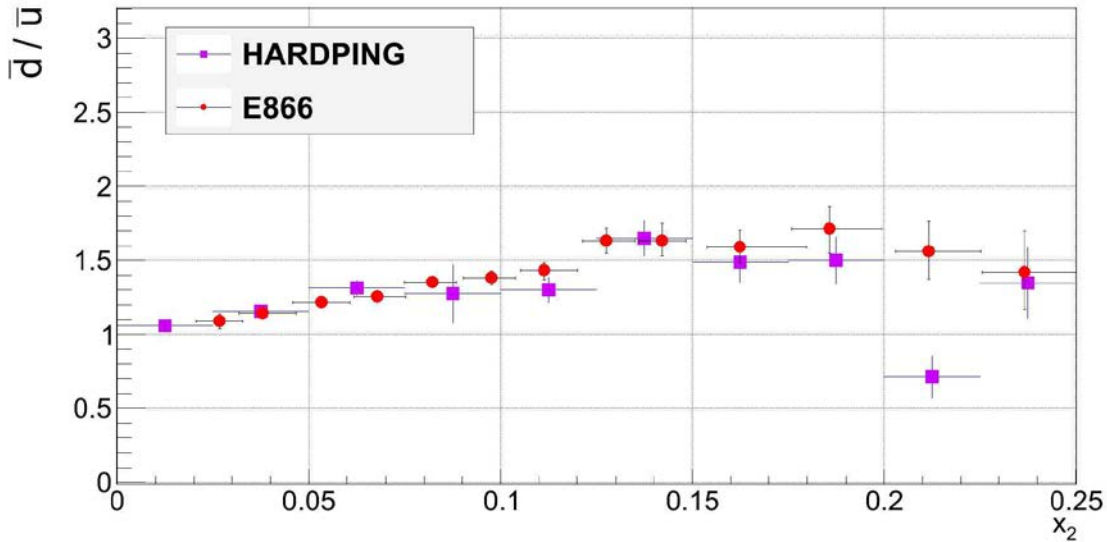


Рис. 1. Отношение антинижних к антиверхним кваркам как функция доли энергии нуклона мишени, которую несет партон, при энергии налетающего протона 800 ГэВ.

Красными кругами представлены экспериментальные данные E866 [2], фиолетовыми квадратами — результат моделирования HARDPING

Экспериментальные данные образования лептонных пар в протон – дейтронных рассеяниях на рис. 1 представлены как отношение антинижних кварков к антиверхним в зависимости от доли энергии нуклона мишени, которую несет партон. Это отношение извлекается из отношения сечения образования лептонных пар в протон-протонных столкновениях к сечению образования лептонных пар в протон-дейтронных столкновениях как:

$$\left. \frac{\sigma^{pd}}{2\sigma^{pp}} \right|_{x_1 \gg x_2} \approx \frac{1}{2} \left[1 + \frac{\bar{d}(x_2)}{\bar{u}(x_2)} \right].$$

Так как с помощью генератора HARDPING удалось удовлетворительно описать кварковое море на дейтроне при энергии 800 ГэВ, можно сделать предсказание для эксперимента E906 с энергией налетающего протона 120 ГэВ. На рис. 2 представлено предсказание HARDPING для эксперимента E906, направленного на прецизионное исследование кваркового моря на дейтроне.

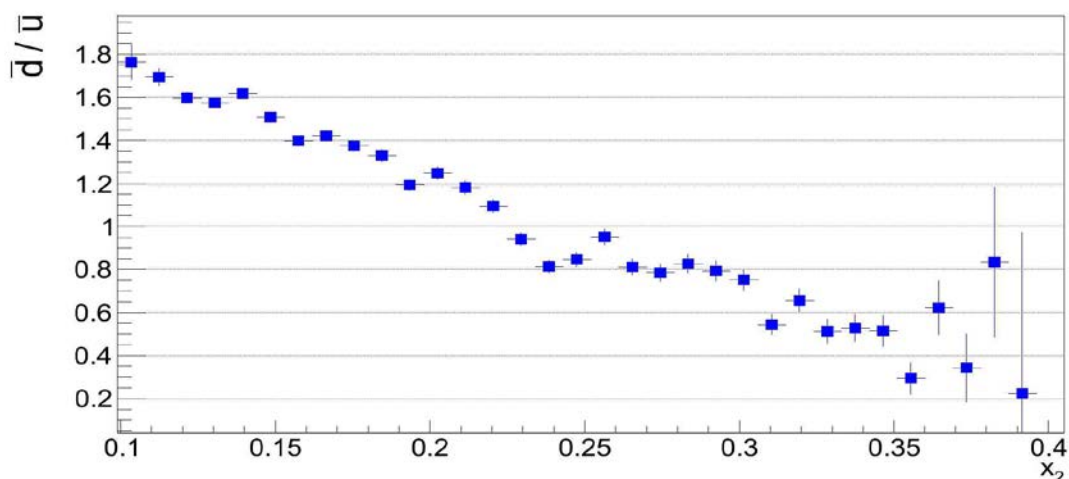


Рис. 2. Отношение антинижних к антиверхним кваркам как функция доли энергии нуклона мишени, которую несет партон, при энергии налетающего протона 120 ГэВ.

Синими квадратами представлено предсказание HARDPING для эксперимента E906

Список литературы

1. Berdnikov Ya. A. Hard processes in p–A collisions with MC generator HARDPING 3.0 [Текст] / Ya. A. Berdnikov, A. E. Ivanov, V. T. Kim, V. A. Murzin, D. P. Suetin // Nucl. Phys. B. Proc. Suppl. — 2013. — Vol. 245. — P. 267-270.

2. Arrington J. Drell-Yan measurements of Nucleon and Nuclear Structure with the Fermilab Main Injector: E906 [Электронный ресурс] https://www.fnal.gov/directorate/program_planning/Proposals/E906-Drell-YanOct2006PAC.pdf

Поликодовость в современных медицинских научных текстах

Богданова Н. В., Шалтыко Л. Г., Пятницкий А. Н.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Латинский язык, господствующий в физике, математике, юриспруденции и медицине постепенно стал утрачивать свои позиции лишь в 15-16 веках, когда на английский и немецкий языки были переведены труды по химии Иоганна Рудольфа Глаубера, Джованни Делла Порта и Георгия Агриколы, имевшие большое практическое значение для медицины,

фармакологии и техники. Потребовалось несколько веков, прежде чем, латинский язык уступил место европейским языкам при написании научных текстов [1]. В Западной Европе и России вплоть до конца 19 века диссертации на соискание ученой степени доктора философии писали на латинском языке. На латинском языке были написаны труды М. В. Ломоносова, Н. И. Пирогова, и даже докторская диссертация С. В. Ковалевской в области математики написана на латыни.

Несмотря на развитие медицинской номенклатуры и терминологии на европейских языках, калькировавших латинские термины или ассимилировавшие латинские и латино-греческие основы термина, фундамент медицинской терминологии составляла латынь.

Модернизированная в 1955 году анатомическая номенклатура «*Nomina anatomica parisiensia*», закрепила основные принципы применения латинской терминологии в медицине и таких сопредельных областях как фармакология и ветеринария.

В современном тексте по медицине, написанном на каком-либо европейском языке используются термины двух типов: латинские и термины на соответствующих современных языках, тем самым информация о материальном объекте, явлении или процессе в тексте закодированы в виде термина двумя разными языковыми кодами: латинским кодом (код Л) и кодом, соответствующего европейского языка (код Е).

Концепция поликодности лексического пространства приобретает в медицинских текстах особый смысл. Анализ терминологических единиц в английских и немецких текстах показывает, что существует иерархия соотношения «кода Л» и «кода Е». По «коду Л» сформированы основные латинские термины, которые фактически являются интернациональными словами и несут наибольшую смысловую нагрузку, как в однословных, так и в составных терминах. Например: англ.: Cardiovascular, cardio muscle, нем.: Venen, Kapillaren, Lymphkapillaren и т. д. [2, 4].

По «коду Е» образуются менее специальные термины, которые построены по словообразовательным моделям современного европейского и нередко отражают не столько явление или объект, а имеют общий смысл, обозначая часто одновременно протекающий патологический процесс. Например: англ.: Calcification, нем.: Zerkalkung, рус.: кальцификация.

Наблюдаются также гибридные термины, в состав которых входит фрагмент информации, закодированный по «коду Л» и по «коду Е». Например: англ.: Vascular disease, vascular occlusion, vascular damage, нем.: die Lymphgefäße, die Lymphknoten, das Hohlorgan [3, 4].

Следует отметить значительную устойчивость исходных опорных терминов по «коду Л». В одном и том же тексте можно обнаружить дублетные термины, построенные как по «коду Л» так и по «коду Е». Например: англ.: cardiomuscular = heart muscular нем.: Venen = Blutadern [2, 4].

Наряду с латинскими терминами Cortex и Hyperplasia существуют термины в виде прилагательных, образованные по «коду Е» по модели формирования прилагательных в английском языке cortical или hyperplastic. Бинарные термины cortical adenoma, hyperplastic nodule результат перекрестного взаимодействия «кода Л» и «кода Е».

Таким образом, существует как иерархия, так и параллелизм кодов. Термины по «коду Е» созданы по моделям словообразования европейских языков и подчиняются их нормам. Например, образование множественного числа в английском языке происходит с помощью окончания -s – heart – hearts. Ассимиляцию латинского термина можно также трактовать с позиций поликодности. Например: tumor – tumors. Термин по «коду Л» при преобразовании в термин по «коду Е» получает окончание -s . Нередко термин по «коду Л» приобретает в тексте артикли.

На основе концепции поликодности проанализированы термины в медицинских текстах на английском и немецком языках. Существующие типы терминов могут быть расценены как результат кодирования информации с помощью двух кодов латинского и одного из европейских языков. Обнаружено взаимодействие кодов в процессе формирования терминов.

Список литературы

1. Butterfeld N. The origin of modern science. London: Bell, 1958.
2. Jaffer von Gavaller. Pathologie der Laboratoriumstiere. Berlin: Springer, 1958.
3. Fritsch Helga, Kühnel Wolfgang. Taschenatlas Anatomie: Innere Organe. Stuttgart, New York: Thieme, 2003.
4. Oxford Handbook of Clinical Medicine. Oxford University Press, 2010.

Адаптивность секций механизированных крепей и их режимы работы

Бувевич В. В., Габов В. В., Задков Д. А., Кабанов О. В.

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

В технической литературе при рассмотрении вопросов, касающихся режимов работы комплексно-механизированных очистных забоев угольных шахт, часто затрагиваются проблемы адаптивности секций механизированной крепи к изменяющимся горно-геологическим условиям [1]. При этом адаптивность в них рассматривается не в классической трактовке (автоматическое изменение структуры и алгоритмов функционирования объекта с целью сохранения оптимального своего состояния при изменении внешних условий и неполной априорной информации об изменениях), а как процесс регулирования или приспособления объекта к изменяющейся случайным образом внешней среде в известных, ограниченных пределах.

На современном уровне развития очистных механизированных комплексов (ОМК) решается задача придания признаков адаптивности каждому его структурному элементу: механизированной крепи, выемочной машине, забойному конвейеру, системам вентиляции и информационного обеспечения и т. д., а создание адаптивных комплексов из-за сложности объекта отнесено к задачам будущего. Ведущая роль в совершенствовании ОМК придается развитию адаптивности секций механизированной крепи, которые обеспечивают условия для функционирования всех остальных структурных элементов комплекса.

Советские ученые Фролов Б. А. и Клишин В. И. выделяли динамическую, кинематическую, контактную и статическую адаптивности [1] секций крепи. Одной из основных задач динамической адаптивности является снижение воздействий резких осадков основной кровли на крепь. Чрезмерные забросы давлений в поршневых полостях гидростоек, возникающие в результате таких осадков, пытались уменьшить увеличением пропускной способности предохранительных клапанов, повышением прочности стоек, а обеспечение динамической адаптации секций механизированной крепи к внешним условиям в процессе их передвижки также относили к будущим исследованиям.

Кинематическая адаптивность, заключающаяся в оптимизации взаимного положения элементов секции крепи в пространстве очистного забоя при изменяющемся характере процесса конвергенции боковых пород, зависит от большого количества факторов и решается поиском наиболее удачных кинематических схем и совершенствованием конструкции секций механизированной крепи для различных горно-геологических условий.

Контактная адаптивность зависит от соотношения прочности боковых пород (почвы и кровли) и сопротивления крепи. Наиболее приемлемыми по критерию контактной адаптивности, особенно на больших глубинах разработки, являются щитовые крепи ограждающего типа с четырехзвенным соединением ограждающего щита с основанием. Однако существует проблема, связанная с изменчивостью и непредсказуемостью зависимости контактной адаптивности от уровня сопротивления крепи. Если по условиям динамической адаптивности повышенный уровень сопротивления крепи полезен для любой из схем взаимодействия, то с точки зрения контактной адаптивности его номинальное значение изменяется в значительных пределах и, как правило, ниже требуемого по фактору динамической адаптивности.

Динамическая, кинематическая и контактная адаптивности взаимозависимы и связаны со статической адаптивностью через усилие распора гидростоек, которое изменяется от уровня начального распора до усилий, соответствующих моменту срабатывания предохранительного клапана. Следовательно, максимальные распорные усилия секций крепи и давления в поршневых полостях гидростоек, необходимые их запасы прочности, установленной мощности приводов насосных станций, расходуемой энергии на противодействие опусканию кровли зависят от режима работы гидростоек секций механизированной крепи.

Для реализации адаптивного управления было предложено техническое решение [2], представляющее собой (рис.1) совокупность двухкамерного мультипликатора давления МД и блока регулирования БР. Полость большего диаметра 3 мультипликатора соединена блоком БР с напорной магистралью гидросистемы секций крепи, а полость 1 меньшего диаметра — с поршневой полостью 4 гидростойки. Такое устройство может быть

установлено на каждую стойку секции крепи или одно устройство на две стойки забойного или завального ее ряда.

Диаметры поршней 2 мультипликатора МД выбираются из условия равенства сил, действующих на поршни на нижней границе диапазона регулирования давления $P_{р.н}$, устанавливаемого несколько выше давления начального распора $P_{н.р}$ гидростойки секции крепи (рис. 2):

$$P_{р.н} = P_{н.р} + K_H \cdot P_{н.р} = P_{н.р} \cdot (1 + K_H). \quad (1)$$

Верхний уровень диапазона регулирования $P_{р.в}$ выбирается ниже установленного давления $P_{пк}$ срабатывания предохранительного клапана (ПК):

$$P_{р.в} = P_{пк} - K_B \cdot P_{пк} = P_{пк} \cdot (1 - K_B). \quad (2)$$

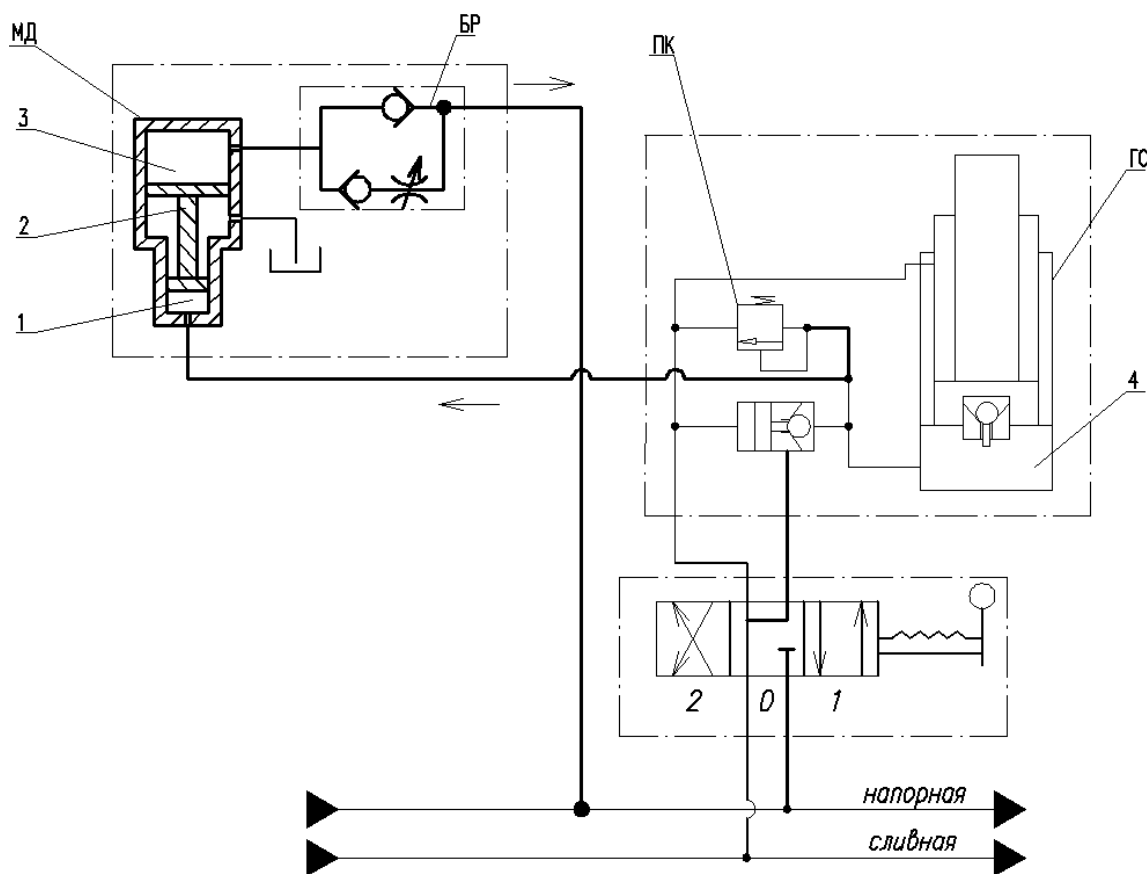


Рис. 1. Гидросхема стойки секции крепи с рекуперацией энергии

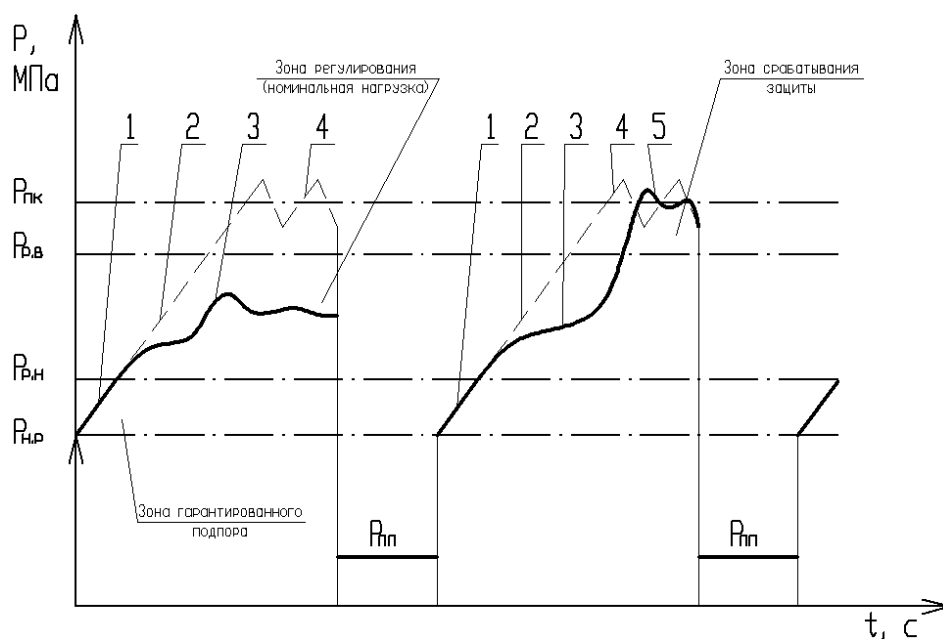


Рис. 2. Идеализированная характеристика режима работы гидростойки секции крепи

В формулах 1 и 2 K_H и K_B — коэффициенты запаса по устойчивости управления соответственно для нижней и верхней границ зоны регулирования. Их значения выбираются в зависимости от класса кровли и типа секций механизированной крепи.

Объем полости 1 мультипликатора (рис. 1) определяется исходя из среднемаксимального объема вытесняемой рабочей жидкости из поршневой полости гидростойки за цикл в конкретных горно-геологических условиях.

Работа секции происходит следующим образом. При опускании кровли давление в поршневых полостях гидростоек увеличивается выше давления начального распора по нарастающей характеристике 1 (рис. 2). Поршни МД смещены в крайнее положение, при этом объем жидкости в полости 3 максимальный. При дальнейшем повышении давления, выше нижнего уровня зоны регулирования ($P_{p,н}$), условие равновесия сил, действующих на поршни МД, нарушается ($F_1 > F_3$). Шток перемещается, вытесняя жидкость из камеры 3 через дроссель блока БР в напорную магистраль гидросистемы. Жесткость характеристики 2 (рис. 2) уменьшается, реализуется характеристика 3 и не происходит срабатывание предохранительного клапана (характеристика 4).

Силы, действующие на поршни МД, равны:

$$F_1 = P_1 \cdot S_1; \quad (3)$$

$$F_3 = P_3 \cdot S_3, \quad (4)$$

где P_1, P_3 — давления в камерах 1 и 3 мультипликатора МД; S_1, S_3 — площади малого и большого поршня МД.

При плавном опускании кровли с переменной скоростью (рис. 2, характеристика 3) давление может изменяться от нижней ($P_{p,n}$) до верхней ($P_{p,v}$) границы диапазона регулирования, не вызывая срабатывания предохранительного клапана. Этим обеспечивается переход от динамического импульсного регулирования горного давления на непрерывное статическое при изменении скорости опускания кровли и горного давления.

При передвижении поршня МД жидкость из большой камеры мультипликатора вытесняется через дроссель с расходом Q в напорную магистраль:

$$Q = \beta \cdot \varepsilon \cdot S \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_3 - P_H)}, \quad (5)$$

где β — коэффициент расхода; ε — степень открытия дросселя; S — площадь сечения отверстия дросселя; ρ — плотность жидкости.

При этом количество энергии, возвращаемой в гидросистему механизированной крепи будет равно:

$$E = V_3 \cdot P_H, \quad (6)$$

где V_3 — объем камеры 3 МД.

В случае резкого блокового опускания кровли и полной реализации хода предусмотрен упор поршня в верхнюю часть корпуса МД для того, чтобы сохранить отдельность камер высокого и низкого давления. В данном случае возможно чрезмерное увеличение давления (характеристика 5, рис. 2), которое приведет к срабатыванию предохранительного клапана ПК.

Предложенный вариант адаптивного безимпульсного управления горным давлением обеспечивает:

- разделение функций защиты от перегрузок и управления горным давлением;

- уменьшение частоты реализации максимальных (пиковых) нагрузок и частоты срабатываний предохранительного клапана;

- снижение трещинообразования пород кровли и повышение ресурса секций крепи;
- рекуперацию энергии горного давления в гидросистему комплекса.

Список литературы

1. Фролов Б. А. Методы повышения адаптивности механизированных крепей [Текст] / Фролов Б. А., Клишин В. И., Верин В. С. — Новосибирск: Наука, 1983.
2. Пат. 2510460 Российская Федерация, С2 E21D23/16 (2006.01). Гидрофицированная крепь с регулируемым сопротивлением и рекуперацией энергии [Текст] / Буевич В. В., Габов В. В., Кабанов О. В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», отдел ИС и ТТ. — 2012124418/03; заявл. 13.06.2012; опубл. 27.03.2014.

Влияние настройки рабочей точки по давлению на динамическое качество гидростатического подшипника

Бундур М. С., Пелевин Н. А., Прокопенко В. А.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Положение рабочей точки по давлению на характеристике $h = f(m)$ влияет на статические свойства гидростатического подшипника (ГСП): нагрузочная способность, точность положения шпинделя при различных нагрузках, суммарный расход рабочей жидкости и т. п. Представляет интерес оценка изменения настройки ГСП по этому параметру и недемпфирующие свойства опор.

Установлено, что наибольший для рассматриваемых режимов (для ГСП станка ЛР400ПМФ-4) запас по фазе $\Delta\varphi = 17,8^\circ$ соответствует рабочей точке $m = 0,3$, а наименьший — $\Delta\varphi = 12,3^\circ$ — значению $m = 0,7$. На рис. 1, а, приведены соответствующие переходные процессы при ступенчатом воздействии малой нагрузки и давлении питания ГСП $p_n = 10$ МПа.

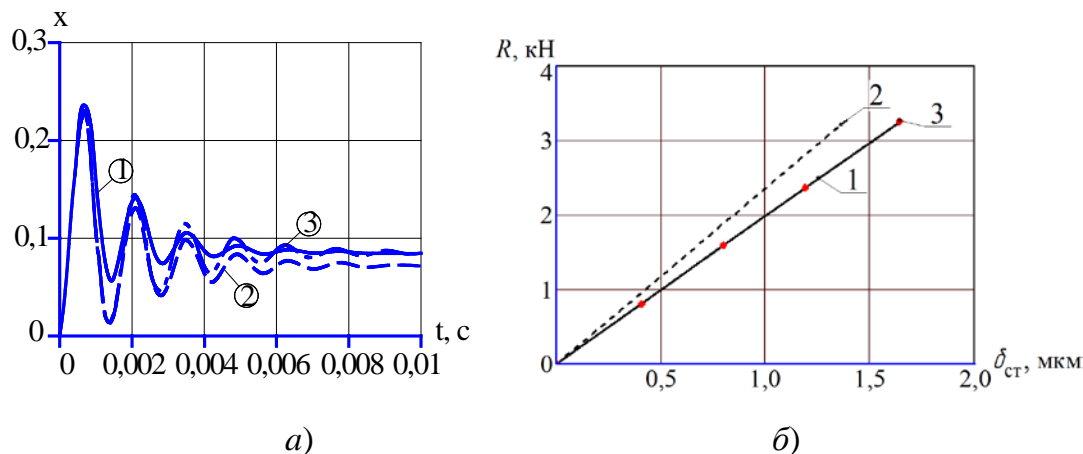


Рис. 1. Графики для $m = 0,3$ (1), $m = 0,5$ (2) и $m = 0,7$ (3):
 а) переходные процессы при давлении питания $p_n = 10$ МПа;
 б) зависимости несущей способности R
 от величины статической ошибки $\delta_{ст}$

При $m = 0,3$ имеет место несколько большая максимальная амплитуда, процесс затухает быстрее. Наименьшая статическая ошибка (рис. 1, б) в установившемся режиме при $m = 0,5$ и равная по величине большая статическая ошибка при $m = 0,3$ и $m = 0,7$. Следует заметить, что отличие в статической ошибке, хотя и составляет около 20 %, нагрузочная способность остается такой же (рис. 1, б).

Таким образом, несмотря на общепринятые рекомендации по настройке начального давления в опорах ГСП $m = 0,5$, не только с точки зрения статических показателей, но и по показателям динамического качества целесообразней смещать рабочую точку в сторону меньших значений m до значения $m = 0,3$.

Выбор $m = 0,3$ имеет дополнительный смысл при использовании диафрагменного регулятора [1]. Как известно, точка наибольшей жесткости упомянутой статической характеристики в схеме с регулятором составляет $m = 1/3$. В этом случае отсутствуют проблемы согласования геометрических параметров опор ГСП.

Список литературы

1. Проектирование гидростатических направляющих металлорежущих станков и станочных комплексов / Под ред. М. А. Болотникова, В. Г. Лебедева, В. А. Прокопенко, П. П. Пяткова, А. А. Яцкевича. — СПб.: СПбГТУ, 1993 — 28 с.

**Влияние радиального смещения оси шпинделя
на динамическое качество гидростатического подшипника**

Бундур М. С., Пелевин Н. А., Прокопенко В. А.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Объектом исследования является модернизированный шпиндельный узел [1] токарно-винторезного станка повышенной точности 1И611П. При модернизации была произведена замена традиционных опор качения на жидкостные опоры — гидростатические подшипники (ГСП). Рассчитанные параметры запаса по фазе для варианта 1 системы управления (СУ) ГСП «дроссель - дроссель» составляет $\Delta\varphi_1 = 24,4^\circ$, для варианта 2 СУ ГСП «дроссель – регулятор» запас по фазе несколько выше и составляет $\Delta\varphi_2 = 32,0^\circ$, оба варианта имеют запас ниже минимально допустимого для системы автоматического регулирования (САР) высокого качества 55° .

Станок и его узлы имеют ограниченные габариты, поэтому улучшение динамических характеристик с применением РС-цепей коррекции [2], в этом случае имеет существенные конструктивные сложности.

Для конструктивно несимметричных систем управления ГСП по варианту 2 определяющее значение для случая токарного станка имеет расположение относительно шпинделя в горизонтальной плоскости опоры с дроссельным управлением, что связано с отличиями: в жесткости и несущей способности ветвей статической характеристики, значениях запаса по фазе $\Delta\varphi$ соответствующих САР, колебательности переходных процессов (ПП). Для оценки динамического качества и варианта расположения опор были построены ПП при максимальной нагрузке (рис. 1). В результате выполненного анализа для варианта 2 установлено, что опора с регулятором должна размещаться относительно резцедержателя со стороны противоположной фартуку станка и смещение шпинделя Δ должно выполняться в том же направлении. При этом отсутствует колебательность, т. е. система обладает высоким динамическим качеством.

Таким образом, для повышения динамических показателей САР ГСП для несимметричной системы управления (вариант 2) с радиальным смещением шпинделя регулятор рекомендуется располагать в сторону приложения внешней нагрузки.

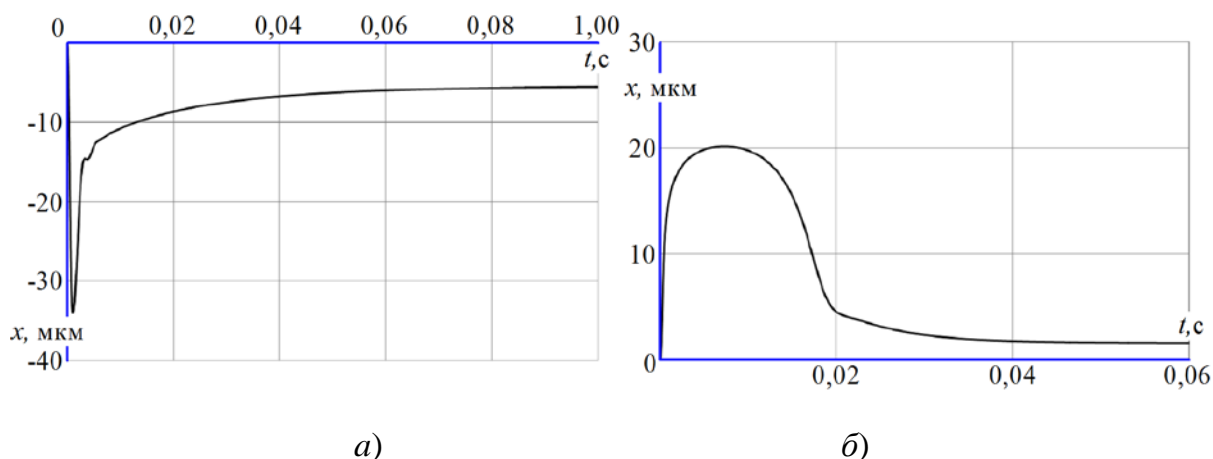


Рис. 1. Переходные процессы при максимальной нагрузке и $\Delta = 15$ мкм (в сторону регулятора):
 а) нагрузка приложена в сторону дросселя;
 б) нагрузка приложена в сторону регулятора

Список литературы

1. Пелевин Н. А. Исследование технологических возможностей токарно-винторезного станка 1И611П // Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспирантов в области технических наук. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012 — 179-180 с.
2. Петков П. П., Прокопенко В. А. Чернов И. А. Аналитические исследования возможностей повышения виброустойчивости шпиндельных узлов станков на гидростатических опорах. — Труды СПбГПУ — СПбГПУ, 2007. — № 504, — с. 137-148.

Совершенствование методики расчета винтовых свай с учетом их геометрических параметров

Валиев Ш. Н., Горбулин М. Г.

*Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ)*

Типы используемых винтовых свай

Конструкция винтовых свай постоянно совершенствуется и изменяется. В современной практике строительства применяется несколько основных их типов. Схематические их изображения приведены на рис. 1.

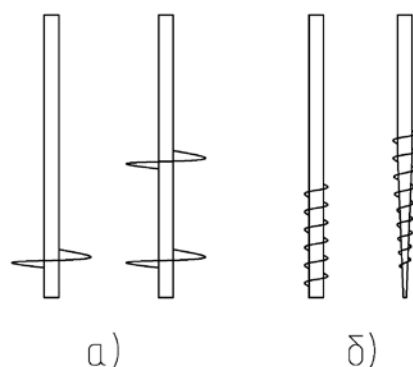


Рис. 1. Схематические изображения основных типов винтовых свай, используемых в современном строительстве.

- а) широколопастная свая с одной или несколькими рабочими лопастями;
 б) узколопастная свая цилиндрической и конусообразной форм

Основные методики расчета винтовых свай

В настоящее время в отечественной и мировой практике используется несколько основных методик расчета для определения несущей способности винтовой сваи по грунту основания. Методики расчета различны. Некоторые из них применимы ко всем типоразмерам винтовых свай, некоторые имеют узкий спектр применения. Все они разработаны для расчета сваи в талых нескальных грунтах и рассматривают сваю как «висячую».

Методики расчета:

1. Методика расчета, изложенная в российском нормативном документе СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты». Данная методика узкоспециализированная и применима только к широколопастным винтовым сваям с одной рабочей лопастью. Стоит отметить, что методика данного нормативного документа продублирована в действующих нормах других стран постсоветского пространства, например в латвийском и украинском документах LBN 214-03 «Геотехника. Свайные основания и фундаменты» и ДБН В.2.1-10-2009 «Основания и фундаменты сооружений. Основные положения проектирования» соответственно.

2. Расчет винтовой сваи по методике выдающегося советского ученого В. Н. Железкова. Методика, им разработанная, применима для расчета сваи в песчаных и пылевато-глинистых грунтах. Несмотря на то, что автор в своих работах рассматривает только широколопастную сваю с одной рабочей лопастью, приведенный им алгоритм расчета достаточно

универсален и может быть доработан для расчетов любых типоразмеров винтовых свай.

3. «Канадская» методика расчета. Оригинальная и достаточно универсальная методика расчета, широко применяется в зарубежной практике. Была разработана в 1985-1991 годах для расчета винтовой сваи в несвязных и связных грунтах. Позволяет производить расчет как широколопастных винтовых свай с одной и несколькими рабочими лопастями, так и узколопастных винтовых свай.

4. Методика расчета от компании «А. В. Chance». Разработана непосредственно под продукцию компании. Методика проста и универсальна, применима для многих типоразмеров свай в связных и несвязных грунтах. Несущая способность сваи определяется как сумма несущих способностей лопастей сваи. Алгоритм данного метода прост и подходит для быстрого выполнения предварительных расчетов, но использование данного метода для детального анализа работы сваи представляется сильно упрощенным, так как не учитываются некоторые параметры, такие как, например работа грунта по стволу сваи.

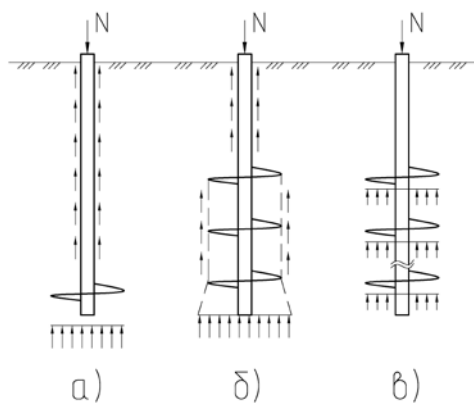


Рис. 2. Расчетные схемы, используемые в основных отечественных и зарубежных методиках расчета винтовых свай.

а) в методиках СНиП 2.02.03-85 и В. Н. Железкова;

б) в «Канадской» методике; в) в методике компании «А. В. Chance»

В отечественной строительной практике, до недавнего времени, наибольшее распространение получили только широколопастные винтовые сваи с одной рабочей лопастью. Вся нормативная база, касающаяся расчета и проектирования, создавалась именно под такой тип сваи. Был наработан огромный теоретический и практический опыт. Теоретические

результаты сопоставлялись с результатами натуральных экспериментов, расчетные алгоритмы и эмпирические зависимости корректировались, что в конечном итоге позволило добиться высокой достоверности получаемых результатов. Стоит отметить, что значительная работа в этом направлении была проведена советским ученым В. Н. Железковым.

В соответствии с отечественными нормативными документами и методиками, уверенно можно считать и проектировать только широколопастные винтовые сваи с одной рабочей лопастью. Выход на отечественный рынок новых, ранее не получивших широкого распространения, типов винтовых свай — узколопастных, либо широколопастных с двумя и более рабочими лопастями вызвал массу обоснованных вопросов в связи с недостаточным их теоретическим обеспечением. Зарубежными расчетными методиками инженеры практически не пользуются, как в связи с отсутствием русскоязычного теоретического материала данной тематики, так и с тем, что зарубежные методики не принимаются при экспертной оценке проекта. Можно утверждать, что для обоснования принятой в проекте несущей способности таких свай, можно использовать только материалы их натуральных испытаний статическими сжимающими и выдергивающими нагрузками. Отсутствие обоснованиями нормативами ведет к тому, что внедрение новых, зачастую более технологичных типов винтовых свай, сильно затруднено.

Учитывая это, одной из первоочередных задач отечественной школой фундаментостроения является совершенствование существующих методик расчета и обеспечение их применимости к различным инновационным типам винтовых свай с различными геометрическими параметрами.

Методика расчета винтовых свай и пути ее совершенствования

Учитывая огромный опыт отечественной фундаментостроительной школы, прежде всего, для совершенствования и доработки существующих методик расчета применительно к новым типам винтовых свай, необходимо использовать уже наработанный теоретический и практический материал. Производить увязку отработанных алгоритмов с результатами натуральных испытаний свай нового типа, изучать и использовать зарубежный опыт и реализованные расчетные алгоритмы. В процессе работы необходимо активно применять конечно-элементные расчетные

комплексы (например, Abaqus, Plaxis и др.) для моделирования как отдельных конструктивных элементов свай, так и системы свая-грунт в целом. Использование конечно-элементных комплексов, не только повысит достоверность принятых решений, но и позволит свести к минимуму необходимость в натурных экспериментах. Усовершенствованная расчетная методика должна быть проста, универсальна и подтверждена результатами компьютерного моделирования и натурных испытаний.

В используемых отечественных методиках расчета, несущая способность винтовой сваи глубокого заложения по сжимающей и выдергивающей нагрузке является суммой несущей способности лопасти и несущей способности боковой поверхности ствола сваи. При доработке расчетных методик, следует учесть их некоторые основные особенности: площадь, на которой лопасть сваи взаимодействует с грунтом, принимается за вычетом площади ствола сваи (при расчете по выдергивающей нагрузке); трение грунта по боковой поверхности ствола сваи исключается на участке влияния лопасти, равному ее наружному диаметру.

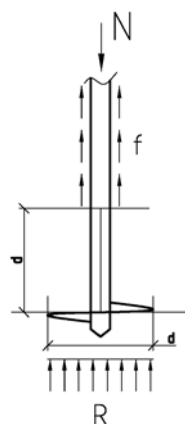


Рис. 3. Расчетная схема винтовой сваи в соответствии с методиками СНиП 2.02.03-85 и В. Н. Железкова.

- N — сжимающая нагрузка, действующая на сваю;
- R — расчетное сопротивление грунта под лопастью сваи;
- f — трение грунта по боковой поверхности ствола сваи;
- d — наружный диаметр лопасти

Расчетное сопротивление грунта под лопастью сваи зависит от глубины ее заложения, удельного сцепления и угла внутреннего трения грунта, в ее рабочей зоне. Рабочая зона лопасти — зона влияния, ограничивается одним ее наружным диаметром. Учитывая это, можно сделать вывод

о применимости существующих отечественных расчетных методик, после незначительной их доработки, для определения несущей способности широколопастных винтовых свай с двумя и более рабочими лопастями. При этом, для предотвращения взаимовлияния лопастей, дистанция между ними должна составлять не менее суммы их диаметров. При меньшем шаге лопастей, в существующие методики необходимо вводить поправочные коэффициенты, учитывающие их взаимное влияние. Работа грунта по боковой поверхности ствола сваи в межлопастном пространстве, в этом случае, будет присутствовать только в случае, когда расстояние между лопастями будет превышать сумму их диаметров. Данное предположение подтверждается и зарубежными расчетными методиками, где работа грунта по боковой поверхности сваи, в межлопастном пространстве не учитывается.

В таком случае несущая способность широколопастной винтовой сваи, с двумя и более рабочими лопастями, будет являться суммой несущих способностей лопастей и несущей способности боковой поверхности ствола сваи на участках, расположенных вне зон влияния лопастей. При этом, рабочая площадь всех лопастей (кроме нижней лопасти при работе сваи на сжимающую нагрузку) будет приниматься за вычетом площади поперечного сечения ствола сваи.

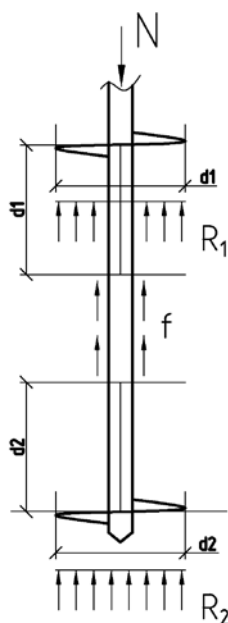


Рис. 4. Предлагаемая расчетная схема для доработки методик расчета применительно к широколопастным винтовым сваям с двумя и более рабочими лопастями. Обозначения соответствуют рис. 3

В классической трактовке, используемой в отечественной нормативной литературе, винтовая свая — это свая, у которой площадь поперечного сечения ствола значительно меньше площади лопасти. Совершенно ясно, что под данное определение не попадают винновые узколопастные сваи, которые начали активно использоваться в строительстве в последнее время. Это обстоятельство вызвало обоснованные вопросы по их конструированию и по теоретическим методам определения их несущей способности.

При совершенствовании и доработке существующих методик для расчета винтовых узколопастных свай, прежде всего, необходимо учесть то, что рабочая площадь проекции лопасти у такой сваи, в сравнении с площадью поперечного сечения ствола, незначительна. Следовательно, можно утверждать, что рабочая зона (зона влияния) такой лопасти невелика и будет близка по значению к ширине лопасти. При этом, как и в предыдущем случае, несущая способность сваи будет являться суммой несущих способностей лопастей и несущей способности боковой поверхности ствола сваи на участках вне зон влияния лопастей. Рабочая площадь всех лопастей (кроме нижней лопасти при работе сваи на сжимающую нагрузку) будет приниматься за вычетом площади поперечного сечения ствола сваи.

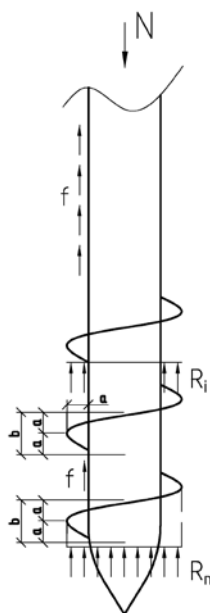


Рис. 5. Предлагаемая расчетная схема для доработки методик расчета применительно к узколопастным винтовым сваям.

a — ширина лопасти; $b = 2a$ — предполагаемая рабочая зона лопасти (зона влияния); R_{i-n} — расчетное сопротивление грунта под лопастью сваи;
 f — трение грунта по боковой поверхности ствола сваи

Обобщая вышеизложенное, можно сделать вывод, что для совершенствования и доработки существующих отечественных расчетных методик, применительно к новым типам винтовых свай, необходимо:

- Разработать и экспериментально подтвердить алгоритм, по которому будет выполняться расчет несущей способности таких свай;

- Доработать существующую расчетную формулу для определения несущей способности до возможности ее универсального применения для различных типов винтовых свай с различными геометрическими параметрами. При этом формула должна состоять из независимых слагаемых, отвечающих отдельно за несущую способность каждой лопасти и несущую способность боковой поверхности ствола сваи. Учесть при составлении формулы возможность прорезания сваей разнородного грунтового основания и возможность расположения лопастей в различных грунтах;

- Теоретическим и экспериментальным путем уточнить зону влияния лопасти винтовой сваи, в зависимости от ее диаметра, ширины, диаметра ствола сваи и грунта в котором она находится. Определить значения коэффициентов взаимовлияния лопастей.

- Подтвердить теоретические результаты, полученные по доработанной методике результатами натурных испытаний для различных свай в различных грунтовых условиях.

После окончательной доработки, полученную усовершенствованную расчетную методику обязательно необходимо включить в действующие нормативные документы.

Определение несущей способности винтовой узколопастной сваи по сжимающей нагрузке с учетом интерпретации расчетной методики СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты» и сравнение с результатами натурных испытаний

Как отмечалось ранее, расчетная методика, изложенная в данном нормативном документе, ограничена широколопастной винтовой сваей с одной рабочей лопастью. Расчетная формула при этом имеет следующий вид:

$$F_d = \gamma_c \cdot [R \cdot A + u \cdot f_i \cdot (h - d)],$$

где: γ_c — коэффициент условий работы винтовой сваи в зависимости от действующих на нее нагрузок и грунтовых условий;

$R = a_1 \cdot c_l + a_2 \cdot \gamma_l \cdot h_l$ — расчетное сопротивление грунта под лопастью сваи;

a_1 и a_2 — безразмерные коэффициенты, зависящие от угла внутреннего трения грунта в рабочей зоне лопасти;

c_l — расчетное удельное сцепление пылевато-глинистого или параметр линейности песчаного грунта в рабочей зоне лопасти;

γ_l — осредненное расчетное значение удельного веса грунтов залегающих выше лопасти сваи;

h_l — глубина заложения лопасти винтовой сваи;

A — горизонтальная проекция площади лопасти;

f_i — расчетное сопротивление грунта на боковой поверхности сваи, осредненное по длине;

h — длина ствола, для которой производится суммирование расчетных сопротивлений грунта;

u — периметр ствола сваи;

d — диаметр лопасти сваи.

Интерпретированная формула, с учетом алгоритмов предложенных в данной статье примет следующий вид:

$$F_d = \sum \gamma_c \cdot R_i \cdot A_i + \sum \gamma_c \cdot u_i \cdot f_i \cdot h_i,$$

где $\sum \gamma_c \cdot R_i \cdot A_i$ — сумма несущих способностей всех лопастей сваи;

$\sum \gamma_c \cdot u_i \cdot f_i \cdot h_i$ — несущая способность боковой поверхности ствола сваи вне зоны влияния лопастей.

В качестве контрольных величин будут использованы результаты натурных испытаний двух однотипных узколопастных винтовых свай статическими сжимающими нагрузками. Испытания проведены на одной площадке строительства в одинаковых грунтовых условиях.



Рис. 6. Испытанная статическими сжимающими нагрузками винтовая узколопастная металлическая свая

Конструкция сваи разработана предприятием ООО «Атис-груп». Свая имеет следующие геометрические параметры: полная длина сваи 2500 мм; диаметр ствола 76 мм; ширина лопасти 12 мм; толщина лопасти 2 мм; шаг витков 50 мм.



Рис. 7. Проведение испытаний сваи статическими сжимающими нагрузками

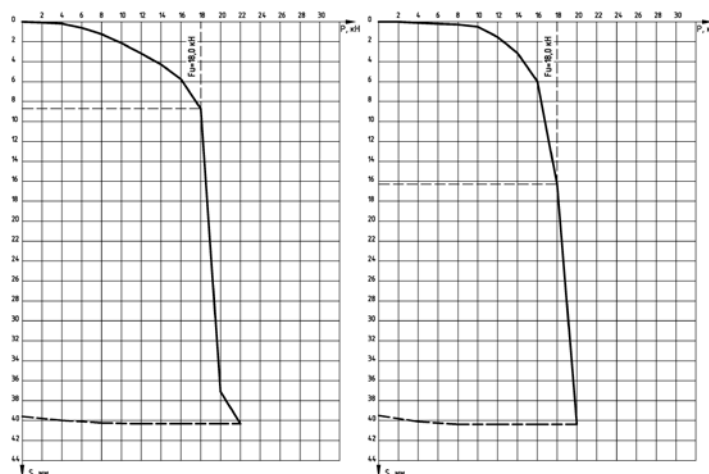


Рис. 8. Графики зависимости осадки испытанных свай от нагрузки

По результатам проведенных испытаний свай статическими сжимающими нагрузками, их несущая способность оказалась одинаковой и составила 18,0 кН, а осадки при этой нагрузке составили приблизительно 9 и 16 мм. При дальнейшем увеличении нагрузки произошел «срыв» свай и осадка превысила 40 мм.

Испытания проводились в супесях природной влажности. Вокруг испытываемых свай производилось полное удаление почвенно-растительного слоя грунта на всю глубину его заложения — на 0,8 м с

поверхности. Это было сделано для обеспечения «чистоты» эксперимента — свая полностью находилась в супесях и не контактировала с другим грунтом. Глубина погружения свай в супесь составила 1,36 м.

Расчетные значения физико-механических характеристик супеси природной влажности следующие: показатель консистенции $I_L = -1,90$; угол внутреннего трения $\varphi_1 = 23,3$ град.; удельное сцепление $c_1 = 6,67$ кН/м²; удельный вес $\gamma_1 = 15,4$ кН/м³.

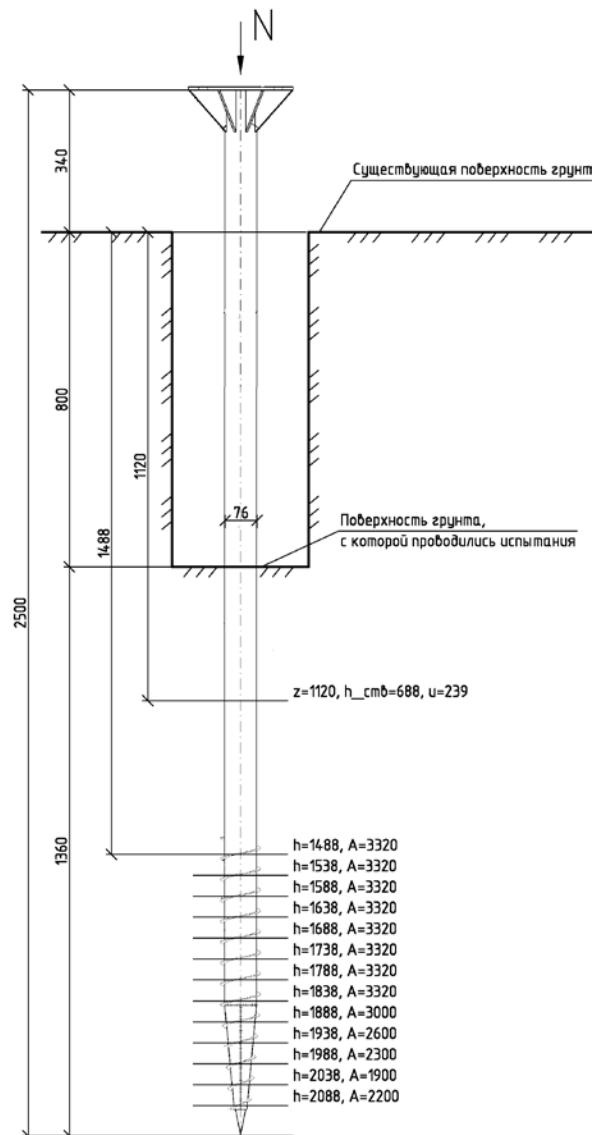


Рис. 9. Расчетная схема винтовой узколопастной сваи. z — глубина заложения для определения несущей способности грунта по стволу сваи, мм;
 $h_{\text{ств}}$ — длина участка ствола, на котором учитывается работа грунта, мм;
 u — периметр ствола сваи, мм; h — глубина заложения лопасти, мм;
 A — рабочая площадь лопасти, мм

Расчет выполнялся по интерпретированной формуле СНиП 2.02.03-85. Для упрощения расчета и в связи с отсутствием данных о зонах влияния лопастей винтовой сваи, трение грунта по боковой поверхности ствола сваи в межлопастном пространстве не учитывалось.

$$F_d = \sum \gamma_c \cdot R_i \cdot A_i + \sum \gamma_c \cdot u_i \cdot f_i \cdot h_i.$$

Коэффициенты, участвующие в расчете, были приняты следующие: $\gamma_c = 0,8$ — для сжимающих нагрузок, действующих на сваю в твердых супесчаных грунтах; безразмерные коэффициенты $a_I = 16,95$ и $a_{II} = 8,43$.

После выполнения всех математических операций, несущая способность сваи по сжимающей нагрузке, полученная расчетным путем, составила $F_d = 10,54 + 4,72 = 15,26$ кН, а несущая способность свай по результатам статических испытаний составила 18,0 кН.

Принимая во внимание тот факт, что расчетный метод определения несущей способности сваи, в большинстве случаев, показывают заниженные значения, в сравнении с натурными результатами для любых типов свай (круглых и призматических, постоянного и переменного сечения), а так же некоторые упрощения в принятой расчетной схеме, можно говорить о высокой сходимости полученных результатов.

Помимо вышеприведенного расчета выполнялись и другие, для свай фирмы «Grinper», в других грунтовых условиях. Результаты расчетов показали достаточно высокую сходимость с натурными значениями, полученными по статическим испытаниям. При этом, теоретические значения во всех случаях были ниже натуральных на 10-30 %.

Заключение

Совершенствование и доработка существующих отечественных методик расчета и обеспечение их универсальности, применительно ко всем типам винтовых свай, с внесением изменений и дополнений в действующие нормативные документы — фактор, который будет способствовать практическому внедрению инновационных типов свай и технологий с ними связанных, сокращению сроков строительства и более рациональному использованию средств и материалов.

Список литературы

1. Железков В. Н. Винтовые сваи в энергетической и других отраслях строительства. СПб 2004 г.
2. СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты».
3. ГОСТ 25100-82. Грунты. Классификация. — М.: Изд-во стандартов, 1982.
4. Отчет по полевым испытаниям свай организации ООО «Гидростройпроект» (Объект № 317.03).

Технология определения размеров микрообъектов с использованием метода дифрактометрии

Васильева Е. Н., Соловьев И. В.

*Тюменский государственный
нефтегазовый университет*

Промышленное производство изделий микроэлектроники требует использования специальных методов определения размеров микрообъектов, что обуславливает необходимость соответствующих экспериментальных исследований. Для определения размеров микрообъектов в приборостроении перспективным является использование метода дифрактометрии, позволяющего в перспективе автоматизировать процессы контроля в условиях производства [8].

Явление дифракции обусловлено волновой природой света [1, 2] и проявляется в виде нарушений законов геометрической оптики в зонах резкой неоднородности среды, что приводит к отклонению хода луча света от прямолинейного вблизи краев непрозрачных и прозрачных тел и к огибанию препятствий световыми лучами. Общие подходы к решению дифракционных задач были даны Гюйгенсом и Френелем. Решение этих дифракционных задач на основе волнового уравнения

$$\Delta S_i = \frac{1}{U^2} \frac{d^2 S_i}{dt^2}, (i=1,2,\dots,10) \quad (1)$$

с граничными условиями, зависящими от характера препятствий, представляет значительные трудности, что обуславливает сложный характер формирования дифракционных картин. В формуле (1): Δ — оператор Лапласа, $S_i = S(x, t)$ — неизвестная функция, $t \in R$ — время, $x \in R^n$ — пространственная переменная, U — фазовая скорость.

При освещении экрана параллельным пучком света оптического квантового генератора (лазера), состоящим из плоских волн, в области геометрической тени интенсивность света не равна нулю и постепенно уменьшаются вглубь тени, а в освещенной области возникают полосы максимумов и минимумов освещенности, параллельные краю экрана (см. рис. 1, *а*) [5, 6, 7]. Дифракционную картину можно построить в соответствии с принципом Гюйгенса-Френеля, (см. рис. 1, *б*), предположив, что при распространении волны каждая точка волнового фронта MM' является источником вторичных сферических волн. При этом амплитуда напряженности электрического поля световой волны за экраном определяется сложением вторичных элементарных волн. Для построения картины разбивают поверхность волнового фронта на зоны Френеля, ограниченные прямыми параллельными, краю экрана, расстояния которых от токи P равны R , $R + \frac{\lambda}{2}$, $R + \lambda$, ... и т. д., где λ — длина волны света (см. рис. 1, *в*).

Фазы вторичных волн от соседних зон в точке P противоположны по знаку. Если точка P находится на границе геометрической тени (см. рис. 1, *в*), то действие вторичных волн в ней определяется половиной плоскости MM , а в точках, находящихся в освещенной области далеко за границей геометрической тени, действие определяется почти всей плоскостью MM' . В результате интенсивность света (пропорциональная квадрату амплитуды световой волны) на границе геометрической тени в четыре раза меньше, чем в точках освещенной области, удаленных от границы тени.

В этих точках суммарная амплитуда определяется действием центральной зоны и боковых зон, несколько ослабляющих действие центральной зоны из-за противоположной фазы. Однако если точка P удалена от границы геометрической тени на расстояние, равное половине ширины зоны $l \approx \sqrt{\lambda R}$, то суммарная амплитуда в точке P будет несколько больше, чем в более удаленных от границы тени точках, так как для нее экраном будет закрыта только половина боковых зон с одной стороны и их ослабляющее действие уменьшится. Аналогично объясняется появление остальных максимумов, отстоящих от границы геометрической тени на расстояниях $\sqrt{3\lambda R}$, $\sqrt{5\lambda R}$ и т. д. По мере увеличения R все эти максимумы как

бы отталкиваются от края экрана в освещенную сторону пропорционально \sqrt{R} (см. рис. 1, з).

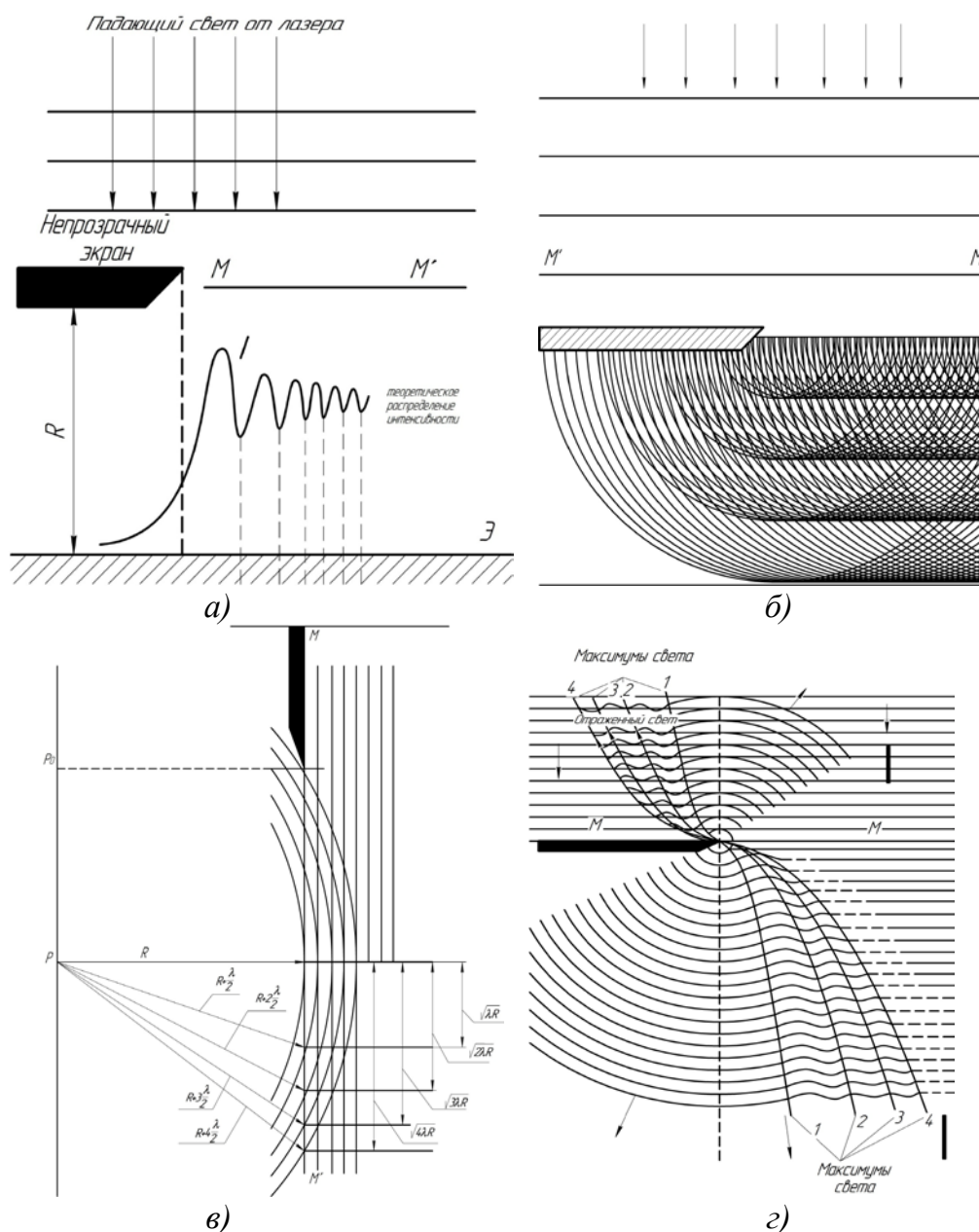


Рис. 1. Схемы распространения световых волн и распределения интенсивности света при формировании дифракционных картин

а) распределение интенсивного света за экраном в плоскости, параллельной волновому фронту: Э — экран; R — расстояние от волнового фронта до экрана;

MM' — волновой фронт;

б) схема формирования дифракционной картины при распространении волн от волнового фронта MM' ;

в) схема формирования дифракционной картины от вторичных волн зон Френеля;

з) схема «отталкивания» световых волн от края экрана в освещенную зону

Дифракционные задачи, в которых нельзя пренебрегать кривизной волновых поверхностей падающей дифрагировавшей волны, называются дифракцией Френеля. При этом источник света и экран, служащий для наблюдения дифракционной картины, находятся на конечных расстояниях от объекта, вызвавшего дифракцию. Аналитический расчет этих задач обычно труден [9, 10, 11].

Дифракция Фраунгофера или дифракция в параллельных лучах решает задачи, в которых источник света и точка наблюдения бесконечно удалены от объекта, на котором происходит дифракция. Этот вид дифракции обычно рассчитывают аналитически.

В условиях производства контроль проволок и отверстий в диапазоне 5 – 150 мкм при помощи *He-Ne* лазера с использованием явления дифракции целесообразно осуществлять по схеме, представленной на рис. 2 [3, 4].

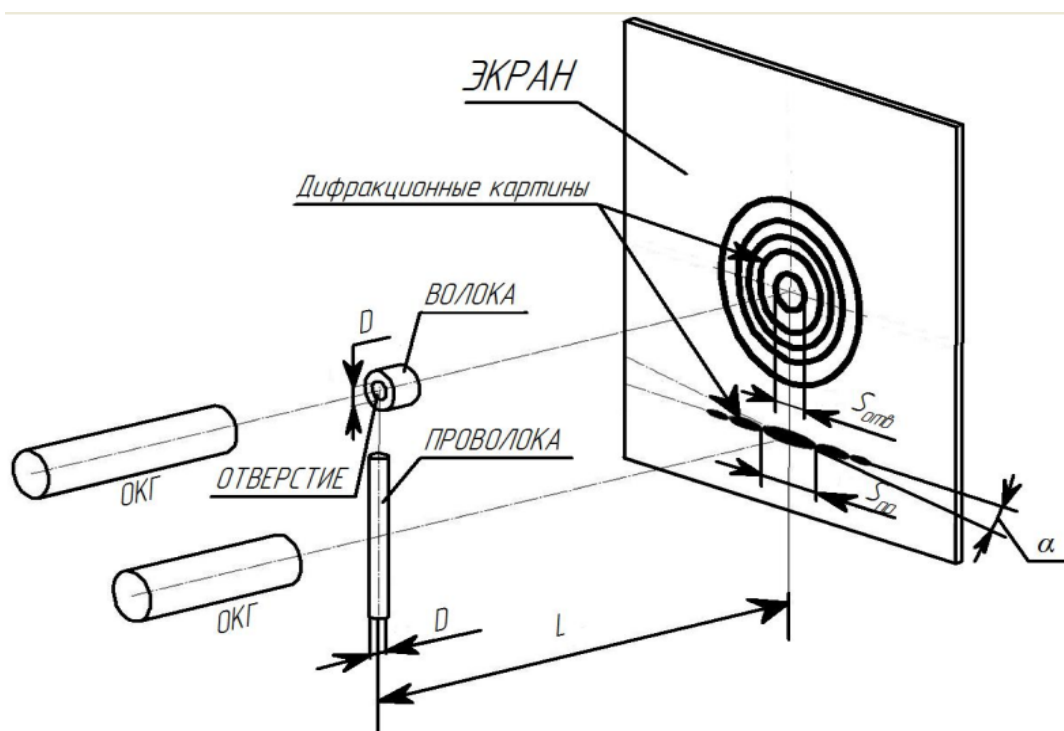


Рис. 2. Схема получения дифракционной картины от отверстия и проволоки

На пути луча ОКГ (лазера), под прямым углом к нему помещается измеряемое изделие на некотором расстоянии L от экрана Э. При этом на экране Э возникает дифракционная картина (рис. 3). Дифракционная картина от отверстия представляет собой ряд concentric окружностей,

а от проволоки — цепочку пятен света [12, 13]. Расстояние S между окружностями и пятнами света зависит от диаметра измеряемого изделия. С уменьшением диаметра изделия D расстояние S между ними увеличивается

$$S = \frac{k\lambda\sqrt{k^2\lambda^2 + 4L + D^2}}{2\sqrt{D^2 - k^2\lambda^2}}; \quad (2)$$

$$D = \frac{\sqrt{L^2k^2\lambda^2 + k^2\lambda^2S^2 - k^4\lambda^4/4}}{S^2 - k^2\lambda^2/4}. \quad (3)$$

Анализ полученной дифракционной картины показывает, что ее можно рассматривать как дифракцию Фраунгофера.

Параметры дифракционной картины рассчитываются аналитически. При этом абсолютная погрешность измерений определяется выражением

$$\Delta D = \sqrt{\left(\frac{D}{L} \cdot \Delta L\right)^2 + \left(\frac{D^2}{\kappa\lambda L} \cdot \Delta R\right)^2 + D^2(1 - \cos \Delta\alpha)^2 + \left(\frac{D^2}{\kappa\lambda L} \cdot \Delta S\right)^2}. \quad (4)$$

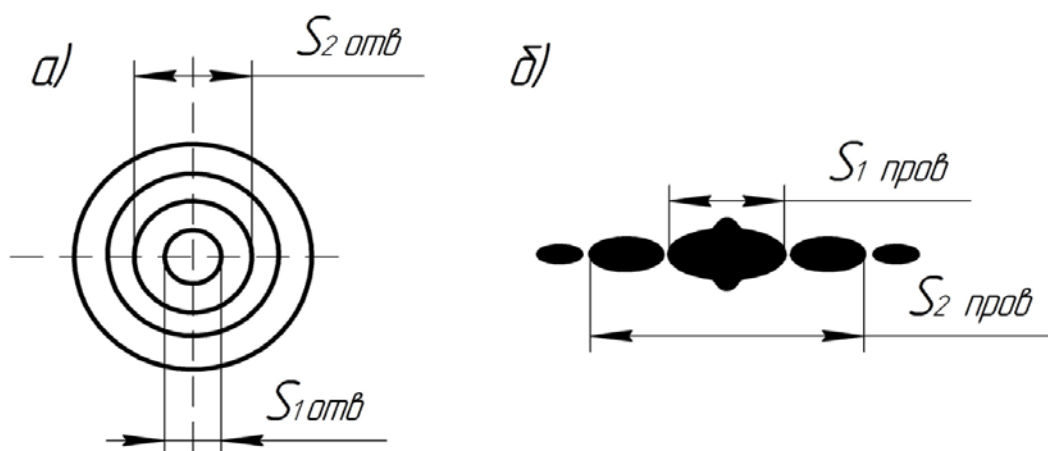


Рис. 3. Контролируемые параметры дифракционных картин от отверстия (а) и проволоки (б)

Относительная погрешность измерения

$$\frac{\Delta D}{D} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{R}{\kappa\lambda L} \cdot \Delta R\right)^2 + D^2(1 - \cos \Delta\alpha)^2 + \left(\frac{D^2}{\kappa\lambda L} \cdot \Delta S\right)^2}, \quad (5)$$

где ΔL — погрешность определения расстояния от объекта измерения до экрана; ΔR — смещение измеряемого объекта относительно оси луча

света; $\Delta\alpha$ — погрешность, вызванная поворотом дифракционной картины относительно линии измерения; ΔS — погрешность измерения расстояния от центра дифракционной картины до минимума освещенности.

Для контроля качества изготовления отверстий в алмазных волокнах, часовых камнях и диаметров проволок созданы специальные установки [14, 15]. В качестве источника излучения применен *He-Ne* лазер, а для измерения размеров дифракционной картины используется катетометр с пределами измерения 0 – 200 мм с точностью 0,01 мм. В качестве фотоэлектрического приемника используется фотоэлемент СФ2 – 5 [4].

Список литературы

1. Артамонов Е. В. Лазерная и голографическая интерферометрия в машиностроении: учебное пособие [Текст] / Артамонов Е. В., Ковенский И. М., Некрасов Ю. И., Поветкин В. В. — Тюмень: ТюмГНГУ, 1995. — 172 с.

2. Утешев М. Х., Серков П. В., Некрасов Ю. И., Гербер В. К. Измерение диаметров отверстий и проволок с применением ОКГ. Отчет по научно-исследовательской теме № 29-73. — Тюмень, ТИИ, 1973. — 20 с.

3. Некрасов Р. Ю. Диагностика процессов нагружения и накопления повреждений инструмента при обработке на станках с ЧПУ: монография / Некрасов Р. Ю., Путилова У. С., Некрасов Ю. И. — Тюмень, 2013. — 120 с.

4. Митрофанов А. С., Фефилов Г. Д. Дифрактометрия изделий на основе пространственно-временной фильтрации дифракционной картины Фраунгофера // Материалы XXX н.-т. конференция проф.-преп. состава ГИТМО. С. Петербург, 25-28 янв. 1999. — 25 с.

5. Некрасов Ю. И. Деформирование и рациональное нагружение сменных режущих пластин сборного инструмента / Некрасов Ю. И. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2010. № 4. — 54-57 с.

6. Лазерное излучение. Под общ. ред. Гранкина В. Я. М., Воениздат, 1977. — 192 с.

7. Некрасов Ю. И. Диагностика деформирования срезаемого слоя и управление нагружением инструмента при точении на станках с ЧПУ / Некрасов Ю. И. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2010. № 4. — 57-61 с.

8. Силич А. А. Геометрические параметры и модель разрушений режущего лезвия инструмента Силич А. А., Утешев М. Х., Некрасов Р. Ю., Путилова У. С., Некрасов Ю. И. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2012. № 2. С. 108-113.

9. Некрасов Р. Ю. Управление обработкой при точении высокопрочных сталей и сплавов на станках с числовым программным управлением Некрасов Р. Ю., Путилова У. С., Некрасов Ю. И. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2011. № 6. С. 113-119.

10. Некрасов Р. Ю. Диагностика процессов нагружения и накопления повреждений инструмента при обработке на станках с ЧПУ. Некрасов Р. Ю., Путилова У. С., Некрасов Ю. И. // Тюмень, 2013.

11. Аблеков В. К., Денисов Ю. Н., Любченко Ф. Н. Справочник по газодинамическим лазерам. — М.: Машиностроение, 1982. — 168 с.

12. Расторгуев Г. А. Технологические процессы машиностроительного производства: учебное пособие / Расторгуев Г. А., Некрасов Ю. И., Кулаков П. В. // Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Тюменский гос. нефтегазовый ун-т». Тюмень, 2007.

13. Сырцева О. В. Использование метода лазерной дифрактометрии для контроля малоразмерных объектов / Сырцева О. В., Утешев М. Х., Некрасов Р. Ю., Амальгамбетова Д. С. // Нефть и газ Западной Сибири: материалы Международной научно-технической конференции. Дополнение. — Тюмень: ТюмГНГУ. 2013. — 80 с.

14. Zalecky V. I. Dynamic measument of wire Diameter. Wire Journal, 1972, vol. 5, № 6, p.p. 36-42.

15. West P. On line gange for wire and filre diameter measurement. Meas and Coutr, 1974, vol. 7, № 2, p.p. 45-47.

**Импедансная радиоспектроскопия и
компьютерное моделирование
биомолекулярных пленок**

Величко Е. Н., Черемискина А. В., Зезина Т. И., Цыбин О. Ю.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Создание новых биомолекулярных объектов и изучение их структурных свойств является важной задачей исследований в современной физике, биотехнологии, электронике и других научно-технических направлениях [1]. Актуальные исследования пространственной структуры и динамики белковых молекул и молекулярных систем основаны на экспериментальной методике возбуждения электромагнитным полем и выявлении закономерностей активированной релаксации, а также на компьютерном моделировании [2-4]. В частности, радиоспектроскопические исследования диэлектрических свойств молекулярных растворов и пленок на поверхности твердого тела позволяют получать информацию о молекулярной структуре, межмолекулярных взаимодействиях, кинетике и механизмах агрегации и других молекулярных процессов [2-4]. В данной работе приведены результаты исследования радиоимпедансных характеристик различных белковых растворов и пленок, а также построения теоретической модели, описывающей конформационно-дипольную динамику пептидов.

Экспериментальные исследования проводились на измерителе импеданса VM-538 (Tesla, Czech Republic), позволяющем получать информацию о реакции системы на приложенное электрическое поле в диапазоне частот 0,5 – 110 МГц. В качестве экспериментальных образцов использовались водные растворы различных белков (альбумина, глицина, аланина), которые наносились методом микрокапельного распыления на керамическую подложку. В зазоре (протяженностью приблизительно 1 мм) между электродами на подложке образовывалась пленка, покрывающая оба контакта. Концентрация молекул в растворе изменялась в пределах от 10^{-4} до 10^{-1} , рабочая температура составляла 300 К. В процессе измерений

регистрировались модуль импеданса $|Z|$ и угол сдвига фаз между током и напряжением φ на различных частотах.

Проведенные измерения показали, что изученные растворы достаточно крупных глобулярных белков (например, альбумина с молекулярной массой > 60000) не выявляют особенностей в диапазоне частот 0,5 – 110 МГц. В растворах и пленках дипольных аминокислот глицина (молекулярная масса около 75 Да) и аланина (молекулярная масса 89 Да) выявлены нелинейные особенности изменения фазового угла в диапазоне частот от 7 до 20 МГц, свидетельствующие о селективных изменениях структурных свойств пленок при воздействии электрического поля определенной частоты.

Для интерпретации экспериментальных результатов разработана теоретическая модель, учитывающая вклад дипольных моментов, конформационных изменений, смещений и возникновения агрегаций молекул. Моделирование было реализовано для ряда олигомеров полиаланина. Для создания компьютерной модели молекул использовались программа Avogadro и пакеты VMD и NAMD. Сначала создавался psf-файл, содержащий информацию о структуре молекул, затем проводились минимизация энергии системы и последующее изучение построенной модели методом молекулярной динамики. Были исследованы конформационные изменения и эволюция дипольных моментов для единичных молекул в вакууме и водной среде для ряда динамических сценариев с шагом моделирования в 1 фс и временем моделирования от 20 пс до 2 нс, при температурах 200, 300, 400 и 500 К для молекул PolyAla (2-24).

В качестве примера моделирования на рис. 1 представлен график эволюции дипольного момента для модели молекулы одиночного пептида Ala12 в вакууме при температуре 300 К (моделирование проводилось с шагом 1 фс на протяжении 20 пс). Различным значениям дипольного момента модельной молекулы соответствуют конформации пептида, представленные на рисунке выше и ниже графика (отмечены стрелками).

На представленном рисунке можно заметить бифуркационный процесс изменения конформации молекулы и соответствующие ему изменения величины дипольного момента.

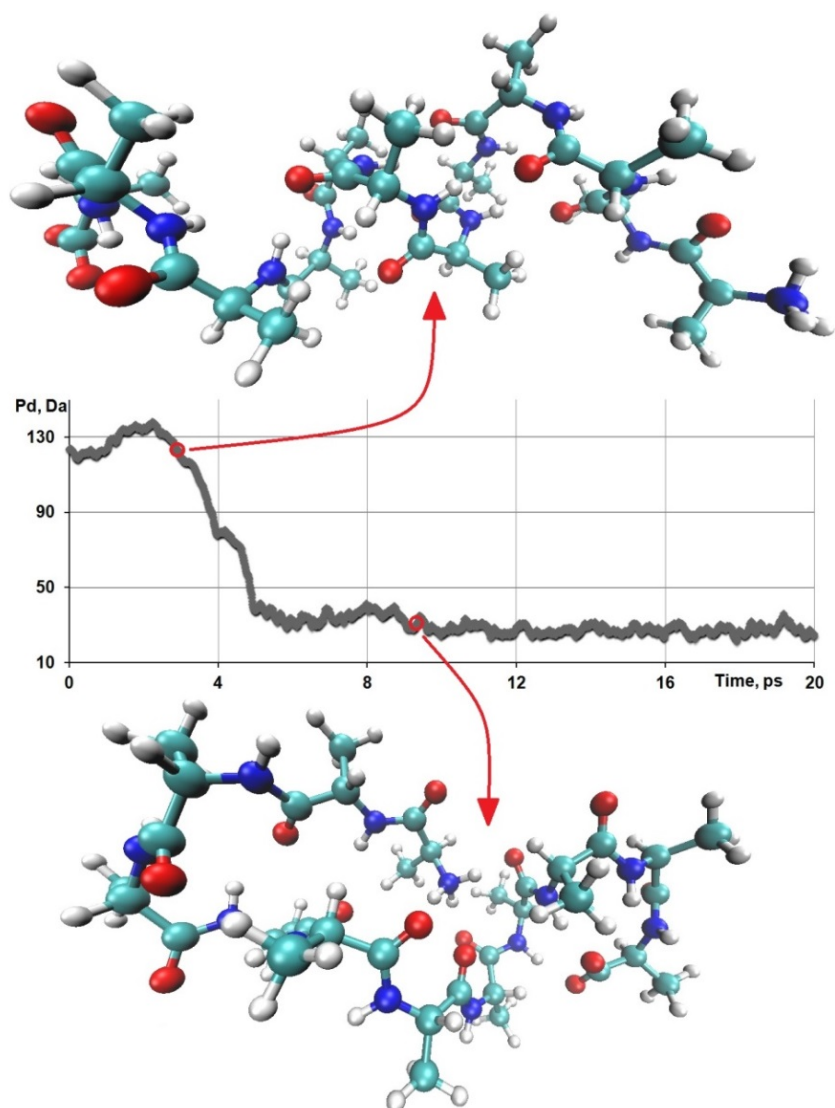


Рис. 1. Временная эволюция значения дипольного момента пептида Ala12 в вакууме при температуре 300 К и примеры конформационных состояний, соответствующих временам 3,84 пс (сверху) и 10,24 пс (снизу)

Можно сделать вывод, что радиоимпедансная спектроскопия позволяет исследовать физико-химические свойства и структурные изменения биомолекулярных комплексов, а моделирование динамики изменения дипольных моментов, соответствующих различным конформационным состояниям, дает возможность интерпретировать полученные данные. Полученные данные экспериментальных исследований и последующего компьютерного моделирования свидетельствуют о применимости представленного подхода для анализа структурных изменений белковых молекул и их агрегатов. Данные имеют предварительный характер, дальнейшие исследования представляются обоснованными и перспективными.

Список литературы

1. Величко Е. Н., Цыбин О. Ю. Биомолекулярная электроника. Введение: учеб. пособие. СПб, Изд-во Политехн. ун-та. 2011. 256 с.
2. Величко Е. Н., Цыбин О. Ю. Исследование и разработка в области молекулярной электроники // Материалы XV Всероссийской конференции «Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах». Том 1. СПб, 2011. стр. 23.
3. Гусев Ю. А. Основы Диэлектрической спектроскопии. Учебное пособие. Казань. 2008. 112 стр.
4. Macdonald J. R. Impedance Spectroscopy. Theory, Experiment, and Applications. 2005. 606 p.

Роль некоммерческих организаций в становлении гражданского общества в России

Волкова А. Н.

*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения*

Некоммерческие организации (НКО) — общий термин для обозначения разнообразных общественных объединений граждан на основе общего интереса в различных сферах общественной жизни [1].

Роль НКО не ограничивается участием в решении внутренних проблем страны. НКО являются элементом международного сотрудничества. В соответствии с Оксфордской энциклопедией, под неправительственной организацией или НПО (NGO) на международном уровне понимается организация, «состоящая из неофициальных представителей государств, что их отличает от международных правительственных организаций» [2]. Исследователи относят к таким организациям структуры межгосударственного сотрудничества в разных областях, например религиозные организации, организации ученых, правовые, молодежные, спортивные организации и др. Неправительственные организации ставят перед собой различные цели. Наиболее мощные из них — крупные профсоюзные федерации: Всемирная федерация профсоюзов, Международная конференция свободных профсоюзов, Международная конфедерация христианских профсоюзов. Некоммерческие организации в рамках отдельного

государства «образуют отдельный сектор, называемый «третьим сектором» (5, с. 3). «Третий сектор» — это понятие, обобщающее в себе весь спектр существующих некоммерческих организаций. В одних странах их называют неправительственными, в других общественными, в третьих — добровольными, благотворительными, неприбыльными. «Секторная модель» общества исходит из экономического критерия и делит всех субъектов, которые принимают участие в создании валового национального продукта, на четыре категории. Критерием является основной источник доходов для развития организации: первый сектор — государственные организации. Основным источником средств для развития — налоги; второй сектор — бизнес. Основным источником средств для развития — прибыль. Третий сектор — неприбыльные некоммерческие организации. Основным источником средств для развития — пожертвования; четвертый сектор — домохозяйства. Основным источником средств для развития — самоэксплуатация членов семьи.

С экономической точки зрения некоммерческие организации являются неотъемлемым элементом нормально функционирующего рыночного хозяйства, так как ставят себе целью реализацию ряда социальных задач и услуг (5, с. 3). Как правило, это не глобальные задачи и проблемы, связанные с поддержкой и обслуживанием нужд социально уязвимых слоев населения, частных задач организации образования, лечения или досуга локальных социальных групп (подростки, инвалиды, пенсионеры), улучшением экологии конкретных регионов или объектов и т. д. Авторы отмечают, что решение этих задач не связывается с большим коммерческим успехом, поэтому не слишком привлекательно для бизнеса. В этом случае НКО выступают как балансир для рыночной экономики развитых стран. В отношении экономически ориентированной деятельности НКО крайне важны ясно очерченные границы их предпринимательской деятельности.

В России некоммерческие организации обладают правом заниматься предпринимательской деятельностью в пределах, необходимых для выполнения их уставных целей. С точки зрения социальной политики, НКО могут быть серьезным дополнением в решении частных задач в области здравоохранения, образования, духовного воспитания, спорта, культуры, охраны природы.

Товарищества: товарищества купцов, ремесленников, студентов, дворянские собрания, союзы и общества в области искусств, издательской

деятельности и т. д. В эпоху СССР весьма массовыми были профсоюзы, комсомол, ДОСААФ, Красный Крест, объединения инвалидов, ветеранов труда и войны, творческие объединения в области кино, литературы, искусства и т. д.

Согласно характеристикам деятельности НКО в России, большая часть организаций — до 15 % — занимаются правозащитой. Около 14 % специализируются на оказании различной помощи детям и молодежи, 10 % процентов работают с инвалидами. Спортом и туризмом, а также культурой и искусством занимается равное число организаций (по 8 %), 7 % ориентированы на экологию, 6 % — это чисто благотворительные организации, по 5 % приходится на НКО, занимающиеся наукой и образованием, а также оказывающие помощь независимым профсоюзам.

Таким образом, на примере конкретного региона мы видим: сектор негосударственных некоммерческих организаций — это не последний городской ресурс и в плане предоставления услуг, и как средство социальной адаптации граждан, канал для проявления их активности, инструмент для артикуляции и защиты интересов и прав.

1. Довженко М. В. Роль неправительственных организаций в урегулировании политических конфликтов современности. / Автореф. канд. дис. — Москва, 2002.

2. Петербургский НКО держат курс на открытость и прозрачность. — [http:// www.kadis.ru](http://www.kadis.ru)

**Исследование взаимодействия мультипротокольной сети
транспортных средств с облачной средой для передачи
коротких экстренных сообщений**

Глазунов В. В., Курочкин М. А.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Типичным способом информирования о ДТП в интеллектуальной транспортной сети является автоматическая передача сообщения от аварийного автомобиля в ситуационный центр экстренных служб средствами аппаратуры систем ЭРА-ГЛОНАСС или eCall [4]. Этот способ обладает рядом недостатков, в частности, отсутствие резервирования канала

передачи сообщений и чувствительность к зоне покрытия глобальной сетью оператора. Решением указанной проблемы является использование каналов связи с экстренными службами через рядом расположенные транспортные средства посредством одноранговой сети передачи данных. Однако в момент передачи сообщения по такой сети возрастает объем служебного трафика, связанный с широковещательной рассылкой, что снижает вероятность доставки сообщения. Эта проблема может быть решена выбором протокола динамической маршрутизации в одноранговой сети.

Построение тестовой зоны с реальными транспортными средствами и приемо-передающими устройствами затруднено в силу сложности реализации реалистичных сценариев поведения транспортных средств, поэтому методом исследования характеристик мультипротокольной сети является имитационное моделирование. Объектами модели являются транспортные средства, движущиеся по дорожной сети с различной скоростью, оснащенные мультипротокольными узлами, значимыми характеристиками которых являются типы протоколов маршрутизации и передачи данных, скорость передачи данных, радиус действия передатчиков и время подключения к сети [3]. С моделью были проведены две серии экспериментов по передаче потоков данных пользователя и экстренных сообщений между абонентами mesh-сети и облачной средой [2] на симуляторе ns-3 [1].

Эксперимент 1. Определение зависимости скорости передачи потока данных коротких сообщений пользователя от максимальной пропускной способности канала.

В начале эксперимента транспортные средства расположены по трассе через равные интервалы дороги, 8 автомобилей движутся в прямом, 8 в обратном направлении. В процессе движения используется модель движения транспорта IDM, средняя скорость движения — 40-50 миль в час. Передачу данных осуществляет автомобиль, отправляющий поток коротких сообщений другому участнику движения.

В ходе эксперимента исследуются режимы передачи коротких сообщений с различными протоколами динамической маршрутизации, что выявляет зависимость скорости передачи данных пользователя от используемого протокола маршрутизации. Для моделирования передачи

UDP трафика со скоростями 8, 32, 64, 128, 512, 1024, 2048 Кбит/сек, в качестве протоколов динамической маршрутизации использовались протоколы OLSR, DSDV, AODV, HWMP [5], при фиксированном размере пакета, равном 1024 байтам. Значения параметров модели приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения параметров модели для первого эксперимента

| Тип параметра: | Значение: | Тип параметра: | Значение: |
|-----------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|
| тип сети | 802.11s | направление движения | двустороннее |
| число узлов сети | 16 | скорость передачи данных | 8-2048 Кбит/сек |
| параметры трассы | длина 800 м | размер сообщений | 1024 байта |
| число поворотов | 4 (90 градусов) | протоколы маршрутизации | HWMP, OLSR, AODV, DSDV |
| число проезжих частей | 2 | протокол передачи данных | UDP |
| число полос | 2 | тип трафика | одноадресный |

Снижение скорости передачи данных пользователя составило от 5 до 37 процентов (рис. 1). Значительное падение скорости передачи данных пользователя, на 37 %, наблюдается на скоростях более 1024 Кбит/сек. (рис. 2). Это обусловлено увеличением числа передаваемых пакетов при постоянном их размере, что вызывает увеличение числа запросов на поиск маршрутов для передачи.

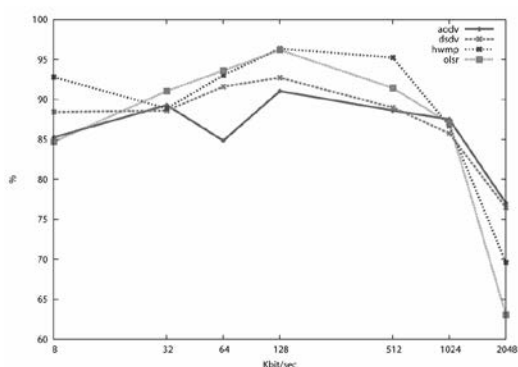


Рис. 1. Зависимость доли доставленных пакетов пользователя от скорости передачи данных и типа протокола маршрутизации

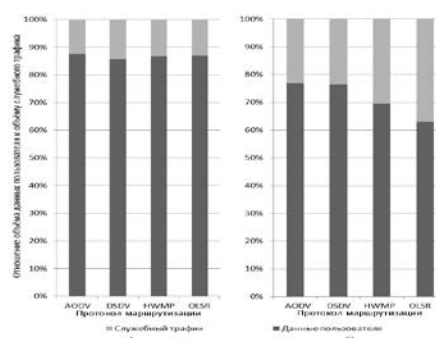


Рис. 2. Соотношение объема данных пользователя к объему служебного трафика для протоколов AODV, DSDV, HWMP, OLSR на скоростях а) 1024 Кбит/с б) 2048Кбит/с

Наилучшие результаты на потоках большой интенсивности демонстрируют протоколы AODV и DSDV. Для передачи коротких сообщений с малой интенсивностью наилучшие результаты демонстрируют протоколы OLSR и HWMP. Это обусловлено тем, что протоколы AODV и DSDV являются реактивными протоколами маршрутизации и устанавливают маршрут до адресата по требованию, что исключает постоянный обмен таблицами изменения маршрутов. Протоколы HWMP и OLSR, являясь проактивными протоколами, требуют постоянной актуализации таблицы маршрутизации, в ходе которой абоненты обмениваются сообщениями о топологии сети.

Эксперимент № 2. Исследование зависимости доли доставленных пакетов от скорости движения транспортных средств в мультипротокольной сети.

В начале эксперимента транспортные средства расположены по трассе через равные интервалы дороги. В первой части эксперимента участниками движения являются 8 или 16 транспортных средств. Количество полос на дороге — 2. В процессе движения используется модель движения транспорта IDM, средняя скорость движения от 10-100 миль в час. Передачу данных осуществляет неподвижный аварийный автомобиль отправляющий поток экстренных сообщений через других участников движения в облако. В первой части эксперимента выходом в облако оснащен только один автомобиль, во второй части эксперимента число выходов в облако меняется от 1 до 4. Значения параметров модели приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения параметров модели для второго эксперимента

| Тип параметра: | Значение: | Тип параметра: | Значение: |
|-----------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|
| тип сети | 802.11s, LTE | направление движения | одностороннее |
| число узлов сети | 8, 16 | скорость передачи данных | 8-2048 Кбит/сек |
| параметры трассы | длина 800 м | размер сообщений | 1024 байта |
| число поворотов | 4 (90 градусов) | протоколы маршрутизации | HWMP |
| число проезжих частей | 2 | протокол передачи данных | UDP |
| число полос | 2 | число интерфейсов LTE | 1-4 |

График зависимости процента потерь пакетов от скорости транспортных средств, приведенный на рис. 3, позволяет сделать вывод об устойчивой работе сети на скоростях транспортных средств до 50 миль/ч., а при скорости движения автомобиля 100 миль/ч. процент потерь сообщений составляет от 78 до 92 процентов, что означает потерю работоспособности сети. С увеличением плотности транспортных средств на 100 метров трассы скорость доставки сообщений растет, что происходит благодаря формированию альтернативных путей передачи данных в облако.

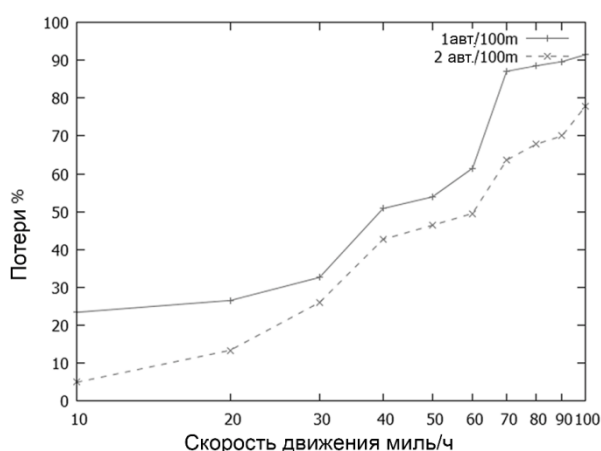


Рис. 3. Зависимость процента потерь сообщений, передаваемых аварийным автомобилем, от плотности и скорости движения транспортных средств

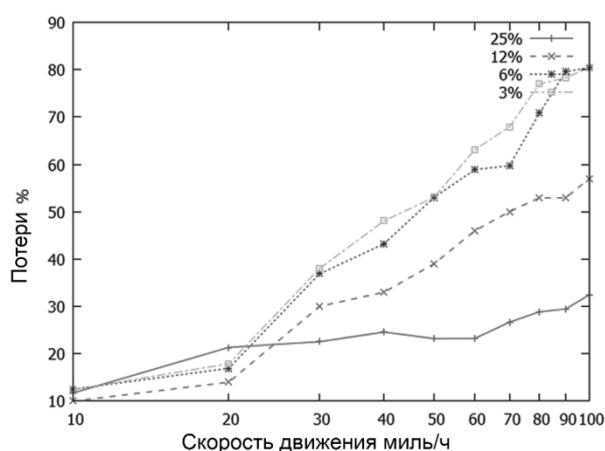


Рис. 4. Зависимость доставленных сообщений от скорости движения и числа транспортных средств, оснащенных интерфейсом LTE

В результате исследования можно сделать вывод, что для передачи коротких сообщений на скоростях менее 1024 Кбит/с, следует применять протокол проактивной маршрутизации HWMP, а при высоких скоростях передачи данных — реактивные протоколы (AODV или DSDV).

В случае высоких скоростей движения транспортных средств и малой плотности автомобилей, технологии mesh недостаточно, и требуется расширение сети новыми технологиями передачи данных, например, LTE.

Для успешного применения мультипротокольной сети, необходимо оснастить устройствами LTE не менее 25 % транспортных средств, что снизит долю потерь сообщений при передаче данных на высоких скоростях движения транспортных средств.

Список литературы

1. Hemanth Narra, Yufei Cheng, Egemen K. Cetinkaya, Justin P. Rohrer, and James P. G. Sterbenz. Destination-sequenced distance vector (DSDV) routing protocol implementation in ns-3. In Proceedings of the 4th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques, SIMUTools '11, pages 439-446, ICST, Brussels, Belgium, Belgium, 2011. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
2. Kirill Andreev and Pavel Boyko. Ieee 802.11s mesh networking ns-3 model, 2013.
3. Kurochkin Mihail, Glazunov Vadim, Kurochkin Leonid and Popov Sergey. Instrumental environment of multi-protocol cloud-oriented vehicular mesh network. In 10th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO), 2013.
4. Kurochkin Mihail, Glazunov Vadim, Kurochkin Leonid and Popov Sergey. Road traffic efficiency and safety improvements trends. In 10th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO), 2013.
5. Nikunj R. Nomulwar, Mrs. Varsha Priya J. N., Dr. B. B. Meshram, Mr. S. T. Shinghade. The International Journal of Computer Science & Applications. Comparison of performance of routing protocol in Wireless Mesh Network.

**Дифференциальный алгоритм комплексной
эхографической диагностики мягкотканых опухолей,
происходящих из жировой ткани**

Грызунов В. В.,
Зайцев А. Н.

*ГБОУ ВПО ПСПбГМУ им. И. П. Павлова Минздрава России,
г. Санкт-Петербург,
ФГБУ «НИИ онкологии им. Н. Н. Петрова»,
г. Санкт-Петербург*

С целью уточнения алгоритма дифференциальной диагностики злокачественных и доброкачественных новообразований жировой ткани [1], исследованы 333 пациента с верифицированными 237 (71,2 %) липомами и 96 (28,8 %) липосаркомами, располагавшимися на конечностях (55,6 %),

туловище (37,8 %), шее (6,3 %) и голове (0,3 %). Размеры образований колебались от 10 до 85 мм, а глубина их залегания — от 0,5 до 45 мм. Исследования проводили на ультразвуковых аппаратах Hitachi HI Vision 900, Logiq-400, Aloka-650, Aloka-2000 с использованием датчиков 5-13 МГц. В каждом конкретном наблюдении осуществляли серошкальное ультразвуковое обследование [2, 3]. 105 больным с доброкачественными и 67 пациентам со злокачественными новообразованиями проводили доплерографию, включавшую в себя цветное доплеровское картирование, энергетическую и спектральную доплерографию. 23 обследуемым выполнена ультразвуковая эластография. При серошкальном ультразвуковом исследовании выявлены характерные признаки для эхоструктуры липом, что позволяло проводить дифференциальную диагностику между липосаркомами и доброкачественными образованиями мягких тканей. Ведущим серошкальным эхографическим симптомом липом являлась гомогенная слоистость с чередованием гипоэхогенных или изоэхогенных участков жировой ткани на фоне гиперэхогенных фиброзных перегородок (тяжей). Около 15 % липом имели неоднородную структуру с очаговыми участками гипоэхогенной плотности, что не позволяло исключить злокачественный процесс. 5 % больных с верифицированными высокодифференцированными липосаркомами при серошкальном сканировании имели ультразвуковые признаки доброкачественных образований. Ровность, четкость контура образования и размеры опухоли не являлись патогномоничными эхосимптомами в распознавании характера патологии, так как диффузным липомам и липосаркомам были присущи неровность и нечеткость контуров. Дополнительные акустические феномены лишь отражали возможные включения извести, интенсивность фиброза в липомах, участки некроза в липосаркомах. В 98 случаях при цветном доплеровском и энергетическом картировании в липомах преимущественно отмечали ультразвуковую картину, характерную для обычных жировых долек и кровотоков в них спектрально измерили лишь в 4,8 %. Скорость потока крови в липомах не превышала 6 см/сек. Но лишь в 4 наблюдениях при цветном доплеровском картировании (с дифференциацией сосудов диаметром до 2 – 3 мм) были выявлены нетипичные для липом эхо-признаки. Размеры данных доброкачественных новообразований превышали 50 мм. В 88 %

наблюдениях липосаркомы обычно имели более насыщенную васкуляризацию. Однако у 12 % больных злокачественные опухоли мягких тканей характеризовались отсутствием выраженного кровотока, что не позволяло убедительно распознать их характер. Ультразвуковая эластография липом продемонстрировала характерные результаты эхо-картирования и низкие (до 3) значения коэффициента жесткости, присущие жировой ткани, за исключением эластографических данных двух образований с крупными включениями извести, что способствовало повышению коэффициента жесткости (до 25). И только две липосаркомы, не проявившие злокачественности при других ультразвуковых диагностических методах, оставили сомнения о характере структуры во время эластографии.

Таким образом, комплексный подход, состоящий из двух этапов, в дифференциации злокачественных и доброкачественных *мягкотканых* новообразований, *происходящих из жировой ткани, существенно* увеличивал количество правильных заключений по сравнению с отдельно взятыми методиками. На первом этапе комплексного ультразвукового обследования осуществляли проведение традиционной серошкальной эхографии, учитывающей структурные особенности образования, которые могут лежать в основе дифференциации опухолевых структур (равномерная слоистость на протяжении всего объема образования) или способные влиять на результативность других диагностических методов (большие размеры — на возможность доплерографического обнаружения сравнительно крупных сосудов в доброкачественном образовании; наличие крупных кальцинатов — на повышение показателей эластографического коэффициента жесткости). На втором этапе выполняли доплеровское картирование, энергетическую и спектральную доплерографию. Третий этап завершали проведением модифицированной ультразвуковой эластографией, что существенно повышало результативность эхографической диагностики.

Список литературы

1. Зайцев А. И., Грызунов В. В. Алгоритм дифференциации опухолей мягких тканей при серошкальной эхографии // Высокие интеллектуальные технологии и инновации в национальных исследовательских университетах. — СПб., 2013. — Т. 3. С. 39-40.

2. Грызунов В. В., Зайцев А. Н., Негусторов Ю. Ф., Атавина О. А. Результаты изучения эластографической симптоматики опухолей мягких тканей и ее роль в диагностическом процессе // *Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах*. — СПб., 2012. — Т. 3. С. 118-120.

3. Грызунов В. В., Зайцев А. Н. Комплексное проведение биопсии мягких тканей с применением ориентационного устройства // *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. — 2007. — № 2. С. 188-190.

Система дистанционного функционального мониторинга состояния оператора автоматизированной системы в горнодобывающей промышленности

Грызунов В. В., Климентьев П. Ю., Тамышев И. С.

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург

Высокая аварийность в отечественной угольной промышленности, сопровождающаяся материальными потерями, предопределила необходимость внедрения интегрированных автоматизированных информационно-измерительных систем для обеспечения безопасности на угольных шахтах [1,2]. Использование подобных аналитических комплексов привело к резкому снижению числа аварий в ведущих угледобывающих странах Европы. На отечественных угледобывающих шахтах используются многофункциональная измерительная система «Granch», на базе которой успешно функционируют системы аэрогазового контроля, автоматизированного управления конвейерным транспортом, шахтным водоотливом, энергоснабжения, наблюдения, оповещения и поиска людей, застигнутых аварией. И вся разнообразная визуальная, аудиальная информация в виде числовых, графических, текстовых, звуковых данных передается на пульт диспетчера, обеспечивая формирование алгоритма действий в экстремальной ситуации. Поэтому специфика профессиональной деятельности оператора автоматизированной системы мониторинга технологических процессов на шахтах, требующая принятия ответственных решений в условиях риска, неопределенности, жесткого дефицита времени и информации, предъявляет высокие требования к личностным ресурсам и

психофизиологическим возможностям человека и обуславливает необходимость не только профессионального отбора, подготовки, но и мониторинга надежности функционирования организма человека-оператора [3]. Ибо в ситуациях неопределенности при жестком лимите времени формируется психофизиологический прессинг на человека-оператора, индуцирующий выбор стратегии личностно-ситуационной формы совладающего поведения, определяющий надежность функционирования организма, которая проявляется не как биостатический параметр, а как ситуационный оптимум функционирования в заданных пределах с последующим восстановлением к исходным параметрам. Ситуативная норма-реакции в ответ на действие внешних факторов сопряжена у человека-оператора с поведенческим паттерном, который формируется на основе копинг-ресурсов, личностных особенностей и когнитивной оценки ситуации, определяет «цену» адаптации. Результативность совладания с негативной ситуацией зависит от личности субъекта, реальной ситуации и ее оценки личностью. Оперативный контроль за состоянием диспетчера, профессионально связанного с выполнением ответственных задач в различных сферах управления, требует разработки соответствующих дистанционных аппаратно-программных средств мониторинга. Эти автоматизированные системы обеспечивают возможность оперативного контроля за состоянием основных физиологических систем жизнеобеспечения человека в режиме мониторинга, беспроводной передачи информации в условиях помех, формирования базы данных для расчета профессионального риска срыва адаптации, а также обладать высокими отказоустойчивыми характеристиками.

Таким образом, применение системы дистанционного функционального мониторинга состояния оператора автоматизированной системы в горнодобывающей промышленности позволит снизить риск развития дезадаптивной формы совладающего поведения и уменьшить вероятность развития техногенной аварии.

Список литературы

1. Саркисов А. А. Феномен восприятия общественным сознанием опасности, связанной с ядерной энергетикой // Научно-технические ведомости СПбГПУ. — 2012. — Т. 2, Вып. 3(154). — С. 9-21.

2. Шатилов С. В., Васильев В. В. Меры предупреждения обрушений пород в горных выработках угольных шахт // Безопасность труда в промышленности. — 2014. — № 1. — С. 26-28.

3. Грызунов В. В. Надежность — интегративная характеристика живой системы // Научные исследования и инновационная деятельность: Материалы научно-практической конференции. — СПбГПУ, 2008. — С. 147-152.

Уязвимость поведенческого паттерна личности при реализации копинг-стратегий

Грызунова И. В., Грызунов В. В.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

В ситуациях информационной неопределенности при жестком лимите времени формируется психофизиологический прессинг на человека [1], индуцирующий выбор стратегии личностно-ситуационной формы совладающего поведения, определяющий надежность функционирования организма [2], которая проявляется не как биостатический параметр, а как ситуационный оптимум функционирования в заданных пределах [3]. Ситуативная норма реакции сопряжена поведенческим паттерном, который формируется в процессе индивидуализации и социализации личности и представляет собой алгоритм стереотипных поведенческих реакций [4]. Стремление к разрешению проблемной ситуации основывается на врожденных (неспецифических) формах поведенческих актов, инициирующих включение психологических защит и на приобретенных, дифференцированных (специфических) алгоритмах действия, индуцирующих механизмы формирования копинг-стратегии. Поэтому поведенческий паттерн можно рассматривать как сумму неспецифических и дифференцированных поведенческих алгоритмов, вступающих между собой в сложное координированное взаимодействие и формирующих целостную архитектуру полезного приспособительного поведенческого акта, используемого индивидуумом для преодоления проблемной ситуации. Структура последовательных стереотипных действий включает «восприятие проблемной ситуации — формирование доминирующей мотивационной установки —

включения механизмов интеграции неспецифической и специфической моделей поведения — формирование системы копинг-стратегий результатов действий — реализация программы поведения, направленной на достижение конечного полезного результата». Развертывание доминирующей функциональной системы сопровождается не только функциональными, но и структурными изменениями, отражающими «цену адаптации». Особое значение адаптация приобретает в студенческом возрасте, когда способность адаптироваться к новым учебным требованиям приобретает особую значимость. А успешность приспособления в значительной мере обеспечивается сформированностью механизмов психологической защиты и используемыми стратегиями совладающего поведения. В последнее время многие исследователи обращают внимание на высокую стрессогенность современной образовательной среды, связанную с учебной нагрузкой, формированием нового социально-ролевого статуса, личностным и профессиональным самоопределением. Кроме того, ситуация усугубляется чрезмерным оптимизмом по отношению к собственным личностным ресурсам в период студенчества. Сложившаяся ситуация, предопределила необходимость изучения риска развития дезадаптации у будущих квалифицированных специалистов при формировании совладающей стратегии поведения с целью преодолению трудной жизненной ситуации. В качестве испытуемых в исследовании приняли участие студенты 3-го курса в количестве 57 человек в возрасте от 20 до 22 лет. При обследовании использовали опросник J. H. Amirchan [5] «Coping Strategy Indicator», адаптированный Н. А. Сиротой и В. М. Ялтонским [6], позволяющий выделить три базовые поведенческие стратегии личности — разрешение проблем (СРП), поиск социальной поддержки (СПСП), избегания проблем (СИП), тест Ч. Д. Спилбергера — Ю. Л. Ханина для оценки ситуативной и личностной тревожности. При исследовании устойчивости внимания и затрудненности интеллектуальных процессов испытуемым предлагали в течение фиксированного времени (45 с) отнимать от 200 число 7, указывая вслух остаток от каждого третьего вычитания. Оценивали число произведенных вычитаний и количество совершенных ошибок. Исследовали уровень артериального давления, определяли частоту сердечных сокращений.

В результате обследования было установлено, что наиболее задействованными являются СРП (44 %), СПСП (35 %), а третье место по частоте использования совладающего поведения занимает СИП (21 %), что позволило сформировать три группы обследуемых. Распределение копинг-стратегий по частоте встречаемости указывает на то, что большинство студентов стараются использовать преобразующие стратегии поведения, пытаются совладать с трудными жизненными ситуациями, а не отделиться от них, применяют произвольные проблемно-фокусированные усилия по изменению обстоятельств и становлению собственной личности. В ряду базисных КС среди обследуемых активная форма СРП ($n = 25$) имеет наиболее высокую усредненную оценку и составляет $28,2 \pm 0,5^*$ для СПСП ($n = 20$) искомая величина была равна $24,2 \pm 0,4^*$ а СИП ($n = 12$) — $25,8 \pm 0,6^*$ (* — $p < 0,05$). Учитывая, что состояние тревожности затрагивает психическую, когнитивную, физиологическую сферы личности, высказали предположение, что одной из детерминант становления конструктивных навыков преодоления стресса по типу копинг-стратегии, является уровень тревожности, отражающий и меру риска развития дезадаптивного состояния. Ранжирование обследуемых по группам копинг-стратегий поведенческого паттерна позволило выделить кластеры ситуационной и личностной тревожности. При анализе результатов среди субъектов 3 группы отмечены высокие уровни ситуационной и личностной тревожности по сравнению с аналогичными показателями в других кластерах ($p < 0,05$). Величины ЛТ были сопоставимы лишь в 1 и 3 группах. Высокий уровень личностной тревожности отмечен у успешных студентов с СРП ($54,9 \pm 1,4$), низкий уровень СТ ($37,6 \pm 1,4$) у обследуемых данной группы возможно обусловлен результатом активации механизмов активного вытеснения деструктивных компонентов ситуационного поведения. У обследуемых с превалированием копинг-стратегии «избегания проблем» уровни ситуационной и личностной тревожности были сопоставимы между собой, что, вероятно, обусловлено феноменом «негативного риск-индуцируемого прогноза». Для оценки устойчивости внимания и затрудненности интеллектуальных процессов анализировали число ошибок при устном счете у испытуемых в разных группах. Среди обследуемых 1 и 2 групп процентное отношение числа ошибок к общему количеству выполненных

действий находилось в диапазоне от 28 до 34 %, то среди обследуемых 3 группы эта величина составляла более 42 %. Полученные данные свидетельствуют о том, что среди студентов с КС «избегания проблем» преобладают лица, у которых отмечаются некоторые затруднения в смене целевых направлений, к быстрому и частому переключению внимания с одного вида деятельности на другие. При сопоставлении среднегрупповых показателей обнаружено, что обучающиеся при совладании с негативными ситуационными моментами предпочитали адаптивные стратегии, направленные на разрешение проблемы, социальную поддержку. Выбор форм совладающего поведения отражался и на уровне артериального давления. У студентов со СРП уровень систолического артериального давления колебался в пределах $128,4 \pm 4,5$ мм рт. ст., а диастолического — $78,2 \pm 3,4$ мм рт. ст., частота пульса составляла $84,3 \pm 5,6$ уд./мин. Для обследуемых со СПСП исследуемые параметры соответствовали следующим значениям: $118,3 \pm 5,3$; $70,2 \pm 4,2$ мм рт. ст. и $75,3 \pm 3,3$ уд./мин. Для лиц со СИП основные показатели центральной гемодинамики соответственно составили $108,5 \pm 6,2$ мм рт. ст., $65,7 \pm 4,1$ мм рт. ст. и $63,2 \pm 2,9$ уд./мин. Очевидно, что направленность изменений частоты сердечных сокращений, артериального давления у обследуемых косвенно отражает напряженность регуляторных процессов, которая определяет величину риска срыва адаптации.

Таким образом, большинство студентов используют активные способы решений для разрешения проблемных задач и ситуация риска у них интерпретируется с позиции «риск как шанс» при достаточности копинг-ресурсов. Можно предположить, что детерминантой выбора СРП является конструктивно высокий уровень личностной тревожности и низкий уровень СТ, что побуждает к активному исследованию ситуации, поиску решения и достижению высокого результата. Аналогичная, но менее выраженная тенденция, отмечается и среди студентов, у которых преобладает СПСП. У субъектов 1 и 2 групп наблюдается высокий уровень пластичности нервной системы, обеспечивающий быстрое переключение внимания с одного вида деятельности на другой и с сохранением контроля за ситуацией. У субъектов с копинг-стратегией «избегания проблем» отмечаются высокие уровни СТ и ЛТ, что во многом обусловлено ожиданием неудачи,

которое проявляется беспокойством, мнительностью, напряженностью, преувеличением значимости воспринимаемой информации. У рассматриваемой категории студентов достаточно часто возникают затруднения при быстром переключении внимания с одного вида деятельности на другой и некоторым снижением уровня контроля за ситуацией. Кроме того, выбор копинг-стратегии отражается на напряженности регуляторных процессов, которые определяют величину уязвимости поведенческого паттерна обследуемых.

Список литературы

1. Грызунов В. В. Надежность — интегративная характеристика живой системы // Научные исследования и инновационная деятельность. — СПбГПУ, 2008. — С.147-152.

2. Козлов В. Н., Грызунов В. В., Грызунова И. В. Математические модели и надежность как базовое свойство саморегулирующейся модели // Высокие интеллектуальные технологии и инновации в национально-исследовательских университетах. — СПб., 2013. — Т. 4. — С. 68-73.

3. Грызунова И. В., Ляшок Р. В., Гребнева К. С., Рябинин Д. В. Зависимость стратегии совладающего поведения при преодолении учебных трудностей студентами высших профессиональных учебных заведений от уровня тревожности // Актуальные проблемы патофизиологии — 2014. — СПб., 2014. — С. 35-36.

4. Рябинин Д. В., Грызунова И. В. Стратегия поведения в условиях преодоления трудностей при стресс-индуцируемых состояниях у студентов // Фундаментальная наука и клиническая медицина — человек и его здоровье. — СПб., 2014. — С. 379-380.

5. Amirkhan J. H. A Factor Analytically Derived Measure of Coping: The Coping Strategy Indicator // J. of Personality and Social Psychology. — 1990. — V. 59, № 5. — P. 1066–1074.

6. Сирота Н. А., Ялтонский В. М. Сравнительное исследование особенностей копинг-поведения учителей средних школ, студентов вузов и школьников // Обозрение психиатрии и медицинской психологии им. В. М. Бехтерева. — 1996. — № 2. — С. 193–194.

Разработка метода синтеза поверхностно-модифицированных наночастиц железа с помощью арендиазоний тозилатов

Гусельникова О. А.

*Национальный исследовательский
Томский Политехнический Университет*

Ароматические соли диазония известны как превосходные агенты для модификации различных наноповерхностей. Полученные относительно недавно научной группой Филимонова, арендиазоний тозилаты (АДТ) [1] лишены недостатков классических солей диазония. Стабильные АДТ проявляют высокую реакционную способность в широком ряде превращений, в том числе в процессах модификации. Однако на сегодняшний день известно ограниченное число примеров модификации металлических магнитных наночастиц ароматическими солями диазония. Так же известны методы синтеза ноль валентных наночастиц железа с использованием сложного аппаратного оформления и использования сложных химических систем [2]. Тем не менее, существует необходимость придания нужных свойств поверхностям металлических наночастиц с помощью их модификациями различными функциональными группами. Таким образом, целью моей работы был синтез наночастиц железа и изучение процесса поверхностной модификации с использованием арендиазоний тозилатов.

Нами был осуществлен синтез наночастиц по известной методике Glavee [3]. Модификация осуществлялась при комнатной температуре добавлением водного раствора п-нитроарендиазоний тозилата к свежеприготовленной суспензии наночастиц железа в течение 5-10 минут. Был получен материал со следующими характеристиками (табл. 1).

Таким образом, показано, что АДТ способны модифицировать поверхность наночастиц металлов. Полученные наночастицы со средним размером 10 нм обладают способностью не окислять на кислороде воздуха и остаются стабильными. Разработанная стратегия позволяет синтезировать наночастицы ноль валентного железа быстро и эффективно с заданными свойствами. Мы предполагаем, что разработанный подход позволит получать наночастиц для биомедицинских целей в силу низкой цены на

Таблица 1

Основные характеристики немодифицированных и модифицированных с помощью АДТ наночастиц железа

| Анализ | Материал | |
|--|---|--|
| | Fe-NPs | p-NO ₂ -C ₆ H ₄ -Fe-NPs |
| ИК-спектроскопия | v, [см ⁻¹] | |
| | v _{O-H} = 3059, δ _{Fe-O-H} = 869, v _{Fe-O} = 595 | v _{C-H} = 3100-300, δ _{C-H} = 2000, v _{N=O} = 1300-1400 |
| Рентгенофазовый анализ | Фазы | |
| | 72,2 % - α-FeOOH 27,8% - Fe ⁰ | 100 % - Fe ⁰ |
| Низкотемпературная адсорбция азота (BET) | Удельная поверхность, [м ² /г] | |
| | 66,7 | 92,7 |
| | Средний размер пор, [нм] | |
| | 11,4 | 8,3 |
| ТГА/ДСК/ТГА в атмосфере воздуха | Интервал температур с потерей массы, [°C] | |
| | 100-350 | 200-550 |
| | Потеря массы, [мг] | |
| | 0,46 | 1,26 |
| | Количество привитых функциональных групп, [ммоль/г] | |
| | - | 1.4 |
| Элементный анализ | - | 9 % — углерод и 1,45 % — азот (85,05 % — железо и 14,95 % — органические слои) |

основной прекурсор, использования воды в качестве среды реакции, стабильных ковалентных связей модифицирующего агента с поверхностью наночастиц и возможности варьирования функциональных групп, входящих в состав молекулы.

Список литературы

1. Filimonov V. D. et al., Org. Lett. — 2008. — Vol. 10. — No. 18. — p. 3961— 3964.
2. Farrel D., et al., J. Phys. Chem. B. 2003. — v. 107. — p. 11022-11030.
3. Glavee G. N. et al., Inorg. Chem. — 1995. — v. 34. — p. 28-35.

**Термодинамика восстановления железа
из оксидов водородом и
углеродом с учетом изменения состава вюстита**

Демидов А. И., Маркелов И. А.

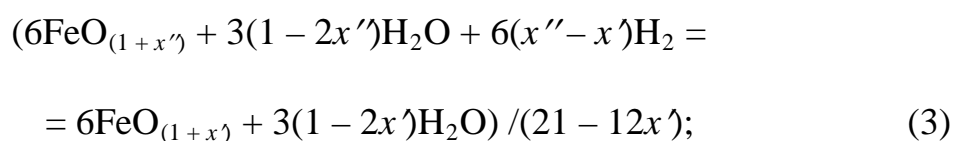
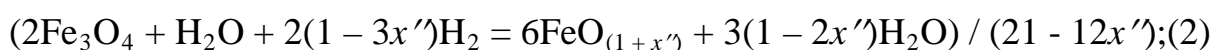
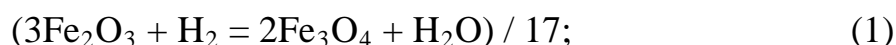
*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

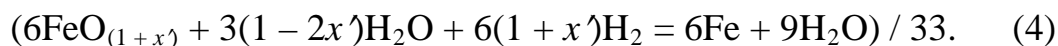
Термодинамический анализ процессов восстановления железа из оксидов водородом и углеродом при высоких температурах представляет интерес в связи с производством чугуна и стали [1, 2], получением железного порошка [3]. В работе проведен термодинамический анализ реакций взаимодействия оксидов железа с водородом и углеродом в интервале температур 900-1600 К с учетом изменения состава вюстита при изменении температуры.

Систему Fe–O–H можно представить в виде концентрационного треугольника. В таком случае термодинамический расчет реакций взаимодействия оксидов железа с водородом представляется целесообразным проводить по сечениям треугольника, проведенным из угла водорода на сторону Fe–O, на соответствующий состав оксида железа, при этом в каждом сечении отношение кислорода к железу остается постоянным.

Для получения сравнимых значений изменения стандартных энергий Гиббса реакций, расчет проводили на 1 моль атомов исходных веществ, как это было выполнено в работах [4, 5]. Исходные данные для расчетов взяты из [6, 7].

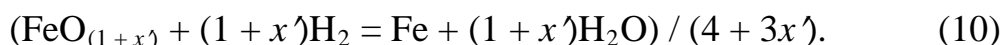
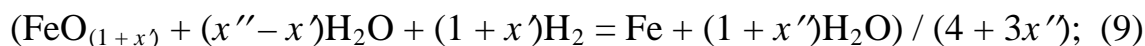
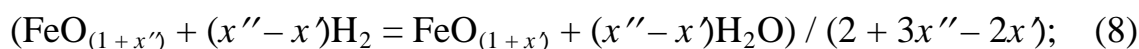
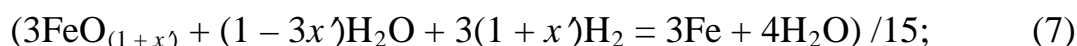
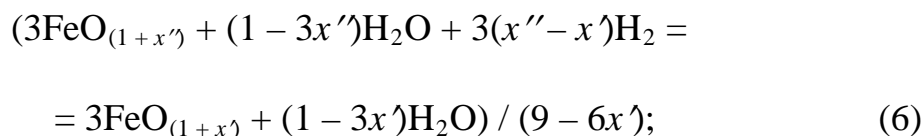
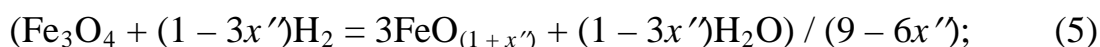
Уравнения реакций восстановления железа из оксида железа (III) водородом на 1 моль атомов исходных веществ могут быть записаны следующим образом:



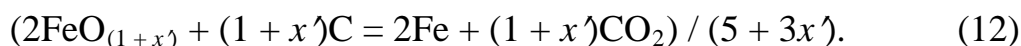
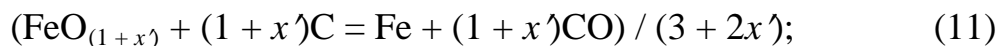


В уравнении реакции (1) отношение кислорода к железу равно 1.500. Для сохранения в уравнениях реакций (2-4) отношения кислорода к железу, равного 1.500, продукты реакций (1-3) являлись исходными веществами для реакций (2-4), соответственно.

Аналогичным образом, с сохранением постоянного отношения кислорода к железу, могут быть записаны реакции (5)-(7) и (8)-(10) восстановления оксида железа (III, II) и вюстита водородом, соответственно:



При восстановлении железа из оксидов графитом газообразными продуктами реакций могут быть оксид углерода (II) и оксид углерода (IV). В этом случае реакции восстановления вюстита углеродом могут быть записаны следующим образом:



Расчет показывает, что при температурах выше 900 К реакции (11), (12) характеризуются меньшими, по сравнению с реакцией (10), значениями изменения стандартной энергии Гиббса (табл. 1).

**Значения изменений стандартной энергии Гиббса
для реакций (10)-(12) в интервале температур 900-1600 К**

| Т, К | $\Delta G^\circ(10)$, кДж/моль | $\Delta G^\circ(11)$, кДж/моль | $\Delta G^\circ(12)$, кДж/моль |
|------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 900 | 1,68 | 4,76 | 3,09 |
| 1000 | 1,46 | -0,40 | 0,47 |
| 1100 | 1,21 | -5,59 | -2,21 |
| 1200 | 1,04 | -10,67 | -4,77 |
| 1300 | 0,80 | -15,86 | -7,48 |
| 1400 | 0,56 | -21,02 | -10,19 |
| 1500 | 0,33 | -26,18 | -12,89 |
| 1600 | 0,11 | -31,33 | -15,61 |

Таким образом, в интервале температур 1000-1600 К углерод является более эффективным восстановителем по сравнению с водородом.

Список литературы

1. Доменное производство: Справ. изд. В 2-х т. Т. 1. Подготовка руд и доменный процесс / Под ред. Вегмана Е. Ф. — М.: Металлургия, 1989. 469 с.
2. Кудрин В. А. Теория и технология производства стали: Учебник для вузов. — М.: Мир, ООО «Изд-во АСТ», 2003. 528 с.
3. Коваленко Л. В., Фолманис Г. Э. Биологически активные нанопорошки железа / Отв. ред. Ю. К. Ковнеристый. — М.: Наука, 2006. 124 с.
4. Демидов А. И. Термодинамика взаимодействия углерода с кислородом [Текст] / А. И. Демидов, И. А. Маркелов // Журнал прикл. химии. — 2005.— Т. 78, № 4. — С. 721–724.
5. Демидов А. И. Термодинамика горения топлива у фурм доменной печи [Текст] / А. И. Демидов, И. А. Маркелов // Журнал прикл. химии. — 2005. — Т. 78, № 9. — С. 1565–1567.
6. Barin I., Knacke O., Kubaschewski O. Thermochemical properties of Inorganic Substances. New York: Springer-Verlag, 1973. 921 p.
7. Демидов А. И. Термодинамика взаимодействия магнетита и вюстита с монооксидом углерода с учетом изменения состава вюстита при изменении температуры [Текст] / А. И. Демидов, И. А. Маркелов // Научно-техн. ведомости СПбГПУ. Наука и образование. — 2013. — № 1. — С. 166-169.

**Международно-правовое сотрудничество
Российской Федерации и Королевства Испании**

Долгополова Т. А., Снетков В. Н.

*Санкт-петербургский государственный
политехнический университет*

На современном этапе, в условиях сложной геополитической обстановки весьма полезно будет вспомнить давних долгосрочных партнеров России на Европейском пространстве, как в области культурных связей, так и в области образовательной деятельности. Отношения между Россией и Испанией имеют стабильный взаимовыгодный характер, поддерживается регулярный политический диалог, расширяются образовательный контакты университетов не только столичного уровня, например, Мадрида, но и регионального, таких как Гранада, Саламанки, Барселона. Традиционно поддерживаются отношения Испания – Россия в рамках Конгресса МАПРЯЛ, Профессора и преподаватели ФБГОУ ВПО СПбГПУ успешно принимали участие в деятельности Конгресса МАПРЯЛ в 2011 г. в Гранадаком Университете. В будущем 2015 г. состоится очередной Конгресс МАПРЯЛ, объединяющий различные аспекты развития сотрудничества в области развития русского языка в гуманитарных науках, высшем образовании и просвещении обоих государств [3].

Точкой отсчета нынешнего этапа развития двусторонних связей можно считать 27 декабря 1991 г., когда Королевство Испания признала Российскую Федерацию в качестве правопреемницы и продолжателя Советского Союза. Юридической основой испано-российского взаимодействия стал подписанный в Мадриде 12 апреля 1994 г. Договор о дружбе и сотрудничестве. Первоначально имевший 10-летний срок действия, этот основополагающий документ впоследствии регулярно продлевался и по сей день служит целям, зафиксированным в его тексте.

В настоящее время испано-российские отношения развиваются в самых различных сферах и охватывают практически все стороны межгосударственного взаимодействия.

Наиболее значимым, можно сказать основой дальнейших правовых соглашений, регулирующий торгово-экономическое сотрудничество

между Россией и Испанией, является межправительственное Соглашение об экономическом и промышленном сотрудничестве, подписанное в Мадриде 12 апреля 1994 г. [1].

Уже через два года, 25 марта 1996 года — министр юстиции России и посол Испании в Москве подписали Соглашение о сотрудничестве в юридической области [2].

21 мая 1996 года — Государственная Дума ратифицировала Договор между СССР и Испании об оказании правовой помощи по гражданским делам от 26 октября 1990 года.

Кроме того, к нормативной базе двусторонних торгово-экономических отношений следует отнести Конвенцию об избежании двойного налогообложения и предотвращения уклонения от уплаты налогов на доходы и капитал, подписанную в Мадриде 16 декабря 1998 г. [1] Данный правовой документ создает широкие возможности для инвестирования капитала в двусторонних масштабах, расширяет просторы российского предпринимательства в Испании, и испанского в Российской Федерации.

13-14 июня 2000 г. состоялся официальный визит в Испанию Президента Российской Федерации В. В. Путина. Глава российского государства провел встречи с королем Испании Хуаном Карлосом I, продолжительные переговоры с Председателем Правительства Испании Х. М. Аснаром, беседу с Председателем Конгресса депутатов Л. Ф. Руди.

В результате успешных переговоров о сотрудничестве были подписаны ряд договоров, затрагивающих различные аспекты двусторонних отношений:

- Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Королевства Испания о сотрудничестве и взаимной помощи в таможенных делах.

- Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Королевства Испания о сотрудничестве в области предупреждения стихийных бедствий и взаимной помощи при ликвидации их последствий.

- Межправительственные соглашения о сотрудничестве в таможенной сфере, в области предупреждения стихийных бедствий и взаимной

помощи при ликвидации их последствий, а также три межведомственных документа.

21-23 мая 2001 г. состоялся официальный визит в Россию Председателя Правительства Испании Х. М. Аснара. Испанский премьер провел обстоятельные переговоры с Президентом Российской Федерации В. В. Путиным и Председателем Правительства России М. М. Касьяновым, встретился с Председателем Совета Федерации Федерального Собрания Е. С. Строевым и Председателем Государственной Думы Г. Н. Селезневым. В результате плодотворной работы в рамках визита были подписаны:

- Соглашение между Российской Федерацией и Королевством Испания о морском судоходстве.
- Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Королевства Испания о международном автомобильном сообщении.
- Меморандум о взаимопонимании между Правительством Российской Федерации и Правительством Испании (о частичном погашении долга бывшего СССР Испании поставками российских товаров и услуг) [3].

В целях дальнейшего развития российско-испанских отношений 2011 г. объявлен Годом России в Испании и Годом Испании в России. В соответствии с программой в обеих странах в 2011 г. было проведено порядка 400 мероприятий, старт которым был дан 25 февраля в Санкт-Петербурге, где чета испанских монархов открыла в Эрмитаже выставку произведений искусства из собрания мадридского музея Прадо.

На современном этапе двусторонние российско-испанские отношения находятся на подъеме и имеют обширную договорно-правовую базу: за четверть века заключено около 60 договоров и соглашений, регулирующих различные сферы сотрудничества от научного обмена до разностороннего научно-технического сотрудничества в сфере высоких технологий.

В последнее время в российско-испанских отношениях произошли качественные изменения. Они ознаменовали собой новый этап дальнейшего сближения, опирающегося на общие европейские и христианские

ценности и на совместное восприятие самых острых международных вызовов и угроз. Российская Федерация и Королевство Испания считают, что борьба с терроризмом, незаконным оборотом наркотиков и организованной преступностью являются новыми приоритетами международного и двустороннего сотрудничества. Ключевое значение в переговорах уделяется аспектам нераспространения оружия массового уничтожения и снижению уровней вооружений в интересах обеспечения мира и международной безопасности на европейском континенте и регионе Средиземноморья.

Стороны считают, что сегодня открывается историческая возможность продвинуться по пути формирования в Европе пространства многомерного сотрудничества без разделительных линий. Путь к этой цели лежит через укрепление демократических институтов при уважении прав человека, поддержке экономических и социальных реформ в целях консолидации общего европейского пространства, через сотрудничество в области юстиции и правоохранительной сфере, развитие политического диалога, взаимодействие в сфере безопасности, предотвращения конфликтов и урегулирования кризисных ситуаций, через усилия в области окружающей среды, энергетики и ядерной безопасности.

Российская Федерация и Королевство Испания выступают также за взаимодополняемость организаций, действующих на евроатлантическом пространстве.

Обе стороны стремятся к безотлагательному, справедливому и прочному урегулированию региональных конфликтов, в частности, на Ближнем Востоке, Балканах, Восточной Европе.

Россия и Испания отмечают, что развитие торгово-экономического и инвестиционного сотрудничества между ними отражает появление в России новых возможностей, открывшихся в результате последовательного укрепления социально ориентированной рыночной экономики. Королевство Испания намерена использовать эту позитивную тенденцию для расширения присутствия испанских предприятий на российском рынке и роста испанских инвестиций в российской экономике.

Обе стороны выступают также за углубление двустороннего межпарламентского сотрудничества, которое имеет нарастающую динамику.

На современном этапе, несмотря на довольно сложный исторический период отношений между Европейским Союзом и Российской Федерацией, начиная с марта 2014 г. по конец апреля 2014, Российской Федерацией и Испанской монархией поддерживаются контакты, которые в последние годы приняли особенно масштабный характер. Россия и Королевство Испания в своем дальнейшем сотрудничестве намерены всемерно способствовать дальнейшему расширению долгосрочных связей в сфере культуры, науки и образования, взаимодействие по линии гражданского общества, развития туризма.

Российская Федерация и Королевство Испания убеждены в том, что накопленный опыт сотрудничества между ними является надежной основой и отражает обоюдную политическую волю, которой они намерены руководствоваться и впредь в интересах укрепления отношений между двумя государствами и народами.

Список литературы

1. Соглашение между Российской Федерацией и Королевством Испания о морском судоходстве. Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Королевства Испания о международном автомобильном сообщении. // Собрание Законодательства Российской Федерации № 1268. 2011

http://www.perspektivy.info/rus/desk/rossijsko-ispanskije_otnosheniya_sostojaniye_i_perspektivy_2014-03-04.htm

2. Меморандум о взаимопонимании между Правительством Российской Федерации и Правительством Испании (о частичном погашении долга бывшего СССР Испании поставками российских товаров и услуг) // Собрание Законодательства Российской Федерации» 1071. 1995 г.

http://www.perspektivy.info/rus/desk/rossijsko-ispanskije_otnosheniya_sostojaniye_i_perspektivy_2014-03-04.htm

3. Программа международного форума «Россия и Испания: тенденции сближения и перспективы сотрудничества» в рамках года России в Испании и года Испании в России

<http://www.ugr.es/local/fororusiaespana2011>

Гранада, 7-9 сентября 2011 г.

Оценка влияния градиента температур в частицах сланца на описание их термолиза

Захаров В. Ю., Щелкунова П. И.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Всплеск интереса к сланцевому газу и использованию сланцев делает актуальными результаты исследований этих энергоресурсов. В течение многих лет в Политехническом университете группа исследователей под руководством В. В. Померанцева и Ю. А. Рундыгина провела теоретическое, экспериментальное, опытно-промышленное и промышленное исследование сланцев [1]. В частности, были подробно изучены процессы термолиза органической и минеральной частей сланца, определены кинетические параметры термического разложения компонентов и выхода отдельных газов. Одним из недостаточно изученных вопросов, что отмечалось и самими авторами, осталось влияние на результаты градиента температур в реагирующих частицах. Величины градиентов в зависимости от размеров частиц, их свойств и скоростей нагрева были рассчитаны в предыдущих работах и варьировались от 5,7 до 12,2 К для частиц от 20 до 300 мкм, попадающих в среду с температурой от 1000 до 1500 К. С точки зрения Уэндландта корректное использование кинетических уравнений возможно лишь, если градиент температур в частице не превышает 3 К [2]. Следовательно, при практическом использовании предложенных уравнений и параметров возможны отклонения расчетных зависимостей от экспериментальных. Для оценки этих отклонений нами проведены расчеты кинетики выхода отдельных газов при термолизе сланца (C_nH_m , CH_4 , CO , H_2 , CO_2) по краям температурного интервала градиентов, определены кинетические параметры и погрешности к ним. Расчеты проводились по уравнению

$$\alpha = 1 - \left\{ 1 - (1-n) \cdot \frac{k_0}{q} \cdot \left[\frac{RT}{E} - 2 \cdot \left(\frac{RT}{E} \right)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{1-n}},$$

которое получается интегрированием формально-кинетического уравнения:

$$\frac{d\alpha}{dt} = k_0 \cdot \exp\left[-\frac{E}{RT(t)}\right] \cdot (1-\alpha)^n$$

при постоянной скорости нагрева и разложением в ряд оставшегося температурного интеграла.

Эксперименты и расчеты показали, что выход CO , H_2 и CO_2 до того момента, когда температура частиц практически сравнивается с температурой окружающей среды, не превышает 2 – 6 %. Иная ситуация с выходом C_nH_m и CH_4 , заметная часть которых (до 90 % для крупных частиц при температурах среды ~ 1500 К) выделяется в неизотермических условиях при высоких скоростях нагрева. В них и возникают максимальные градиенты.

В работе также проверена применимость к случаю значительных градиентов предложенной ранее простой зависимости

$$\ln T_\alpha = A \ln q + B,$$

позволяющей описать диапазоны протекания реакций в сланце и показавшей хорошее совпадение с экспериментом.

Оказалось, что существенного изменения параметров градиенты температур не вызывают. Так, для C_nH_m : при $\alpha = 0,05$ параметр A остался в пределах $(3,7 - 3,9) \cdot 10^{-2}$, $B = 6,59 - 6,61$; при $\alpha = 0,95$ $A = (4,12 - 4,41) \cdot 10^{-2}$, $B = 6,72 - 6,74$. Для CH_4 : при $\alpha = 0,05$ $A = (4,1 - 4,3) \cdot 10^{-2}$, $B = 6,60 - 6,62$; при $\alpha = 0,95$ $A = (4,6 - 4,9) \cdot 10^{-2}$, $B = 6,72 - 6,75$.

Эти результаты практически совпадают (в пределах погрешности) с ранее полученными для условий малых градиентов.

Термолиз сланца разбивался нами на 4 этапа: 1. чистое смолыделение ($T = 588 - 620$ К); 2. смолыделение с выходом газов ($T = 620 - 793$ К); 3. выход отдельных газов ($T = 793 - 973$ К); 4. разложение карбонатов с учетом выхода CO ($T = 973 - 1113$ К). Для второго и третьего этапов, описывая выход отдельных газов, можно использовать одни и те же кинетические параметры (разумеется, свои для каждого газа). Эти параметры были определены при малых скоростях нагрева, практически при нулевых градиентах температур внутри реагирующих частиц. Так, для C_nH_m :

$E = (168,9 \pm 0,9)$ КДж/моль, $k_0 = (2,4 \pm 0,3) \cdot 10^9$ с⁻¹, $n = 0,61 \pm 0,08$; для CH_4 : $E = (152,9 \pm 0,7)$ КДж/моль, $k_0 = (1,39 \pm 0,09) \cdot 10^8$ с⁻¹, $n = 2,70 \pm 0,09$. Применение этих параметров для описания выхода газов из частиц со значительными градиентами температур (6 – 12 К) показало, что сколь-нибудь существенных изменений и отклонений в описании реакций и диапазонов их протекания не происходит. Так, для C_nH_m : при $q = 10^3$ К/с окончание выхода газа с учетом градиента температур в частице может смещаться с 1120 до 1130 К, а максимум скорости реакции с 995 до 1010 К. Для CH_4 сдвиг также составляет ~ 20 К в условиях линейного нагрева. Так максимум скорости реакции сдвигается с 1280 до ~ 1300 К, что нельзя признать существенным.

Таким образом, возникающие при высоких скоростях нагрева в частицах сланца градиенты температуры очень незначительно сказываются на кинетических параметрах и инженерных зависимостях, предложенных авторами ранее. Это позволяет использовать как предложенные уравнения, так и определенные для них численные значения параметров для инженерных расчетов процессов термоллиза органической и минеральной частей сланца.

Список обозначений

n — порядок реакции; E — энергия активации; k_0 — предэкспоненциальный множитель; R — универсальная газовая постоянная; q — скорость нагрева; t — время; T — температура; α — доля прореагировавшего вещества; T_α — характерная температура реакции (для $\alpha = \text{const}$); A и B — постоянные, свои для каждого газа и каждого значения α .

Список литературы

1. Захаров В. Ю. Диффузионно-кинетический подход к описанию поведения минеральной части твердых топлив при высоких температурах как часть творческого наследия В. В. Померанцева — в кн.: Виктор Владимирович Померанцев. К 100-летию со дня рождения. С-Пб, Изд-во Политехнического университета, 2006 г., с. 182-195.

2. Уэндландт У. Термические методы анализа. М.: Мир, 1978, 526 с.

**Вектор Пойнтинга
в силовом трансформаторе
с тонкими обмотками**

Кириллова М. С.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Современные исследования показали, что традиционная теория трансформаторов, излагаемая, начиная с Штеймница (1897 г.), в учебниках практически без изменения на протяжении более 100 лет, противоречит физическим принципам работы трансформатора и глубоко ошибочна [1, 2]. Это, в частности, вытекает из рассмотрения новой теории трансформаторов, разработанной недавно профессором М. А. Шакировым [3, 4]. Цель настоящей работы — преодоление штампов, основанных на *искусственном* понятии о так называемой «*результутирующей м. д. с.* $w_1 i_0 = w_1 i_1 - w_2 i_2$ (или *намагничивающем токе* $i_0 = (w_1 i_1 - w_2 i_2) / w_1$)» и «*создаваемом ею общем магнитном потоке* Φ_0 ». Последний связан с измышлениями о «*потоках рассеяния отдельных обмоток* $\Phi_{\sigma 1}, \Phi_{\sigma 2}$ » и «*индуктивностях рассеяния отдельных обмоток* ($L_{\sigma 1}$ и $L_{\sigma 2}$)».

1. Как показано в [3, 4], выход состоит в построении теории на основе **реальных** магнитных потоков в *стержнях, ярмах и окне* трансформаторов, т. е. потоков, которые *могут быть померены* с помощью измерительных витков, а также использованием понятия «вектора Пойнтинга» для определения движения энергии в трансформаторе.

2. Ознакомление с новой теорией трансформаторов естественно начинать с рассмотрения физических процессов в броневом трансформаторе со стальным шихтованным сердечником без потерь и насыщения ($\mu_{\text{сталь}} = \infty$) с **тонкими** concentрическими обмотками (рис. 1).

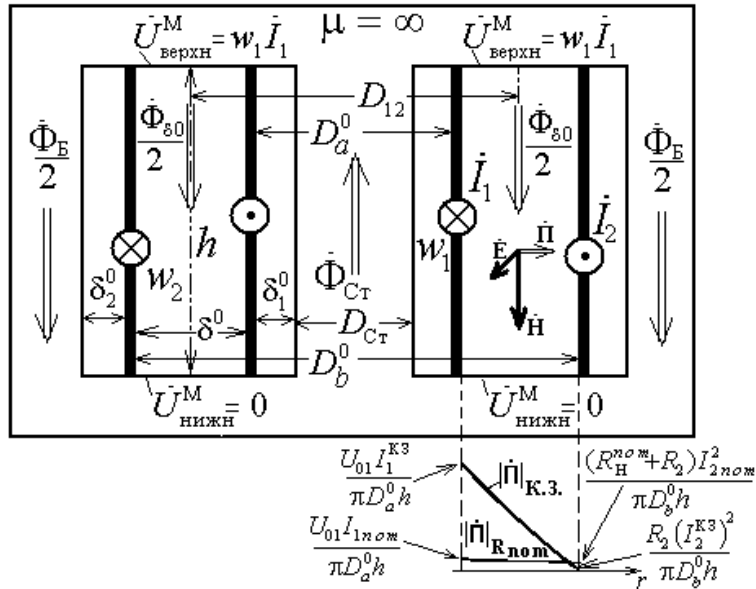


Рис. 1. Идеализированный броневой трансформатор с тонкими обмотками (графики модуля вектора Пойнтинга представлены для случая $Z_H = R_H^{nom}$ и режима К. 3.)

Схемы замещения с указанием всей совокупности реальных потоков показаны на рис. 2.

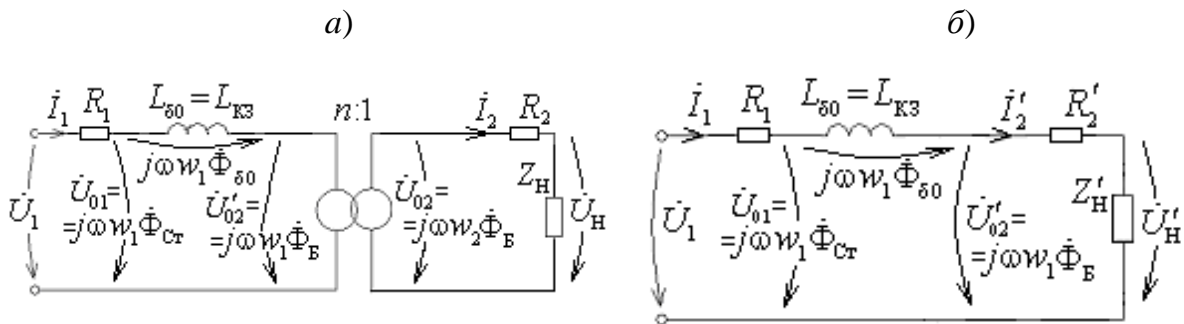


Рис. 2. Электрические схемы замещения идеализированного трансформатора с идеальным трансформатором (а) и без него (б)

Рассчитав напряжения, отмеченные стрелками, нетрудно по ним определить все **реальные магнитные потоки** при любом режиме работы трансформатора.

3. Передача подведенной к внутренней обмотке электрической мощности во внешнюю обмотку осуществляется через межобмоточное пространство с помощью **вектора Пойнтинга** (рис. 1). Его комплекс в точке на расстоянии r от оси стержня в этом пространстве равен:

$$\dot{\Pi}(r) = \dot{E}(r) \dot{H}^* ; \quad \dot{H} = w_1 \dot{I}_1 / h ; \quad \dot{E}(r) = j\omega (\dot{\Phi}_{\text{ст}} - \dot{\Phi}_{\delta}(r)) / 2\pi r ,$$

Граничные значения на графике $\Pi(r)$ (рис. 1) приведены без учета активных сопротивлений обмоток. Мощность, отводимая с поверхности внутренней обмотки и подводимая к внешней равны.

$$\dot{S}_{01} = (\pi D_a^0 h) \dot{\Pi}_1 = \dot{U}_{01} \dot{I}_1^* , \quad \dot{S}_{02} = (\pi D_b^0 h) \dot{\Pi}_2 = \dot{U}_{02} \dot{I}_1^* .$$

Что согласуется со схемами замещения (рис. 2).

Вывод. Таким образом, на основе анализа вектора Пойнтинга в трансформаторе с тонкими обмотками показана несостоятельность современной теории трансформаторов.

Список литературы

1. Steinmetz C. P. Theory and Calculation of Alternating Current Phenomena. McGraw-Hill Book Company. NY, 1897. First edition. <http://openlibrary.org>.
2. Boyajian A. Resolution of transformer reactances into primary and secondary reactances. AIEE Trans., pp. 805-810, Jun. 1925.
3. Шакиров М. А. Теоретические основы электротехники. Тензоры в ТОЭ. Электродинамика. Теория относительности. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011.
4. Шакиров М. А. 2Т-образные схемы замещения трансформаторов. Электричество, 2010, № 5.

Аналитический синтез систем управления с ограничениями на координаты и управления проекционным методом

Козлов В. Н.

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

1. Введение

Рассмотрены постановки задач, модели и методы совмещенного синтеза и управления для локально оптимальных систем с проекционными операторами оптимизации в классе пропорциональных и интегральных законов. Рассмотрен синтез линейных и нелинейных локально оптимальных управлений на основе «динамических моделей» и «статически определимых моделей» стационарных состояний объектов. Получены достаточные

условия асимптотической устойчивости нелинейных систем управления, иллюстрируемые приложениями в энергетике.

2. Постановки задач

Модели объектов представляются задачами Коши для кусочно-линейных векторно-матричных разностных уравнений [1]

$$x_{k+1} = G(x_k, u_k, \mu_k) = H\Phi_x(x_k) + F_u\Phi_u(u_k) + F_\mu\mu_k, s_k = cx_k, x_{k0} = x^0, \quad (1)$$

где векторы в (1) определяют отклонения состояний, управлений, возмущений и выходов $x_k = X_k - X_* \in \mathbb{R}^n$, $u_k = U_k - U_* \in \mathbb{R}^m$, $\mu_k = M_k - M_* \in \mathbb{R}^w$, и $s_k = S_k - S_* \in \mathbb{R}^q$, от векторов соответствующих стационарных состояний объекта X_* , U_* , M_* , S_* . Матрицы уравнений состояния (1) равны:

$$H = \partial G / \partial X \in \mathbb{R}^{n \times n}, F_u = \partial G / \partial U \in \mathbb{R}^{n \times m}, F_\mu = \partial G / \partial M \in \mathbb{R}^{n \times w}.$$

Координатные функции кусочно-линейных операторов (КЛО) $\Phi_x(x_k) \in K(X_1, X_2)$ и $\Phi_u(u_k) \in K(U_1, U_2)$ учитывают нелинейности объектов и управляющих устройств. Локально оптимальный пропорциональный $u_{k,*}^{\Pi}$ или интегральный законы $u_{k,*}^{\text{И}}$, формируемые счетным числом операторов конечномерной оптимизации, имеют вид

$$u_{k,*}^{\Pi} = \Gamma u_{k,*}^{\text{И}}(x_k), u_{k+1,*}^{\text{И}} = u_{k,*}^{\text{И}} + \Gamma u_{k,*}^{\text{И}}, \Gamma \in \mathbb{R}^{m \times m}, \quad (2)$$

где $\Gamma \in \mathbb{R}^{m \times m}$. Векторы $u_{k,*}^{\Pi} \in \mathbb{R}^m$ и $u_{k,*}^{\text{И}} \in \mathbb{R}^m$ формируются *операторами локально оптимального управления* (ЛОУ):

$$u_{k,*} = \Phi_*(x_k, C, p_{D,k}) = T \arg \min \left\{ \varphi = \|z_k - C\|^2 \mid z_k = (x_k, u_k)^T \in D = D_k^0 \cap D^1 \neq \emptyset \right\}, \quad (3)$$

где линейные многообразия $D_k^0 = \{z_k \mid Az_k = b_k\} \in \mathbb{R}^{m_A \times n_A}$ задают модели (1), параллелепипед $D^1 \in \mathbb{R}^{m_A + n_A}$, аппроксимированный эллипсоидами (шарами), учитывает ограничения на координаты и управления, а $T = \left(0_{m_A \times n_A} \mid E_{m_A} \right) \in \mathbb{R}^{m_A \times (n_A + m_A)}$.

Постановки задач исследования устойчивости. Пусть модель объекта имеет вид (1). Операторы П-законов и И-законов (2) формируют управления на основе $u_{k,*}^{\Pi}(x_k)$ или $u_{k,*}^{\text{И}}(x_k)$ как решений базовых задач (3).

Требуется синтезировать операторы управления $u_{k,*}^{\Pi} = \Gamma u_{k*}(x_k)$ и матричные параметры $\Gamma \in \mathbb{R}^{m \times m}$ систем в классе законов (2), обеспечивающие устойчивость систем (1) – (3). Управления вычисляются операторами ЛОУ с учетом нелинейностей объекта, ограничений на координаты и управления. При этом гарантируется асимптотическая устойчивость систем (1) – (3) в ограниченной области пространства на основе операторов, которые «сжимающие» для П-законов и «нерастягивающие» для И-законов.

3. Условия устойчивости локально (интервально) оптимальных систем

Утверждение. Пусть выполнены следующие условия:

1. Уравнения динамики локально оптимальной системы имеют вид:

$$x_{k+1} = G_k(x_k, p) = H\Phi_x(x_k) + F_u\Phi_u \left\{ \Gamma T \left[P_A c H\Phi_x(x_k) + \tilde{P}^0 C \left| \alpha_k / \rho \right|^{1/2} \right] \right\} + F_u \mu_k, \quad x_{k_0} = x_0, \quad (4)$$

где матрица H определяет устойчивый (сходящийся) матричный линейный ограниченный оператор объекта с нормой $\|H\| < 1$, а линейная часть удовлетворяет ранговому критерию управляемости по Р. Калману.

2. Монотонные КЛЮ объекта

$$\Phi_x(x_k) \in K(X_1, X_2) \text{ и } \Phi_u(u_k) \in K(U_1, U_2)$$

принадлежат подпространству монотонных КЛЮ таких, что $\Phi_x(0_n) = 0_n$ и $\Phi_u(0_m) = 0_m$, являются ограниченными в шаре T с центром в нуле

$\|\Phi(x_k)\| \leq M_x \|x_k\|$, $\|\Phi(x_*)\| \leq M_x \|x_*\|$, липшицевы в шаре T по x_k и u_k :

$$\|\Phi_x(x_k^1) - \Phi_x(x_k^2)\| \leq L_x \|x_k^1 - x_k^2\|, \quad \|\Phi_u(u_k^1) - \Phi_u(u_k^2)\| \leq L_u \|u_k^1 - u_k^2\|,$$

с постоянными L_x и L_u , соответственно.

3. Оператор системы ЛОУ формирует управления

$$u_{k,*}^{\Pi} = Tz_{k,*}, \quad z_{k,*} = \arg \min \left\{ \varphi(z_k) = \|z_k - C\|^2 \mid z_k \in D_z^0 \cap D_z^1 \neq \emptyset, \right.$$

$$D^0 = \left\{ z_k \mid Az_k = b_k^i, b_k^1 = cHx_k, b_k^2 = cH\Phi_x(x_k) \right\},$$

$$D_z^1 = \left\{ z_k \mid Z^- - Z_* = z^- \leq z_k \leq z^+ = Z^+ - Z_* \right\} \subset D_z^2, \quad D_z^2 = \left\{ z_k \mid \|z_k\| \leq r_z^2 \right\}.$$

Базовые задачи разрешаются аналитическим оператором ЛОУ:

$$u_{k*} = \Gamma T \left[P_A c H \Phi_x(x_k) + \tilde{P}^0 C \left| (r^2 - x_k^T D x_k) \rho^{-1} \right|^{1/2} \right], \quad (5)$$

заданного как сумма линейного оператора, *обеспечивающего устойчивость квазилинейной подсистемы ЛОУ*, и нелинейного оператора, в котором

$$P_A = A^T (A A^T)^{-1}, \quad \bar{P}^0 = E - P_A A.$$

4. Область задания нелинейной части оператора ЛОУ имеет вид

$$\alpha_k = r^2 - (b_k^i)^T (A A^{-1})^T b_k^i \geq 0, \quad i = 1, 2, \quad b_k^1 = c H x_k, \quad b_k^2 = c H \Phi(x_k).$$

5. Счетное семейство нелинейных разностных операторов $x_{k+1} = G_k(x_k, p)$ типа (4) аппроксимировано последовательностью линейных непрерывных операторов $x_{k+1} = G_k(x_k, p)$, $x_{k_0} = x^0 \in T$, формируемых на основе производных Фреше. При этом выполнены условия теоремы Банаха-Штейнгауса: нормы этих операторов ограничены в совокупности, т. е. выполнены неравенства $\|G_k\| \leq M_G < +\infty$, $k = 1, 2, \dots$. Тогда условия асимптотической устойчивости системы (4) с П-законом имеют вид

$$\begin{aligned} \|\Gamma\| < (1 - \alpha_1) / (\alpha_2 + \alpha_3), \quad \alpha_1 = \|H\|_{L_x}, \quad \alpha_2 = \|F_u\|_{L_u} \|T\| \cdot \|P_A\| \cdot \|c\| \cdot \|H\|_{L_x}, \\ \alpha_3 = \|F_u\|_{L_u} \|T\| \cdot \|\tilde{P}^0 C\| \left(\|c\| \cdot \|H\| \right)^2 L_x M_x \|P_A^T P_A\| (\delta + \|C\|) / (2r\rho), \quad (6) \end{aligned}$$

Рассматривается применение результатов для анализа устойчивости систем управления крупными энергетическими объединениями.

Список литературы

1. Козлов В. Н. Негладкие системы, операторы оптимизации и устойчивость. Изд-во СПб. Политехн. ун-та. СПб.: 2012. – 165 с.
2. Козлов В. Н. К аналитическому решению систем линейных алгебраических неравенств / Автоматика и телемеханика, 1989, № 4.

Математическая модель системы совместного ограничения потоков активной мощности по линиям электропередач

Козлов В. Н., Рябов Г. А.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Рассматриваются дифференциальные уравнения электромеханических и электромагнитных процессов энергообъединений, полученные на основе обобщения уравнений синхронного генератора (СГ) и уравнений электромеханических процессов.

Уравнения системы СГ работающего на сеть бесконечной мощности приводятся в форме уравнений Парка-Горева [1], в которых учтены все существенные электромагнитные и электромеханические процессы и действия двух демпферных обмоток. Уравнения представлены в потокосцеплениях и в виде, разрешенном относительно ЭДС (напряжений) и токов. Окончательный вид полных уравнений процессов в СГ:

1. Уравнения процессов в обмотках статора:

$$\begin{aligned}\psi'_d + \omega \cdot \psi_q - \omega_s \cdot r \cdot i_d &= \omega_s \cdot u_d, \\ \omega \cdot \psi_d - \psi'_q - \omega_s \cdot r \cdot i_q &= \omega_s \cdot u_q,\end{aligned}\tag{1}$$

2. Уравнения процессов в обмотках ротора:

$$\begin{aligned}T_d \cdot \psi'_f + e_{df} &= u_f, \\ T_{rd} \cdot \psi'_{rd} + e_{rd} &= 0, \\ T_{rq} \cdot \psi'_{rq} + e_{rq} &= 0,\end{aligned}\tag{2}$$

3. Уравнение моментов:

$$T_J \cdot s' = m_{\text{об}} - (\psi_d \cdot i_q + \psi_q \cdot i_d) - D\omega,\tag{3}$$

где $s = (\omega - \omega_s) / \omega_s$ — скольжение ротора генератора относительно синхронной скорости; T_J — инерционная постоянная времени агрегата.

Уравнения (1) с учетом $\omega = \omega_s (1 + s)$ можно записать в виде:

$$\begin{aligned}\psi'_d + \omega_s \cdot (1 + s) \cdot \psi_q - \omega_s \cdot r \cdot i_d &= \omega_s \cdot u_d, \\ \omega_s \cdot (1 + s) \cdot \psi_d - \psi'_q - \omega_s \cdot r \cdot i_q &= \omega_s \cdot u_q,\end{aligned}\tag{4}$$

В принятых относительных единицах зависимости для потокосцеплений синхронной машины имеют вид:

$$\begin{aligned}
 \psi_d &= e_{af} - x_d \cdot i_d + e_{rd}, \\
 \psi_q &= x_q \cdot i_q + e_{rq}, \\
 \psi_f &= e_{af} - \frac{x_{ad}^2}{x_f} \cdot i_d + \frac{x_{ad}}{x_f} \cdot e_{rd}, \\
 \psi_{rd} &= e_{rd} - \frac{x_{ad}^2}{x_{rd}} \cdot i_d + \frac{x_{ad}}{x_{rd}} \cdot e_{af}, \\
 \psi_{rq} &= e_{rq} - \frac{x_{ad}^2}{x_{rq}} \cdot i_q.
 \end{aligned} \tag{5}$$

Для получения математической модели процессов в синхронном генераторе, в которой переменные представляются токами и напряжениями, необходимо подставить выражения (5) для потокосцеплений в дифференциальные уравнения (1) – (2). В результате получим

$$\begin{aligned}
 e'_{af} - x_d \cdot i'_d + e'_{rd} + \omega_s \cdot (1+s) \cdot (x_q \cdot i_q + e_{rq}) - \omega_s \cdot r \cdot i_d &= \omega_s \cdot u_d, \\
 \omega_s \cdot (1+s) \cdot (e_{af} - x_d \cdot i_d + e_{rd}) - x_q \cdot i'_q - e'_{rq} - \omega_s \cdot r \cdot i_q &= \omega_s \cdot u_q, \\
 e_{af} + T_d \cdot \left(e'_{af} - \frac{x_{ad}^2}{x_f} \cdot i'_d + \frac{x_{ad}}{x_f} \cdot e'_{rd} \right) &= u_f, \\
 e_{rd} + T_{rd} \cdot \left(e'_{rd} - \frac{x_{ad}^2}{x_{rd}} \cdot i'_d + \frac{x_{ad}}{x_{rd}} \cdot e'_{af} \right) &= 0, \\
 e_{rq} + T_{rq} \cdot \left(e'_{rq} + \frac{dx_{ad}^2}{x_{rq}} \cdot i'_q \right) &= 0, \\
 T_J \cdot s' &= m_{\text{об}} - \left[(e_{af} - x_d \cdot i_d + e_{rd}) \cdot i_q + (x_q \cdot i_q + e_{rq}) \cdot i_d \right] - D\omega.
 \end{aligned} \tag{6}$$

Учитывая, что $\omega_s (1+s) = \omega$ первые два уравнения удобно представить в виде:

$$\begin{aligned}
e'_{af} - x_d \cdot i'_d + e'_{rd} + \omega \cdot (x_q \cdot i_q + e_{rq}) - \omega_s \cdot r \cdot i_d &= \omega_s \cdot u_d, \\
\omega \cdot (e_{af} - x_d \cdot i_d + e_{rd}) - x_q \cdot i'_q - e'_{rq} - \omega_s \cdot r \cdot i_q &= \omega_s \cdot u_q.
\end{aligned} \tag{7}$$

Представим уравнения (6) в матричном виде:

$$A \cdot I' - R \cdot I = U, \tag{8}$$

где

$$I' = (i'_d, i'_q, e'_{af}, e'_{rd}, e'_{rq})^T, I = (i_d, i_q, e_{af}, e_{rd}, e_{rq})^T, U = (u_d, u_q, u_f, 0, 0)^T,$$

$$A = \begin{bmatrix} -x_d & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & x_q & 0 & 0 & 1 \\ -x_{ad}^2/x_f & 0 & 1 & x_{ad}/x_f & 0 \\ -x_{ad}^2/x_{rd} & 0 & x_{ad}/x_{rd} & 1 & 0 \\ 0 & x_{aq}^2/x_{rq} & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \tag{9}$$

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} r & -x_q \omega / \omega_s & 0 & 0 & -\omega / \omega_s \\ -x_d \omega / \omega_s & r & \omega / \omega_s & \omega / \omega_s & 0 \\ 0 & 0 & -r_f / T_{d0} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1/T_{rd} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1/T_{rq} \end{bmatrix}.$$

Матрицу \tilde{R} можно представить в виде $\tilde{R} = \tilde{R}_1 + \omega \cdot \tilde{R}_2$, где

$$\tilde{R}_1 = \begin{bmatrix} r & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -r_f / T_{d0} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1/T_{rd} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1/T_{rq} \end{bmatrix}, \tilde{R}_2 = \frac{1}{\omega_s} \cdot \begin{bmatrix} 0 & -x_q & 0 & 0 & -1 \\ -x_d & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Тогда уравнение в нормальной форме Коши будет иметь вид:

$$I' = A^{-1} \cdot (\tilde{R}_1 + \omega \cdot \tilde{R}_2) \cdot I + A^{-1} \cdot U \tag{10}$$

| Параметр | Физический смысл |
|----------|--|
| T_{rd} | постоянная времени продольного успокоительного контура (секунды) |
| T_{rq} | постоянная времени поперечного успокоительного контура (секунды) |
| T_J | инерционная постоянная времени агрегата (секунды) |
| x_d | синхронное (полное) индуктивное сопротивление по продольной оси (о. е.) |
| x_q | синхронное (полное) индуктивное сопротивление по поперечной оси (о. е.) |
| x_f | полное индуктивное сопротивление самоиндукции обмотки возбуждения (о. е.) |
| x_{ad} | индуктивное сопротивление реакции якоря по продольной оси (о. е.) |
| x_{rq} | полное индуктивное сопротивление поперечного успокоительного контура (о. е.) |
| x_{rd} | полное индуктивное сопротивление продольного успокоительного контура (о. е.) |

Список литературы

1. Козлов В. Н. Негладкие системы, операторы оптимизации и устойчивость (с приложениями в энергетике). СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2012.
2. Козлов В. Н. Локальная оптимальность и устойчивость систем ограничения перетоков активной мощности по линиям энергообъединений. Известия РАН, № 2, 2014.
3. Веников В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. М.: Высш. шк., 1985.
4. Андерсон П., Фуад А. Управление энергосистемами и устойчивость. М.: Энергия, 1980.

**Преимущества и недостатки использования
волоконно-оптических датчиков в качестве первичных
преобразователей сигналов в системах железнодорожной
автоматики**

Костров А. А., Семенов А. Е.

*Челябинский институт путей сообщения —
филиал ФГБОУ ВПО Уральский государственный университет
путей сообщения*

Преследуя цель обеспечения безопасности и надежности систем железнодорожной автоматики, а также информационно-измерительных систем на ж. д. транспорте, зачастую приходится пренебрегать такими важными параметрами элементов систем, как масса и габариты. Кроме того, использование электрических цепей предполагает возникновение искры, которая может привести к возгоранию объектов управления и контроля.

Таким образом, при выборе первичных преобразователей сигналов имеет смысл использовать волоконно-оптические датчики. Они обладают рядом неоспоримых преимуществ, таких как:

- небольшие масса и габариты;
- высокая скорость передачи данных;
- невысокая потребляемая мощность;
- отсутствие влияние электромагнитных полей;
- отсутствие необходимости установки заземления;
- повышенная стойкость к агрессивным воздействиям внешней среды;
- повышенная пожаро-, взрыво-, электробезопасность [1].

Вышеперечисленные достоинства волоконно-оптических датчиков говорят о перспективности использования их в специальных условиях безопасности. В современных отечественных и зарубежных системах железнодорожной автоматики волоконно-оптические датчики могут использоваться для измерения различных физических величин номенклатурного состава: вибрации, давления, ускорения, силы тока, напряжения, температуры и т. д.

Преимущества волоконно-оптических датчиков, используемых в волоконно-оптических информационно-измерительных системах,

обусловлены, прежде всего, их естественной сопрягаемостью с волоконно-оптическими средствами передачи информации и лучшими возможностями объединения их в волоконно-оптическую измерительную систему [2].

В волоконно-оптических датчиках в качестве проводящей среды используется оптоволокно. Это является достоинством данного вида датчиков. При этом им присущи недостатки характерные для конструкции оптических волокон:

- появление микротрещин в волокне за счет водородной коррозии;
- работа с волоконно-оптической техникой предъявляет повышенные требования к квалификации персонала и требует наличия более сложного и дорогого технологического оборудования.

В настоящее время в ходе научных исследований ученые все чаще обращаются к вопросу применения волоконно-оптических датчиков в качестве первичных преобразователей сигналов. Широкие возможности таких датчиков открывают большие перспективы использования их в устройствах железнодорожной автоматики. Так, например, применение волоконно-оптических датчиков в качестве первичных преобразователей сигналов виброускорений рельса при технической диагностики неисправностей на поверхности катания колесных пар подвижного состава, позволяет решить некоторые проблемы, связанные с выделением в сигнале первичных преобразователей информативных составляющих и оценкой по ним параметров дефекта [3]. Или же использование волоконно-оптических датчиков для измерения силы тока на полуобмотках дроссель-трансформатора при выявлении асимметрии тягового тока в рельсовых нитях, может быть использовано для выявления излома рельсовых плетей при отсутствии на участке рельсовых цепей.

В соответствии новым Федеральным государственным образовательным стандартом в профессиональном модуле ПМ.01 (МДК1.1 и МДК 1.2) большое внимание уделяется изучению новейших систем железнодорожной автоматики на современной элементной базе. Одними из таких элементов являются волоконно-оптические датчики, которые начинают широко применяться при проектировании, как станционных и перегонных систем, так и систем технической диагностики.

Список литературы

1. Гроднев И. И. Волоконно-оптические линии связи: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1990.
2. Щерица Н. П. Компоненты ВОЛС компании Afonics fiber optic // Компоненты и технологии. 2005. № 3.
3. Семенов А. Е. Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 6. № 1. С. 8-11.

Исследование взаимодействия ароматических солей диазония с фенилацетиленом

Крахалева Н. В., Морозова М. А.

*Национальный Исследовательский Томский
Политехнический Университет*

Реакции получения терминальных ацетиленов имеют важное практическое значение, так как они являются промежуточными продуктами получения различных гетероциклов [1]. Так же известно, что в присутствии трифлата цинка, с промежуточным образование комплекса, происходит формирование новых С-С связей [2].

При исследовании взаимодействия различных арилдиазоний тозилатных и арилдиазоний тетрафторборатных солей диазония с фенилацетиленом меди в безводном ацетонитриле в присутствии эфира бора в атмосфере азота целевой продукт реакции — толан получается в смеси с продуктом восстановления субстрата, продуктам взаимодействия катионов фенилацетилена меди и не является основным.

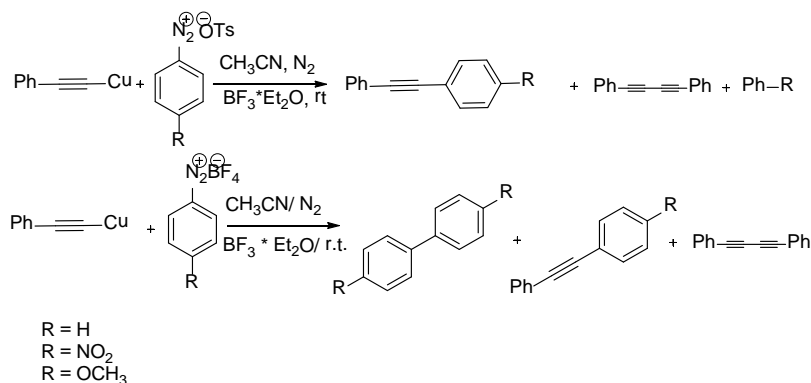


Рис. 1. Реакции взаимодействия ароматических солей диазония с фенилацетиленом меди

Из-за высокой активности меди, в реакционной массе образуется дифенилбутадиин. Цинк менее активен, чем медь и поэтому медь была заменена на цинк. Получение фенилацетиленида цинка было проведено через стадию образования комплекса из трифлата цинка и амина. В продуктах реакции мы наблюдаем целевой продукт и продукт взаимодействия субстрата и растворителя — ацетанилид.

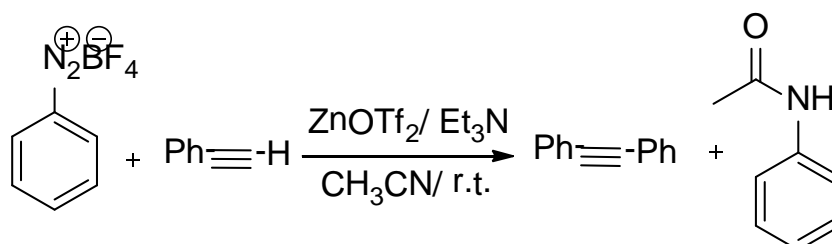


Рис. 2. Реакция взаимодействия тетрафторборатной соли диазония с фенилацетиленом в ацетонитриле

Из-за образования продукта взаимодействия растворителя и субстрата было решено заменить растворитель на диметилформаид. Выбор был основан на том, что данный растворитель является апротонным. В продуктах реакции наблюдается присутствие толана и бифенила.

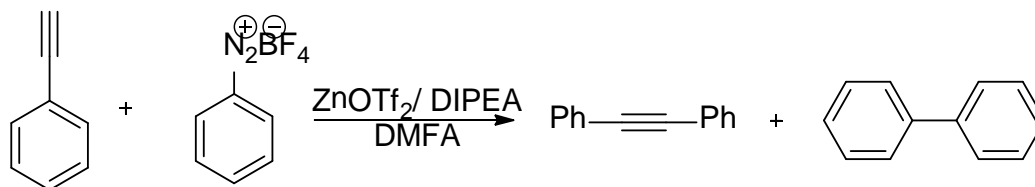


Рис. 3. Реакция взаимодействия тетрафторборатной соли диазония с фенилацетиленом в ДМФА

Таким образом, нами была показана возможность образования новых С-С-связей без применения палладиевых катализаторов.

Список литературы

1. Химия ацетиленовых соединений, под ред. Г. Г. Вийе, пер. с англ., М., 1973.
2. E. Frantz et al, Catalytic in Situ Ceneration of Zn(II)-Alkynilides under Mild Conditions: A Novel C = N Addition Process Utilizing Terminal Acetylenes // American Chemical Society, 1999, 121, 11245 – 11246.

**Создание алгоритма распознавания дорожной разметки и
дорожных знаков для систем активной безопасности
транспортных средств**

Майорчик А. В., Болсуновская М. В.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

В настоящее время большое внимание уделяется проблеме безопасности на дороге. Проблема создания и развития активных систем безопасности на дорогах актуальна в силу большого количества транспортных средств и дорожно-транспортных происшествий в мире. Одной из наиболее современных систем является система распознавания дорожных знаков и дорожной разметки, функциональные возможности которой заключаются в оповещении водителя о наличии дорожных знаков в поле зрения камеры и предупреждении о приближении к опасным участкам дороги.

Областью применения результатов исследования являются системы активной безопасности автомобилей, системы управления беспилотными автотранспортными средствами и беспилотными летательными аппаратами, а также навигационные системы.

Основной целью исследования является создание алгоритма распознавания дорожной разметки и дорожных знаков для систем активной безопасности транспортных средств.

На основе анализа исходной задачи и предметной области был разработан алгоритм распознавания запрещающих и предупреждающих дорожных знаков и дорожной разметки для систем активной безопасности транспортных средств.

Алгоритм включает в себя выполнение следующих этапов:

1) Удаление шумов на видеокадре. На данном этапе необходимо избавиться от шумов и посторонних мелких деталей. Для этой цели предлагается использовать алгоритм фильтрации с помощью вейвлет-преобразований Хаара или Добеши.

2) Обнаружение дорожной разметки на видеокадре. Данный этап осуществляется путем использования преобразования Хафа для поиска линий на изображении. Предлагается уменьшить область поиска, не

рассматривая верхнюю часть изображения (30 %), так как при видеосъемке в горизонтальном положении дорожная разметка окажется на нижней части изображения. Однако это предположение не будет работать при спуске или подъеме в гору, поэтому необходимо извне контролировать уровень наклона автомобиля. Также уменьшить область поиска дорожной разметки позволяет использование данных о нахождении дорожной разметки на предыдущем кадре. Для удаления ложных обнаружений на изображении необходимо использовать данные о ширине проезжей части в конкретной стране. Например, по стандартам Российской Федерации ширина размечаемой полосы движения должна быть не менее 3,00 м [1].

3) Фильтрация изображения по цвету. Для обнаружения запрещающих и предупреждающих дорожных знаков на данном этапе необходимо выделить области красного цвета с использованием цветовых пространств RGB или HSV [3]. Для обнаружения других типов дорожных знаков на изображении может понадобиться выделение областей синего, зеленого и других цветов. Используя данные о нахождении дорожной разметки, предлагается рассматривать часть изображения выше уровня дорожной разметки. Такой подход позволяет увеличить скорость работы алгоритма.

4) Обнаружение объектов круглой и треугольной формы среди выделенных областей красного цвета. Для этой цели необходимо использовать преобразование Хафа. В зависимости от конкретной задачи и требований к качеству и скорости распознавания можно использовать пункты 2, 3, 4 как вместе, так и по отдельности.

5) Идентификация дорожного знака. Этап включает в себя следующие основные подэтапы идентификации дорожных знаков:

а) Идентификация дорожных знаков по общей базе. Данный подэтап выполняется при условии, что по каким-то причинам неизвестна страна пребывания. Если страна пребывания известна, то осуществляется переход к подэтапу в). В результате исследования типов дорожных знаков стран Европы была выделена группа знаков, которые имеют минимальные различия. Таким образом, в неизвестной стране предлагается использовать для идентификации алгоритм поиска объектов по особым точкам, при этом в качестве объектов выступают общие дорожные знаки.

б) Определение страны по признакам дорожных знаков разных стран. Если идентификация по общей базе дорожных знаков не дала положительных результатов, предлагается определить страну по следующим признакам дорожных знаков: форма, цвет и толщина границы, вид, цвет, размер и поворот изображения, цвет фона. Например, предупреждающие знаки Ирландии имеют желтый цвет фона и форму ромба.

в) Идентификация дорожных знаков конкретной страны по особым точкам изображения. Для идентификации предлагается использовать один из алгоритмов поиска объектов по особым точкам: алгоритм Хаара [4] или метод SURF [5]. В качестве объектов используются образцы дорожных знаков страны, в которой находится автомобиль. Проведенное исследование типов дорожных знаков позволило выделить группы знаков, нарушение которых наиболее опасно для жизни и здоровья водителей и пешеходов. Таким образом, рекомендуется в первую очередь проверять наличие на изображении дорожных знаков наибольшей степени важности, что позволит увеличить скорость работы алгоритма.

Предложенный алгоритм был опробован на примере системы распознавания дорожных знаков «Пешеходный переход» и «Въезд запрещен». Согласно предложенному алгоритму разработка системы была разбита на следующие этапы: удаление шумов на видеокадре, фильтрация изображения по цвету, идентификация дорожного знака.

Для фильтрации изображения по цвету было использовано цветовое пространство HSV. Экспериментальным путем были подобраны пороговые значения координат цвета в различных погодных условиях и при различной освещенности, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Пороговые значения координат цвета

| Координаты | Красный цвет | Синий цвет | Желтый цвет |
|------------|---------------|------------|-------------|
| H | 0-19, 145-179 | 105-155 | 30-36 |
| S | 60-255 | 60-255 | 200-255 |
| V | 20-255 | 16-255 | 35-90 |

Учитывая тот факт, что в настоящий момент в РФ и других странах дорожный знак «Пешеходный переход» встречается с ярко-желтой десятисантиметровой рамкой, пороговые значения были подобраны для

красного, синего и желтого цветов. Координаты S, V варьируются в диапазоне 0-255, координата H приведена к диапазону 0-179.

Для идентификации конкретного дорожного знака был использован алгоритм Хаара, который строит каскад признаков объекта для распознавания его на изображении. Для получения обучающей выборки использовалась утилита `opencv_createsamples` библиотеки OpenCV, которая позволяет подготовить учебный набор положительных и тестовых образцов в формате `vec` случайными вращениями, изменениями интенсивности объекта, а также размещением объекта на произвольном фоне. Для увеличения уровня распознавания объектов из нескольких изображений объекта были получены файлы в формате `vec`, которые затем вручную были объединены в один. Для построения и обучения каскада использовалась утилита `opencv_haartraining`, на вход которой подавался файл с положительными образцами. Параметры, которые были использованы для обучения каскада Хаара, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры утилиты `opencv_haartraining`

| Параметры утилиты <code>opencv_haartraining</code> | Значение |
|--|----------|
| <code>-npos</code> | 400 |
| <code>-nneg</code> | 1000 |
| <code>-nstages</code> | 10 |
| <code>-w</code> | 15 |
| <code>-h</code> | 15 |
| <code>-mode</code> | ALL |
| <code>-minhitrate</code> | 0.999 |
| <code>-maxfalsealarm</code> | 0.3 |

На рис. 1-2 приведен пример правильно распознанного дорожного знака «Пешеходный переход». Испытания алгоритма проводились на данных видеорегистратора, которые включают в себя видеозаписи, отснятые днем, ночью, а также во время дождя. Результаты испытаний алгоритма на данных видеорегистратора приведены в табл. 3.

Результаты испытаний алгоритма являются удовлетворительными. В рамках дальнейшей работы для уменьшения количества ложных срабатываний предлагается использовать информацию о количестве кадров удержания знака. Ложные срабатывания удерживают не более двух

кадров [2], поэтому предлагается ввести корректировку на три кадра удержания знака.



Рис. 1. Пример правильно распознанного дорожного знака «Пешеходный переход»



Рис. 2. Пример правильно распознанного дорожного знака «Пешеходный переход»

Таблица 3

Результаты испытаний алгоритма

| Название | Размерность | Значение |
|-----------------------------|-------------|----------|
| Число ложных срабатываний | шт. | 1 |
| Число распознанных знаков | шт. | 44 |
| Число знаков всего | шт. | 46 |
| Процент распознанных знаков | % | 95,6 |

Предложенный алгоритм позволяет распознавать дорожную разметку и дорожные знаки стран Европы. Отличительной особенностью алгоритма является уменьшение области поиска дорожных знаков в результате

проведения цветовой фильтрации, распознавания объектов по форме или использования результатов распознавания дорожной разметки, что позволяет совместно решать две отдельные задачи (распознавание дорожной разметки и дорожных знаков).

Благодаря проведенному исследованию дорожных знаков стран Европы разработанный алгоритм позволяет автоматически определить страну пребывания, найти базу дорожных знаков конкретной страны и защитить водителя от внештатных ситуаций.

Список литературы

1. ГОСТ Р 52289-2004. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. — М.: Стандартинформ, 2005.

2. Нагайцев М. В., Сайкин А. М., Ендачев Д. В. «Беспилотные» автомобили — этапы разработки и испытаний // Журнал автомобильных инженеров. — 2012. — № 5 (76).

3. H. Fleyeh. Shadow and Highlight Colour Segmentation Algorithm for Traffic Signs // IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems. — Bangkok: 2006.

4. N. Luth, R. Ach. Lane Departure Warning and Real-time Recognition of Traffic Signs // Advanced Microsystems for Automotive Applications 2009. — Berlin: Springer, 2009.

5. H. Bay, T. Tuytelaars, L. Van Gool. SURF: Speeded Up Robust Features, <http://www.vision.ee.ethz.ch/~surf/eccv06.pdf>.

Инструментальные средства тестирования надежности встраиваемых систем

Мамутова О. В., Филиппов А. С.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Важным требованием к аппаратным средствам современной вычислительной техники является отказоустойчивость. Поэтому актуальна задача обучения студентов и специалистов в этой области методам борьбы со

сбоями и отказами в вычислительных системах и необходима соответствующая методическая поддержка учебных курсов и научно-исследовательской работы. С этой целью в лаборатории проектирования цифровых устройств кафедры компьютерных систем и программных технологий Санкт-Петербургского государственного политехнического университета разработана методика тестирования надежности встраиваемых систем и соответствующие инструментальные средства. Это позволяет проводить необходимую проверку разрабатываемых программных и аппаратных средств борьбы со сбоями и отказами.

Чтобы охарактеризовать работу реализованной системы в условиях появления каких-либо неисправностей требуется тест для оценки надежности. Идея создания таких тестов появилась достаточно недавно [1, 2] и является предметом активных исследований в области вычислительной техники [3, 4, 5, 6]. Подход к тестированию надежности отказоустойчивых систем (fault tolerance benchmark или dependability benchmark) должен предоставлять пользователю критерии надежности для сравнения надежности разных систем, а также способ получения этих оценок. Общепринятая формальная структура теста надежности приводится в [7]. Например, для вычислительной системы такой тест включает в себя генератор вычислительной нагрузки для процессора, памяти и других элементов и реализацию соответствующей стратегии по внесению неисправностей в окружение исследуемых элементов. Несмотря на наличие универсальной структуры теста, отсутствует стандартный подход к такому тестированию [8]. Нами предложен подход к тестированию, позволяющий охватить широкий спектр возможных задач в классе встраиваемых процессорных систем.

Методика включает в себя критерии оценки надежности, порядок проведения тестов, инструментарий для их проведения и систему анализа результатов. Спроектирован стенд, включающий в себя физический макет встраиваемой системы и управляющую программу на инструментальном компьютере. Разработан комплект тестов с использованием программных алгоритмов, типичных для встраиваемых систем. Применяемые модели неисправностей могут быть адаптированы для целевой элементной базы. Для обеспечения универсальности методики принято решение использовать в физическом макете системы прототип на базе ПЛИС. В качестве

процессорного ядра для проведения исследований выбран типичный представитель RISC процессоров — микропроцессор OpenRISC с открытым исходным кодом, набором инструментов для разработки GNU toolchain, поддерживающий операционные системы Linux и uClinux.

Разработанная методика тестирования надежности встраиваемых систем универсальна, переносима и репрезентативна, т. е. позволяет тестировать системы с процессорами различных RISC-архитектур, получаемые результаты применимы для различной целевой элементной базы и характеризуют работу встраиваемой системы в реальных условиях. Предложенная методика и разработанные инструментальные средства успешно применяются в учебном процессе. Работа со стендом включает в себя следующие этапы: 1) выбор и настройка моделей неисправностей, 2) выбор параметров тестируемой процессорной системы и реализация методов борьбы с неисправностями, 3) планирование эксперимента по внесению неисправностей, 4) выбор и запуск тестовых программ через управляющую программу на инструментальном ПК, 5) получение и анализ результатов эксперимента.

Список литературы

1. Tsai T. K., Iyer R. K., Jewitt D. An approach towards benchmarking of fault-tolerant commercial systems. — Proceedings of Annual Symposium on Fault Tolerant Computing, 1996. — Pp. 314-323.
2. Vieira M., Madeira H. From Performance to Dependability Benchmarking: A mandatory path // Performance Evaluation and Benchmarking, 2009. — Pp. 67-83.
3. IFIP WG 10.4 Dependability Benchmarking SIG
http://www.ece.cmu.edu/~koopman/ifip_wg_10_4_sigdeb
4. Dependability Benchmarking Project <http://webhost.laas.fr/TSF/DBench>
5. Assessing, Measuring and Benchmarking Resilience
<http://www.amber-project.eu>
6. Zhu J. et al., R-Cubed Rate, Robustness, and Recovery — An availability benchmark framework // Sun Microsystems, 2002. — 25 p.
7. Madeira H., Koopman P. Dependability Benchmarking: making choices is an N-dimensional problem space. — Carnegie Mellon University, Institute for software research. Paper 662, 2001. — 6 p.

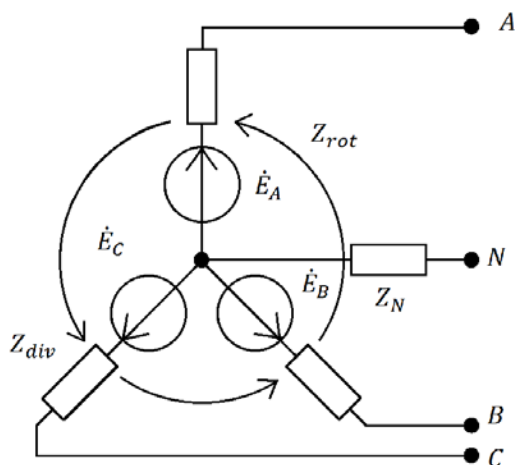
8. Kanoun K.; Spainhower L. Dependability Benchmarking for Computer Systems // Wiley-IEEE Computer Society Press, 2008. — 362 p.

**Достоверность системных моделей Шакирова М. А.
для расчета несимметричных режимов ЛЭП**

Медведев К. А.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

В настоящее время основным способом решения задач расчета несимметричных режимов трехфазных систем является весьма трудоемкий метод симметричных составляющих (МСС), разработанный С. L. Fortescue в 1918 г. [1]. Однако для решения этих же задач в недавнем прошлом профессором М. А. Шакировым был предложен эффективный метод, не требующий разложения напряжений и токов на симметричные составляющие [2, 3]. В его основе лежат *системные схемные модели* динамических устройств, в которых автоматически учитываются параметры их сопротивлений (или проводимостей) всех трех последовательностей (Z_1, Z_2, Z_0). Данный метод сводит поставленную задачу к решению в реальных величинах напряжений и токов обычными методами расчета линейных цепей, что существенно упрощает инженерные расчеты. Примеры системных моделей М. А. Шакирова для трехфазных синхронных генераторов (с. г.) представлены на рис. 1 и рис. 2.

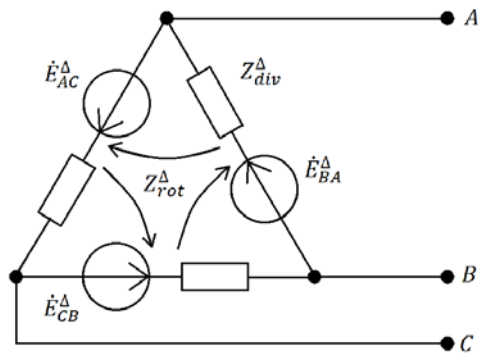


$$Z_{div} = \frac{(1-a^2)Z_1 + (1-a)Z_2}{3},$$

$$Z_{rot} = \frac{(a-a^2)(Z_1 - Z_2)}{3},$$

$$Z_N = \frac{Z_0 + a^2Z_1 + aZ_2}{3}.$$

Рис. 1. Системная Z-схема замещения с. г.
в виде соединения звездой



$$Z_{div}^{\Delta} = \frac{(1-a^2)Z_1^{\Delta} + (1-a)Z_2^{\Delta}}{3},$$

$$Z_{rot}^{\Delta} = \frac{(a-a^2)(Z_1^{\Delta} - Z_2^{\Delta})}{3},$$

$$Z_1^{\Delta} = 3Z_1, \quad Z_2^{\Delta} = 3Z_2.$$

$$\dot{E}_{BA}^{\Delta} = \dot{E}_A - \dot{E}_B, \quad \dot{E}_{CB}^{\Delta} = \dot{E}_B - \dot{E}_C, \quad \dot{E}_{AC}^{\Delta} = \dot{E}_C - \dot{E}_A$$

Рис. 2. Системная Z -схема замещения с. г. в виде соединения треугольником

В данных схемах замещения приняты следующие обозначения:

$$\dot{E}_A = E, \quad \dot{E}_B = a^2 E, \quad \dot{E}_C = aE; \quad a = e^{j2\pi/3},$$

Z_1, Z_2, Z_0 , — сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей с. г. при соединении его обмоток звездой; $Z_1^{\Delta}, Z_2^{\Delta}$ — то же для с. г. при соединении его обмоток треугольником;

$Z_{div}, Z_{div}^{\Delta}$ — сопротивление фазы в соответствующих системных моделях;

$Z_{rot}, Z_{rot}^{\Delta}$ — сопротивления управляющих связей в системных моделях.

Вывод системных моделей, представленный в [2], весьма сложен и вряд ли может быть доступен в учебном процессе. Однако, этого и не требуется, если продемонстрировать их достоверность. Чтобы выполнить это, т. е. доказать корректность системных моделей, достаточно получить непосредственно по их схемам сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей. Покажем это на примере системной Δ_Z -модели (рис. 2) в виде следующих этапов.

1а. К исследуемой Δ_Z -модели подключается (слева) звездная система э. д. с. *прямой последовательности* (рис. 3) с целью определения фазного тока \dot{I}_A . Рассматриваемая схема позволяет найти ток \dot{I}_1 из уравнения:

$$Z_{div}^{\Delta} \dot{I}_1 + Z_{rot}^{\Delta} (a^2 \dot{I}_1) = a^2 \dot{E}_A - \dot{E}_A,$$

откуда получаем:

$$\dot{I}_1 = \frac{(a^2 - 1)\dot{E}_A}{Z_{div}^\Delta + a^2 Z_{rot}^\Delta},$$

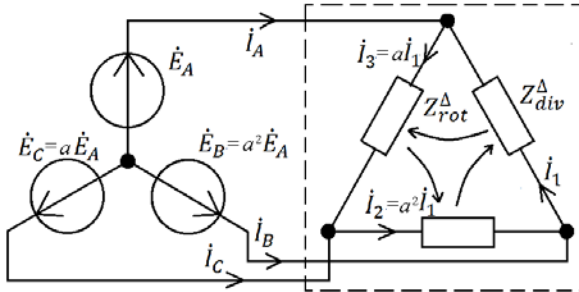


Рис. 3. Определение сопротивления прямой последовательности

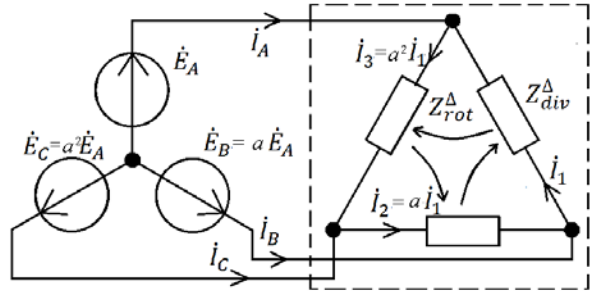


Рис. 4. Определение сопротивления обратной последовательности

1b. Определяется ток A -фазы:

$$\dot{I}_A = a\dot{I}_1 - \dot{I}_1 = (a-1)\dot{I}_1 = \frac{(a-1)(a^2-1)\dot{E}_A}{Z_{div}^\Delta + a^2 Z_{rot}^\Delta} = \frac{3\dot{E}_A}{Z_{div}^\Delta + a^2 Z_{rot}^\Delta},$$

1с. Убеждаемся путем подстановок формул для Z_{div}^Δ и Z_{rot}^Δ , приведенных на рис. 2, что сопротивление прямой последовательности

$$\frac{\dot{E}_A}{\dot{I}_A} = \frac{Z_{div}^\Delta + a^2 Z_{rot}^\Delta}{3} \rightarrow Z_1^\Delta.$$

2а. К исследуемой схеме Δ_Z -модели подключается (слева) звездная система э. д. с. *обратной последовательности* (рис. 4). В этом случае ток \dot{I}_1 можно найти из уравнения:

$$Z_{div}^\Delta \dot{I}_1 + Z_{rot}^\Delta (a\dot{I}_1) = a\dot{E}_A - \dot{E}_A,$$

откуда получаем:

$$\dot{I}_1 = \frac{(a-1)\dot{E}_A}{Z_{div}^\Delta + aZ_{rot}^\Delta}.$$

2б. Определяется фазный ток A -фазы

$$\dot{I}_A = a^2 \dot{I}_1 - \dot{I}_1 = (a^2 - 1)\dot{I}_1 = \frac{(a^2 - 1)(a-1)\dot{E}_A}{Z_{div}^\Delta + aZ_{rot}^\Delta} = \frac{3\dot{E}_A}{Z_{div}^\Delta + aZ_{rot}^\Delta},$$

2с. Убеждаемся путем подстановок формул для Z_{div}^Δ и Z_{rot}^Δ , приведенных на рис. 2, что сопротивление обратной последовательности

$$\frac{\dot{E}_A}{\dot{I}_A} = \frac{Z_{div}^{\Delta} + aZ_{rot}^{\Delta}}{3} \rightarrow Z_2^{\Delta}.$$

3а. В общем случае далее к исследуемой схеме подключается звездная система э. д. с. нулевой последовательности, что для данного примера бессмысленно, поскольку из физических соображений ясно, что сопротивление нулевой последовательности для него не существует.

Выводы:

1. Рассмотренные системные z-модели синхронного генератора весьма наглядны, достаточно просты и удобны для выполнения расчетов несимметричных режимов трехфазных систем.

2. После устранения источников э. д. с. из этих схем получим системные z-модели для асинхронных двигателей.

Список литературы

1. Вагнер К. Ф., Эванс Р. Д. Метод симметричных составляющих. Л.: ОНТИ НКПТ СССР, 1936.

2. Шакиров М. А. Теоретические основы электротехники. Новые идеи и принципы. Схеманализ и диакоптика. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2001.

3. Шакиров М. А. Симметричные схемы замещения трехфазных машин и их применение для расчета несимметричных режимов электрических систем // ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, 2003. № 10. С. 26-35.

Неразмывающая скорость потока

для мелкозернистых сыпучих грунтов

Михалев М. А., Петрова Е. А., Шилов С. О.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Неразмывающей называется такая средняя скорость потока U_0 , при достижении которой начинается движение частиц грунта, слагающего ложе водотока. Но средняя скорость потока зависит от множества факторов, что порождает неопределенность в понятии неразмывающая скорость. Фактически причиной взаимодействия жидкости с поверхностью русла, в

котором жидкость движется, являются касательные напряжения, возникающие на границе раздела двух фаз: жидкой и твердой. Пусть касательное напряжение, соответствующие моменту начала движения частиц несвязного зернистого материала, равно τ_0 . Величина τ_0/ρ (ρ — плотность жидкости) имеет размерность квадрата скорости, которую называют «динамической». Обозначим динамическую скорость потока, соответствующую моменту начала движения частиц несвязного зернистого материала, $u_{*0} = \sqrt{\tau_0/\rho}$. При изучении процесса взаимодействия фаз методом физического моделирования в качестве характерной скорости выбирают динамическую. Считается, что процесс происходит при равномерном движении жидкости, поэтому связь между средней и динамической скоростью потока находится по одной из формул равномерного движения:

$$u_{*0} = U_0 \sqrt{\lambda/2}, \quad (1)$$

где λ — коэффициент гидравлического трения.

Величину u_{*0} можно найти из критериального уравнения [1]:

$$\text{Re}_{*0} = a \text{Ar}^n, \quad (2)$$

где $\text{Re}_{*0} = u_{*0} d/\nu$ — число Рейнольдса, $\text{Ar} = g d^3 \rho'/\nu^2$ — критерий Архимеда. В них d — средний размер частиц, ν — коэффициент кинематической вязкости воды, $\rho' = \rho_1/\rho - 1$, ρ_1 — плотность вещества частиц, g — ускорение силы тяжести. Параметры a и n зависят от размера частиц грунта. Для мелкозернистых песков $0,1 \text{ мм} < d \leq 0,25 \text{ мм}$ они равны: $a = 0,502$, $n = 0,35$.

Русла равнинных рек, как правило, сложены песками различной крупности. При исследовании на моделях процессов, связанных с движением речных наносов, а также местных размывов за сооружениями, расположенных на этих реках, размеры частиц грунта в условиях модели могут оказаться в области, где преобладают силы сцепления. Физическое моделирование станет невозможным из-за необходимости уменьшения размеров частиц грунта в соответствии с принятым линейным масштабным коэффициентом и перехода грунта в условиях модели к другой категории (в натуре грунт несвязный, а на модели он оказался связным).

Одним из способов преодоления этой трудности является поиск такого материала для использования на модели, плотность которого меньше плотности кварца [1, 2]. Доказано, что даже в случае больших размеров модели плотность материала, заменяющего песок на модели, должна незначительно отличаться от плотности воды. Это обстоятельство создает дополнительные трудности при проведении исследований. Остается еще один весьма затратный способ приближенного моделирования подобного рода явлений, предусматривающий проведение серии одних и тех же испытаний на подобных моделях разных линейных размеров.

Между тем в природе и в технике существуют материалы, которые в мелкозернистом состоянии не обладают сцеплением. К таким материалам относятся мелкодисперсные кварцевые порошки. Обладая малыми размерами частиц, они могут расширить возможности исследований русловых деформаций в равнинных реках. Но прежде, чем их использовать, необходимо определить условия начала трогания этого материала под действием набегающего потока. Известно, что скорость свободного осаждения частиц подобного рода грунтов (их гидравлическая крупность) определяется формулой Стокса. Можно предположить, что условия начала трогания частиц сыпучих грунтов, будут также подчиняться единой закономерности. С тем, чтобы убедиться в этом, необходимо было провести соответствующие исследования.

Опыты проводились в остекленном лотке шириной 30 см. Глубина воды в лотке поддерживалась постоянной и равнялась 50 см. Лоток заполнялся водой, на его дно засыпался в стоячую воду кварцевый порошок. После завершения процесса оседания порошка в лоток подавался расход воды. При этом велись постоянные наблюдения за состоянием поверхности испытуемого материала. Фиксировались первые его подвижки, при которых определялся соответствующий расход воды и средняя скорость течения. Величина ее принималась в качестве неразмывающей U_0 . Далее выполнялся расчет коэффициента гидравлического трения λ [3]. В его процессе устанавливались область сопротивления и закон сопротивления, с помощью критериев проверялось соответствие расчетных формул этому закону. Динамическая скорость потока, соответствующая моменту начала

движения частиц несвязного зернистого материала, находилась из формулы (1). Определялись число Рейнольдса и критерий Архимеда. Заметим, что формула (2) содержит два параметра: a и n , одним из них приходится задаваться. Удобнее всего задаться параметром n , считая параметр a искомым. В таком случае из (2) получаем:

$$a = \text{Re}_{*0} / \text{Ar}^n. \quad (3)$$

В опытах исследовались материалы со средними размерами частиц от 25 до 100 микрон. По их результатам строился график зависимости $a = f(\bar{d})$, в которой \bar{d} — безразмерный диаметр частиц: $\bar{d} = \sqrt[3]{\text{Ar}} = d \sqrt[3]{g\rho' / \nu^2}$. Из графика следует: $a \approx 0,5$. Тем самым доказано, что формула (1) с параметрами $a = 0,5$ и $n = 0,35$ подобно формуле Стокса при малых числах Рейнольдса пригодна для определения динамической скорости потока, соответствующей моменту начала движения частиц мелкодисперсного сыпучего материала в жидкости.

Список литературы

1. Михалев М. А. О моделировании условий начала трогания частиц несвязного зернистого материала // Журнал Университета водных коммуникаций, 2009, № 1. С. 43-50.
2. Михалев М. А. Защита речного русла и гидротехнических сооружений от эрозии: учебное пособие / — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013.
3. Михалев М. А. Физическое моделирование гидравлических явлений. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2013. 373 с.

Аддитивное и мультипликативное удвоение в автономных уравнениях

Петриченко М. Р.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

1. Пусть $T \subset \mathbb{R}^1$, $X \subset \mathbb{R}^m$, $f : X \rightarrow T_x$, $D(x) = T$, $x \in C^{(1)}(T)$. Тем самым задан поток (тривиальное расслоение) с базой X и слоем \mathbb{R}^m :

$$\frac{dx}{dt} = f(x), \quad x(0) - x_0 = 0. \quad (1)$$

Ассоциированная с (1) система, получаемая аддитивным удвоением, выписана в [1], [2].

Ниже приводятся два варианта мультипликативного удвоения, позволяющего погрузить поток (1) в поле экстремалей некоторого знакоопределенного функционала.

2. Пусть $y \in Y \subset \mathfrak{R}^m$. Рассматривается поток (тривиальное расслоение) $X \times Y \rightarrow \mathfrak{R}^m$:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= yf(x), \\ \frac{dy}{dt} &= -\frac{y^2 - 1}{2} \frac{df(x)}{dx}, \\ x(0) - x_0 &= y(0) - y_0 = 0, y_0 \neq 1. \end{aligned} \quad (2)$$

Тогда справедливы утверждения:

(i). Система (2) доставляет необходимые условия минимума ($f > 0$) и максимума ($f < 0$) распределению

$$S(T, x) = \frac{1}{2} \int_T \frac{1}{f(x)} \left(\left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + f^2(x) \right) dt.$$

Плотность распределения $S(T, x)$,

$$\Lambda \left(x, \frac{dx}{dt} \right) = \frac{1}{2f(x)} \left(\left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + f^2(x) \right)$$

равносильна $\Lambda^* \left(x, \frac{dx}{dt} \right) = \frac{1}{2f(x)} \left(\frac{dx}{dt} \pm f(x) \right)^2$. Иначе, минимизация $S(T, x)$ равно-

сильна минимизации среднего квадратичного отклонения $\left\| \dot{x} - f \right\|_{L_2(T)}$ с весом $1/f(x)$;

(ii). Вдоль экстремалей $S(x)$ линейный элемент выражается так:

$$u = \pm \sqrt{f(x)(f(x) + \alpha)}, u := \frac{dx}{dt},$$

α — постоянная интегрирования. Например, пусть $u(x_0) = 0$. Тогда $\alpha = -f(x_0)$;

(iii). Полный интеграл системы (2):

$$S(t, x) = -\frac{at}{2} \pm \int_{x_0}^x \sqrt{\frac{f(z)}{f(z)+a}} dz,$$

a — постоянная;

(iii). Огибающая кривая семейства $S = const$ (особое решение) находится из условия:

$$t = \pm \int_{x_0}^x \sqrt{\frac{1}{f(z)(f(z)+a)}} dz.$$

Пусть $a = \alpha$. Тогда решение задачи Коши для системы (2) совпадает с особым решением этой системы.

Например, задача Коши: $\frac{dx}{dt} = -\frac{1}{x}$, $D(x) = T = (0, \tau)$, $x(0) - 1 = 0$ имеет решение: $x(t) = \sqrt{1-2t}$, $t = \frac{1-x^2}{2}$. Очевидно: $x = 0, \tau = \frac{1}{2}$.

Удвоенная система: $\frac{dx}{dt} = -\frac{y}{x}$, $\frac{dy}{dt} = \frac{y^2-1}{2x}$, $x(0) - 1 = y(0) = 0$, имеет решение: $t = 2\sqrt{1-x} - \frac{2}{3}\sqrt{(1-x)^3}$. Пусть $t = \tau = 1/2$. Тогда $x(\tau) > 0$. Вдоль характеристики удвоенной системы выполняется условие:

$$S(\tau, x) = \frac{1}{2} \int_0^\tau \left(x \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \frac{1}{x} \right) dt \rightarrow \inf \geq 0. \text{ Этот пример связан с т.н. задачей}$$

Дюпюи о форме депрессионной кривой (x — глубина, t — координата, $x(\tau) > 0$ — т.н. высота ступеньки высачивания).

3. Внутреннее удвоение переменных связано с ассоциированной с (1) системой:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= f(yx), \\ \frac{dy}{dt} &= \frac{f(x)}{x} + \frac{1}{x^2} \int_x^{yx} f(z) dz - \frac{yf(x)}{x}, \end{aligned}$$

порожденной гамильтонианом $E(x, y) = \frac{1}{x} \int_x^{yx} f(z) dz$. Первый интеграл

ассоциированной системы:

$$\frac{1}{x} \int_x^{xy} f(z) dz = \frac{1}{x_0} \int_{x_0}^{x_0 y_0} f(z) dz = \alpha = const. \quad (*)$$

Пусть $\varphi = f^{-1}: T_x \rightarrow X$. Плотность распределения функционала (действия) $\Lambda: (X \times T_x) \rightarrow R^1$:

$$\Lambda\left(x, \frac{dx}{dt}\right) = \frac{\dot{x} \varphi\left(\frac{\dot{x}}{x}\right)}{x} - \frac{1}{x} \int_x^{\varphi\left(\frac{\dot{x}}{x}\right)} f(z) dz.$$

Тогда: $y := \frac{\partial \Lambda}{\partial \dot{x}} = \frac{\varphi\left(\frac{\dot{x}}{x}\right)}{x}$, $y_1 := \frac{\partial \Lambda}{\partial x} = -\frac{\dot{x} \varphi\left(\frac{\dot{x}}{x}\right)}{x^2} + \frac{1}{x^2} \int_x^{\varphi\left(\frac{\dot{x}}{x}\right)} f(z) dz + \frac{f(x)}{x}$. Уравнение Лагранжа:

$$u \frac{du}{dx} \varphi'(u) = f(x) + \frac{1}{x} \int_x^{\varphi(u)} f(z) dz,$$

где $u := \frac{dx}{dt}$, $u = u(x)$, $u(x_0) - u_0 = 0$. Значит, ввиду (*), частное решение уравнения Лагранжа имеет вид:

$$u \varphi(u) - u_0 \varphi(u_0) - \int_{u_0}^u \varphi(v) dv = \int_{x_0}^x f(z) dz + \alpha(x - x_0).$$

Например, пусть $y_0 = 1$. Тогда $\alpha = 0$, $u_0 = f(x_0)$, $u = f(x)$, $\varphi(f(z)) = z$, и решение уравнения Лагранжа превращается в трюизм:

$$xf(x) - x_0 f(x_0) = \int_{x_0}^x f(z) dz + \int_{x_0}^x z df(z).$$

4. Полезно сопоставить аддитивное и мультипликативное удвоения переменных.

(i). Внешнее аддитивное удвоение порождает гамильтониан

$$E_a^{ex}(x, y) = yf(x) + \frac{y^2}{2} \text{ и ассоциированную систему:}$$

$$\frac{dx}{dt} = f(x) + y,$$

$$\frac{dy}{dt} = -yf'(x).$$

Условие минимума имеет вид: $S_a^{ex}(T, x) = \int_T \left(\frac{dx}{dt} - f(x) \right)^2 dt \rightarrow \inf \geq 0$ и не зависит от знака $f(x)$. Роль нейтрального элемента группы сдвигов играет $y = 0$. Обратный элемент – y .

Внешнее мультипликативное удвоение порождает гамильтониан $E_m^{ex}(x, y) = \frac{y^2 - 1}{2} f(x)$ и ассоциированную систему:

$$\frac{dx}{dt} = yf(x), \quad \frac{dy}{dt} = -\frac{y^2 - 1}{2} f(x).$$

Условие экстремума имеет вид: $S_m^{ex}(T, x) = \int_T \frac{\left(\dot{x} - f(x) \right)^2}{f(x)} dt \rightarrow \text{sgn } f \cdot \inf \geq 0$.

Роль нейтрального элемента полугруппы играет $y = 1$. Обратный элемент y^{-1} не определен. Например, пусть $y \in X$, $X \subset R^1$ — компакт. Тогда не имеют обратного малые по норме элементы y . Множитель y^{-1} сингулярно возмущает систему (1).

(ii). *Внутреннее аддитивное удвоение*, [1], порождает гамильтониан $E_a^{in}(x, y) = \int_x^{x+y} f(z) dz$, полугруппу сдвигов с нейтральным элементом $y = 0$ и с ассоциированной системой

$$\frac{dx}{dt} = f(x + y),$$

$$\frac{dy}{dt} = f(x) - f(x + y).$$

Плотность распределения функционала: $\frac{dS_a^{in}}{dt} = \dot{x} \left(\varphi \left(\dot{x} \right) - x \right) - \int_x^{\varphi(\dot{x})} f(z) dz$.

Вдоль экстремалей $S_a^{in}(T, x) \rightarrow \inf \geq 0$.

Предельная задача для уравнения Лагранжа:

$$u \frac{du}{dx} \varphi'(u) = f(x), u := \frac{dx}{dt} = u(x), u(x_0) - u_0 = 0,$$

имеет решение:

$$(u\varphi(u))_{u_0}^u = \int_{u_0}^u \varphi(v)dv + \int_{x_0}^x f(z)dz.$$

Пусть $y = 0$; тогда $u_0 = f(x_0)$ и предыдущее равенство превращается в формулу Ньютона. Обратный элемент $(-y)$.

Внутреннее мультипликативное удвоение порождает гамильтониан

$$E(x, y) = \frac{1}{x} \int_x^{yx} f(z)dz \text{ и каноническую систему:}$$

$$\frac{dx}{dt} = f(yx),$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{f(x)}{x} + \frac{1}{x^2} \int_x^{yx} f(z)dz - \frac{yf(x)}{x}.$$

$$\text{Вдоль экстремалей } \frac{dS_a^{in}}{dt} = \Lambda\left(x, \frac{dx}{dt}\right) = \frac{\dot{x}\varphi\left(\dot{x}\right)}{x} - \frac{1}{x} \int_x^{\varphi\left(\dot{x}\right)} f(z)dz, S_a^{in}(T, x) \rightarrow \inf \geq 0.$$

Если $y = 1$, $u = f(x)$, $\Lambda = dx/dt$, и уравнение Лагранжа превращается в тривиальное тождество.

Формулирую окончательные результаты. Удвоения переменных представляются группами сдвигов (аддитивное удвоение) и полугруппами вращений (мультипликативное удвоение) с нейтральными элементами $y = 0$ и $y = 1$ соответственно. Мультипликативное удвоение — вариант определения интегрирующего множителя. Аддитивное удвоение — расширение метода вариации постоянных на конечные сдвиги.

Список литературы

1. Павленко Ю. Г., Зеленский С. И. Интегрирование негамильтоновых систем методом удвоения переменных // Вестник МГУ, серия Физика, Астрономия, 1987, т. 28, № 1, с. 8.
2. Petrichenko M., Serov D., Additive doubling variables in linear systems with constant coefficients, into: OAS-2013, Tartu, Univ. Press, 2013, p.p. 225-22.

Поиск критериев статической устойчивости сложных объединенных энергосистем произвольной структуры

Попов М. Г., Захарова Е. В.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Исследование устойчивости выполняется при прогнозировании и оценке допустимости режимов параллельной работы объединенных энергосистем, многообразие схемно-режимных условий которых значительно осложняет анализ причин возникновения низкочастотных колебаний. Традиционный подход в количественных оценках запасов устойчивости носит приближенный характер [1], поскольку достоверность полученных результатов зависит от адекватности математического описания генераторов, их систем управления, а также нагрузки и силового оборудования [2]. Тем не менее, быстрый и качественный поиск области потенциально устойчивых режимов может осуществляться с применением упрощенных моделей, достоверно отражающих электромеханическое движение генераторов [3, 4]. В настоящей работе под потенциально устойчивым режимом следует понимать условия функционирования объединенной энергосистемы, в которых она может быть устойчива за счет введения любого (ненулевого) стабилизирующего воздействия через автоматические регуляторы возбуждения сильного действия (АРВ-СД) с фиксированной и невырожденной структурой управления. Согласно этому тезису могут быть снижены требования к запасам передаваемой мощности по условиям статической устойчивости электропередачи. В связи с этим настоящее исследование, направленное на поиск качественных, структурных критериев устойчивости упрощенных моделей энергообъединений, с помощью которых определяется область потенциально устойчивых режимов действительной, регулируемой электрической системы, чрезвычайно актуально и важно в практике проектирования и эксплуатации энергосистем. Данные материалы являются обобщением основных результатов диссертационной работы, полученных с использованием структурных критериев неасимптотической устойчивости цепочечных и кольцевых схем ОЭС [4, 5].

Для обобщения искомым критериев в схемах кольцевой и цепочечной структуры варьировались соотношения установленных мощностей приемной и передающей частей ОЭС и жесткость электропередачи. На рис. 1, 2 показаны характеристики изменения свободного члена A_n , вычисляемого как произведение собственных чисел матрицы коэффициентов системы линеаризованных дифференциальных уравнений электромеханических переходных процессов, при утяжелении режима работы электропередачи вплоть до физически осуществимого.

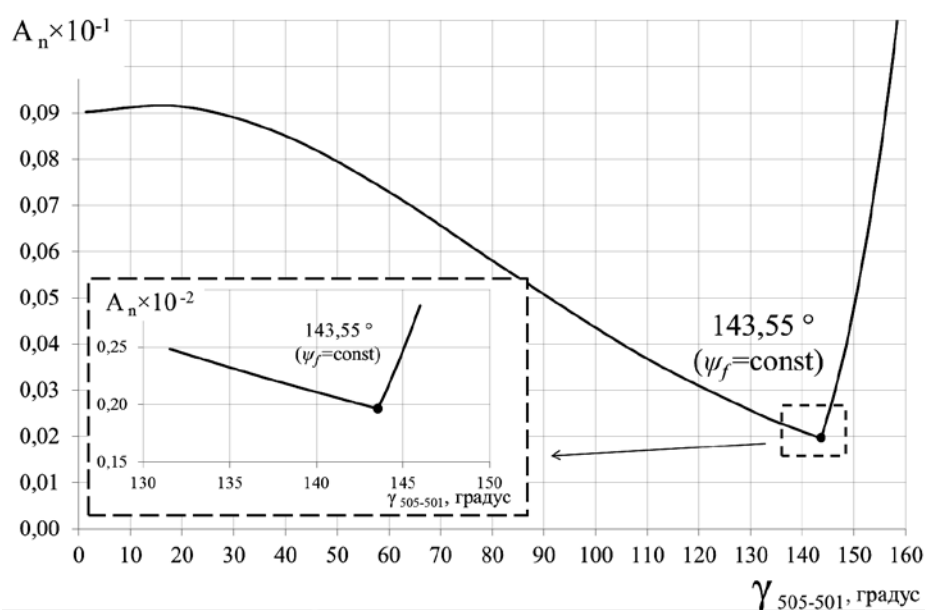


Рис. 1. Изменение свободного члена характеристического уравнения системы в процессе утяжеления режима при позиционном ($\psi_f = \text{const}$) представлении ЭЭС

В связи с ограниченностью объема сами количественные значения корней в настоящей публикации не представлены.

В энергосистеме цепочечной структуры, содержащей пять эквивалентных энергообъединений (четырёхкратное соотношение мощностей приемной и передающей частей ОЭС) граница области устойчивости располагается в области углов около 143° ($143,55^\circ$, рис. 1). Граница области устойчивости в кольцевой схеме, содержащей шесть эквивалентных энергосистем соизмеримой мощности при консервативном представлении ($U_f = \text{const}$) отвечает углу электропередачи $108,46^\circ$ (рис. 2).

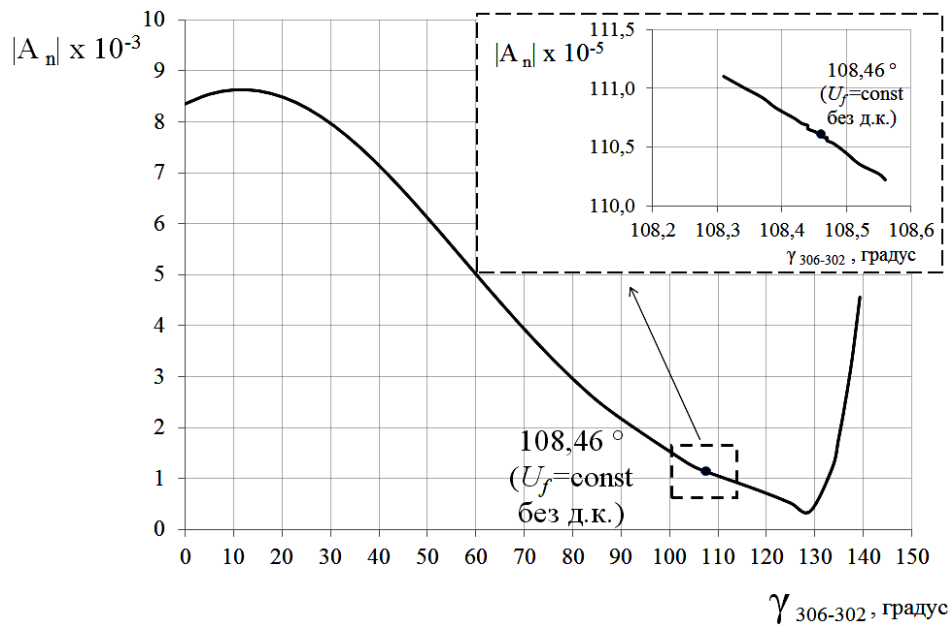


Рис. 2. Изменение свободного члена характеристического уравнения системы в процессе утяжеления режима при консервативном ($U_f = \text{const}$) представлении ЭЭС

Экстремумы представленных на рисунках характеристик соответствуют максимальному значению передаваемой мощности. Границы области потенциально устойчивых режимов, определенных согласно предложенным структурным критериям, находятся левее максимума угловой характеристики и отвечают незначительным запасам (1,40 % для позиционной и 3,02 % для консервативной моделей ЭЭС).

В результате сравнительного анализа рассчитанных границ области колебательной устойчивости ЭЭС показана возможность применения упрощенных моделей, позволяющих выполнить первичную, качественную оценку предельных по передаваемой мощности режимов энергосистем.

Расчетными исследованиями установлено, что во всех рассматриваемых схемно-режимных условиях независимо от структуры и жесткости электропередачи нарушение колебательной устойчивости энергосистемы происходит до границы области аperiodической устойчивости.

Для энергосистем цепочечной структуры упрощенное представление генераторов при постоянстве потокосцеплений контуров ротора ($\psi_f = \text{const}$) характеризует искомую границу колебательной устойчивости.

Применение модели $U_f = \text{const}$ может быть оправдано лишь для энергообъединений с жесткими межсистемными связями малой и средней протяженности (до 1200 ... 1500 км).

Граница области потенциально устойчивых (стабилизируемых) в колебательном отношении режимов объединенных энергосистем кольцевой структуры отвечает их консервативному (нерегулируемая модель $U_f = \text{const}$ без демпферных контуров) представлению. Граница области устойчивости позиционной модели ($\psi_f = \text{const}$) ОЭС такой структуры также находится в непосредственной близости предельных режимов нерегулируемой системы.

Введение интенсивного управления со средневзвешенными (неоптимальными) настройками регуляторов возбуждения сильного действия синхронных машин позволяет стабилизировать систему во всей найденной области потенциально устойчивых режимов, а также вплоть до зоны искусственной устойчивости. В отдельных случаях для достижения этой области требуется усиление стабилизации до максимальных значений коэффициентов без решения задачи их оптимизации.

Список литературы

1. Жданов П. С. Вопросы устойчивости электрических систем / П. С. Жданов / Под ред. Л. А. Жукова.— М.: Энергия, 1979.— 455 с.
2. Методические указания по устойчивости энергосистем. 30.06.2003.— № 277.
3. Рагозин А. А. Обобщенный анализ динамических свойств энергообъединений на основе структурного подхода: автореф. дис. ...докт. техн. наук / А. А. Рагозин / СПбГТУ.— СПб., 1998.— 39 с.
4. Попов М. Г. Развитие методов и программного обеспечения исследований динамических свойств электроэнергетических систем: автореф. дис. ...канд. техн. наук / М.Г. Попов / СПбГТУ.— СПб, 2001. — 16 с.
5. Попов М. Г., Захарова Е. В. Исследование устойчивости объединенных энергосистем на основе структурного подхода // Научно-технические ведомости СПбГПУ. — 2013. — № 3(178) — с. 110-117.

Анализ систем построения баз данных Borland Database Engine и Absolute Database

Романова Е. П.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Была поставлена задача выбора системы построения баз данных для формирования базы данных по средствам, системам и комплексам противоздушной обороны надводных кораблей. Заказчик работы предлагал использовать бесплатную систему Borland Database Engine (BDE). В результате описанного ниже анализа двух наиболее популярных систем построения баз данных — Borland Database Engine и Absolute Database (AD), было доказано, что для поставленной задачи целесообразнее использовать бюджетную систему AD.

BDE — бесплатная система построения баз данных Borland 32-битная под Microsoft Windows для доступа к базам данных из Borland Delphi, C++ Builder, IntraBuilder, Paradox for Windows и Visual dBASE for Windows. Система реализована в виде совокупности динамических библиотек и предназначена для поддержки работы приложений с данными, находящимися в таблицах баз данных. Ключевой механизм BDE, обеспечивающий работу визуальных компонент баз данных, действует как интерфейс между приложением и самой базой данных. Файлы ядра системы построения базы данных существуют как набор DLL, код которых полностью реентерабелен и потокобезопасен. В поставку BDE входит набор дополнительных утилит и примеров приложений. Взаимодействие компонентных объектов с BDE никак не специфицирует конкретную базу данных и не зависит от реализации обмена информацией на нижнем уровне иерархии. Именно BDE обращается в свою очередь к драйверам, специфическим для базы данных указанного типа, возвращая приложению запрошенные фактические данные. BDE играет роль, аналогичную контроллеру драйверов ODBC (Open Database Connectivity) производства фирмы Microsoft, изолируя приложения от нижнего уровня взаимодействия с базой данных и увеличивая общую производительность связи за счет использования кэш-памяти. Используя BDE, можно получить доступ

ко всем локальным стандартным базам данных компьютера, к источникам данных ODBC и к SQL серверам баз данных в архитектуре сетевой связи клиент/сервер.

BDE обеспечивает для созданных приложений:

- непосредственный доступ к локальным базам данных (dBase, Paradox, текстовые файлы);
- доступ к SQL-серверам (Oracle, Sybase, MS SQL Server, InterBase, Informix, DB2) с помощью драйверов Borland SQL Links;
- доступ к любым источникам данных, имеющим драйвер ODBC, например, к файлам электронных таблиц (Excel, Lotus 1-2-3), серверам баз данных, не имеющим драйверов SQL Links (например, Gupta/Centura);
- создание приложений клиент-сервер, использующих разнородные данные;
- высокую производительность при работе с плоскими таблицами;
- использование SQL, в том числе при работе с локальными данными;
- изоляцию приложения от средств языковой поддержки; изоляцию приложения от конфигурации системы и сети [1].

Однако механизм доступа BDE признается устаревшим даже самой компанией Borland. Корпорация Borland выпустила новую среду быстрой разработки программ для операционных систем семейства Linux. Дальнейшее развитие BDE прекращено.

Важным недостатком BDE является используемая технология распространения приложений. Если приложение использует для доступа к данным компоненты BDE, то и у клиента, который будет пользоваться программой, должен быть установлен BDE. Причем если вы использовали алиасы (псевдонимы базы данных), то настройка на эти же алиасы должна быть и у клиента. Однако, существует стандартная утилита Install Shield Express, которая снимает эту проблему. Она позволяет включать настроенный механизм BDE в состав инсталляционного пакета программы. Но возникает другая проблема — большой размер инсталляционного файла [2]. При использовании BDE часто бывают конфликты в многопользовательской среде, где большое количество пользователей пытаются

обновить одну и ту же строку таблицы. Основной недостаток BDE — после выполнения нескольких тысяч запросов происходит переполнение в памяти. Это приводит к тому, что с программой становится невозможно работать. Еще один минус касается не только BDE, но и любого другого универсального механизма доступа к данным. Универсальность такого механизма подразумевает сложность его реализации. Программисту предоставляется уже готовый инструмент, с которым удобно работать, однако этот инструмент достаточно «тяжелый» — используя его, вы довольно существенно увеличиваете размеры своего приложения [3].

Тем не менее, многие программисты и компании до сих пор используют данный инструмент. Китайская компания Huawei, разрабатывающая современные электронные автоматические телефонные станции, как для городских, так и для мобильных телефонов, до сих пор использует BDE для доступа к настройкам и статистическим данным этих автоматических телефонных станций. Кроме того, BDE имеет множество простых и удобных возможностей для программиста, таких например, как программное создание таблиц [2].

Существует вторая популярная система построения баз данных — Absolute Database (AD). Это мощная система построения баз данных для Delphi является бюджетной альтернативой BDE. AD — компактный, быстросрабатывающий и удобный в работе механизм баз данных. При некоммерческом использовании система бесплатна. При коммерческом — стоимость лицензии составляет всего \$95. В AD ограничение на размер файла базы данных в 32Тб. Вряд ли до заявленного предела в 32Тб база когда-нибудь дорастет. Это является большим преимуществом по сравнению с BDE. Также есть и другие важные преимущества — в AD надежно доступен однопользовательский режим и многопользовательский (файл-сервер) режим, а в BDE бывают проблемы со вторым режимом. AD имеет и другие важные достоинства:

- не требует драйверов или обновления Windows, а также она компилируется прямо в EXE file;
- работает на любой версии Windows;
- написана полностью на Delphi, полный исходный код доступен;
- нет библиотеки DLL;

- простота в использовании и 100 % совместимость со стандартными и сторонними DB сознательных элементов управления;
- сильное шифрование, сжатие BLOB;
- простота развертывания, отсутствие специальных правил установки;
- ядра базы данных компилирует прямо в EXE;
- высокое быстродействие;
- расширенное управление кэш и буферизация архитектуры;
- наличие SophisticatedSQL запросов и фильтра оптимизатора;
- специальная оптимизация для temporaryresults запросов SQL;
- сжатие метаданных таблицы и других специальных средств;
- быстрый datacompression BLOB, низкое потребление памяти.

Таким образом, для решения поставленной выше задачи лучше использовать систему Absolute Database, а не предлагаемую заказчиком Borland Database Engine.

Список литературы

1. <http://do.gendocs.ru/docs/index-6977.html?page=11>
2. <http://www.intuit.ru/studies/courses/614/470/lecture/20867>
3. http://knowledge.allbest.ru/programming/2c0b65635a2ac78b5d53b88521206d36_0.html

Метод изучения фотопериодической чувствительности растений короткого дня

Романова О. И., Кошкин В. А.

*Государственный научный центр РФ,
Всероссийский научно-исследовательский институт
растениеводства им. Н. И. Вавилова (ВИР), РАСХН,
Санкт-Петербург, Россия*

Исследования по адаптации растений к свету, особенно адаптивного значения фотопериодизма были организованы в ВИРе известными российскими физиологами В. И. Разумовым и Б. С. Мошковым около 80 лет назад. В самых первых работах по фотопериодизму растений было показано, что фотопериодическое воздействие на растения определяет не

только скорость зацветания растений, но непосредственно влияет на ряд физиологических процессов: рост древесных пород, клубней и корней, явления листопада, укоренения черенков, формирования клубеньков на корнях бобовых растений.

Сама принадлежность к растениям длинного и короткого дня, а также фотопериодическая чувствительность зависят от географического происхождения растений. Однако, согласно исследованиям В. В. Скрипчинского (1971) любой таксон может иметь биотипы, различающиеся по степени и знаку своего фотопериодического ответа. Это положение используется в ВИРе при выделении источников слабой фотопериодической чувствительности (ФПЧ). Слабая ФПЧ считается важным свойством современных, широко адаптированных к условиям среды сортов со стабильной высокой продуктивностью.

В ВИР разработан метод изучения ФПЧ длиннодневных растений, и с успехом впоследствии применен на пшенице — созданы изогенные линии по генам *Rpd*, контролирующим разную степень ФПЧ. (Мережко и др. 2001). Метод базируется на явлении фотопериодической индукции, описанном С. А. Эгизом в 1928 году.

Растения выращиваются в условиях короткого дня (до появления колоса из влагалища флагового листа) и проводится отбор из гибридной популяции ранне - и позднее - выколосившихся растений, которые дифференцируют соответственно как скороспелые слабочувствительные и позднеспелые сильночувствительные к фотопериоду формы (патент РФ № 2065697). Для оценки коллекционных образцов на ФПЧ предложен коэффициент фотопериодической чувствительности ($K_{ФПЧ}$): для длиннодневных растений:

$K_{ФПЧ} = T_2 / T_1$, где T_1 и T_2 — продолжительность периода всходы-колошение (цветение) у растений, выращенных соответственно в условиях длинного и короткого дня (Кошкин и др. 1994). Этот коэффициент позволяет ранжировать генотипы по ФПЧ, по сравнению с показателем задержки колошения (цветения) на неблагоприятном дне он мало изменяется по годам. Метод не требует больших затрат, так как выращивание растений в вегетационном опыте производится при естественном освещении.

По этой методике изучили более 180 образцов короткодневной культуры — гречихи, представляющие основные регионы ее возделывания в мире. Поскольку растение гречихи характеризуется габитусом, отличным от злаковых культур, то цветение определяли по распусканию первых цветков на нижнем соцветии главного стебля и воздействие коротким днем проводили в период от всходов до начала цветения. В формулу также пришлось ввести изменения, так как гречиха короткодневная культура: $K_{ФПЧ} = T_1 / T_2$. Образцы гречихи, задерживавшие цветение на 1-2 дня под влиянием длинного дня (по сравнению с коротким) и имевшие $K_{ФПЧ} = 1,0 - 1,05$ характеризовались как слабо чувствительные.

Не имеет значение способ и место высева образцов, важно соблюсти три условия. Первое условие — надежная имитация короткого дня, свет любой интенсивности не должен проникать к растению в «ночной период» Второе — растения на длинном и коротком дне должны находиться в одинаковых условиях по температуре и влажности. Третье — смена дня и ночи на коротком дне должна происходить на протяжении всего опыта в одно и то же время. Соблюдая все эти условия, опыт возможно проводить в поле на больших площадях, используя черный Лутрасил плотностью 40 г/м в три сложения для короткого дня и для длинного дня на ночной период — белый лутрасил 40 г/м в одно сложение. При наличии вегетационных павильонов, проводится несколько менее масштабное изучение, но позволяющее исследователю работать в черте города. Растения выращивают в сосудах и с момента всходов на «ночной период» перемещают в павильон (длинный день) или затемненный павильон (короткий день). Авторы отработали оба эти способа создания короткого дня и считают их одинаково надежными. Получены данные, позволяющие дифференцировать образцы по степени ФПЧ, а использование коэффициента делает возможным сравнивать результаты разных лет изучения [1-3]. Корректность сведения данных подтверждена хорошо воспроизводимыми значениями сорта-стандарта, высевавшегося каждый год вместе с новым набором образцов.

Список литературы

1. Кошкин В. А., Романова О. И., Матвиенко И. И. Каталог мировой коллекции ВИР. Гречиха. Характеристика образцов по фотопериодической чувствительности. Вып. 763. Петербург, ВИР, 2005.

2. Romanova O. I. Northern populations of tartary buckwheat with respect to day length. Proc. of the 9th. International Symp. on Buckwheat. Prague, Czech Republic, 2004.

3. Кошкин В. А., Романова О. И., Матвиенко И. И. Фотопериодическая чувствительность гречихи различного географического происхождения. Материалы 6 Междунар. симпозиума «Новые и нетрадиционные расстения и перспективы их практического использования». М, Пушкино, 2005.

Динамические процессы в силовом трансформаторе с тонкими обмотками

Ростовская О. И.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Традиционная теория трансформаторов [1], излагаемая в учебниках практически без изменения на протяжении более 100 лет, в действительности как показано в [2-5] противоречит физическим принципам его работы. В частности в традиционной теории используются такие понятия, как так называемая «результатирующая м. д. с. (или намагничивающий ток)» и «создаваемый ею общий магнитный поток».

В связи с этим, профессором М. А. Шакировым была предложена теория, опирающаяся на реальные магнитные потоки в стержнях, ярмах и окне трансформаторов, т. е. потоки, которые могут быть померены с помощью измерительных витков.

Цель настоящей работы — рассмотрение динамических процессов в идеализированном трансформаторе при внезапном КЗ.

1. Под электродинамической стойкостью трансформатора подразумевают его способность без повреждений противостоять действию механических сил, возникающих при КЗ. Отсюда понятно, насколько важным является умение находить *ударные* токи к. з.

2. Как и в установившемся режиме, необходимо различать три потока: в *стержне* $\Phi_1^{КЗ}(t) \equiv \Phi_{Ст}^{КЗ}(t)$, в *окне* $\Phi_{\delta 0}^{КЗ}(t)$ и в *боковом ярме* $\Phi_2^{КЗ}(t) \equiv \Phi_{Б}^{КЗ}(t)$, который следует называть *антипоток* *внезапного к. з.*, поскольку он при этом режиме оказывается в противофазе с потоком в стержне. Точнее в противофазе находятся их установившиеся составляющие.

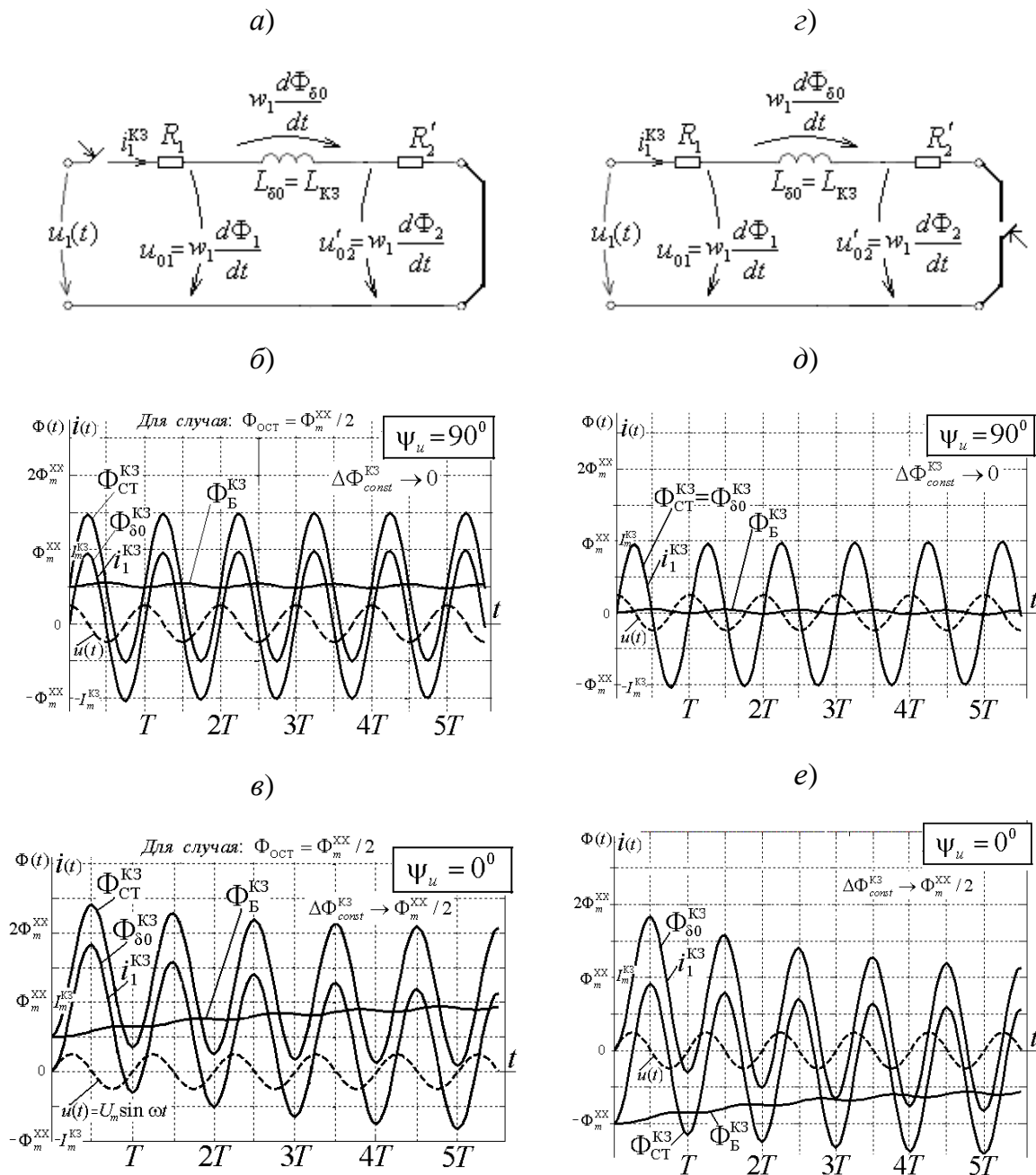


Рис. 1. Включение предварительно закороченного трансформатора (а, б, в) и его внезапное к. з. с режима холостого хода (г, д, е) (программа: *DINAM_ideal \ kz_paper1c.m*)

3. Завершающим этапом анализа электродинамической устойчивости является расчет ударных сил. Сила, действующая на виток обмотки НН:

$$f_1^{\text{ударн}} = B_{\text{ср}}^{\text{ударн}} \cdot i_{1\text{уд}}^{K3} \pi D_a^0 = B_{\text{ср}}^{\text{ударн}} K_{\text{уд}} I_{1m}^{K3} \pi D_a^0 = f_{1m}^{K3} K_{\text{уд}}^2,$$

$$f_{1m}^{K3} = -\frac{\mu_0 w_1 \pi D_a^0}{2h} (I_{1m}^{K3})^2.$$

Сжимающая виток сила в поперечном сечении равна:

$$f_{1\sigma}^{\text{ударн}} = \frac{f_1^{\text{ударн}}}{2\pi} = f_{1\sigma m}^{K3} K_{\text{уд}}^2, \quad f_{1\sigma m}^{K3} = \frac{f_{1m}^{K3}}{2\pi} = \frac{\mu_0 w_1 D_a^0}{4h} (I_{1m}^{K3})^2.$$

Аналогичным образом выражаются растягивающие усилия обмотки ВН.

$$f_2^{\text{ударн}} = f_{2m}^{K3} K_{\text{уд}}^2; \quad f_{2\sigma}^{\text{ударн}} = f_{2\sigma m}^{K3} K_{\text{уд}}^2; \quad f_{2\sigma m}^{K3} = f_{2m}^{K3} / 2\pi.$$

Однако их проще найти пересчетом сил, полученных для обмотки НН:

$$f_2^{\text{ударн}} = \frac{w_1 D_b^0}{w_2 D_a^0} f_1^{\text{ударн}}; \quad f_{2\sigma m}^{K3} = \frac{w_1 D_b^0}{w_2 D_a^0} f_{1\sigma m}^{K3};$$

$$f_{2\sigma}^{\text{ударн}} = \frac{w_1 D_b^0}{w_2 D_a^0} f_{1\sigma}^{\text{ударн}}.$$

Вывод

Внезапное к. з. сопровождается появлением постоянного магнитного потока в стали. При этом характеры изменения магнитных потоков в стержне и боковом ярме различны: в то время, как один из них имеет колебательный характер, другой изменяется почти по экспоненте (с пренебрежимо малыми колебаниями).

Список литературы:

1. Вольдек А. И. Электрические машины. Л: Энергия, 1974.
2. Александров Г. Н., Шакиров М. А. Трансформаторы и реакторы. Новые идеи и принципы. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006.
3. Шакиров М. А. Теоретические основы электротехники. Тензоры в ТОЭ. Электродинамика. Теория относительности. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011.
4. Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. 3-2(154)/2012.
5. Шакиров М. А. 2Т-образные схемы замещения трансформаторов. Электричество, 2010, № 5.

Модернизация электропривода насосов охлаждения конденсаторов на АЭС

Серов А. Е., Никифорова А. П.

*Институт ядерной энергетики
(филиал) Санкт-Петербургского государственного
политехнического университета в г. Сосновы Бор*

Конденсаторы турбин являются одними из основных потребителей технической (морской) воды на атомных электростанциях. Помимо них охлаждающая вода поступает на маслоохладители турбины, маслоохладители системы уплотнения вала генератора, маслоохладители трансформаторов, охладители дренажного бака и расширителя дренажей и теплообменники контура газоохладителей генератора.

На ЛАЭС для охлаждения конденсаторов на береговой насосной установлено по 8 циркуляционных насосов (ЦН) на блок. В качестве ЦН применены осевые поворотлопастные насосы типа ОПВ2 — 145 с электрическим приводом для поворота лопастей. Электроприводом циркуляционного насоса служит вертикальный асинхронный двигатель типа ДВАН2-215-1600/6-16КУЗ с номинальной частотой вращения 375 об./мин.

Схема напорных трубопроводов системы технического водоснабжения предусматривает как блочную работу: насос — конденсатор, так и параллельную работу — на общую магистраль. Для этого каждая группа из 4-х ЦН имеет коллектор поперечной связи, Ду-2000 на котором установлено 3 рассечных поворотных дисковых затвора с электроприводом. Такая схема предусматривает возможность, при выходе из строя одного из ЦН, перейти на параллельную работу 3-х ЦН на 4 конденсатора.

На данный момент регулирование подачи охлаждающей воды осуществляется за счет изменения количества работающих насосов (ступенчатое регулирование) или дроссельное регулирование — затворами, что снижает КПД станции.

Экономичным методом является регулирование производительности самого насоса, путем изменения скорости вращения электродвигателя, за счет изменения частоты питающего напряжения. Для этого необходимо подключить один преобразователь частоты на группу (4 насоса) и регулировать частоту питающего напряжения от 50 Гц до 30 Гц.

С его помощью можно автономно изменять производительность одного из насосов, не оказывая влияния на другие. Современная отечественная промышленность выпускает преобразователи частоты для насосных агрегатов с напряжением (6 ÷ 10) кВ в диапазоне мощностей от 315 до 12500 кВт [1].

Кроме того преобразователь частоты может выполнять функции:

- диагностики, контроля, электронной защиты электродвигателя насосного агрегата;

- увеличения ресурса и надежности работы технологического оборудования;

- энергосбережения (снижение расхода энергии до 40 %).

Срок окупаемости за счет экономии электроэнергии составляет от 2,5 до 3 лет.

Таким образом, модернизация электропривода насосов охлаждения конденсаторов с использованием частотного преобразователя для питания асинхронного двигателя позволит повысить надежность эксплуатации и существенно снизить расходы энергии.

Список литературы

1. Частотно-регулируемые электроприводы НПП «ЭКРА», ekra.ru

Регулирование выдачи в энергосистему активной и реактивной электроэнергии на АЭС

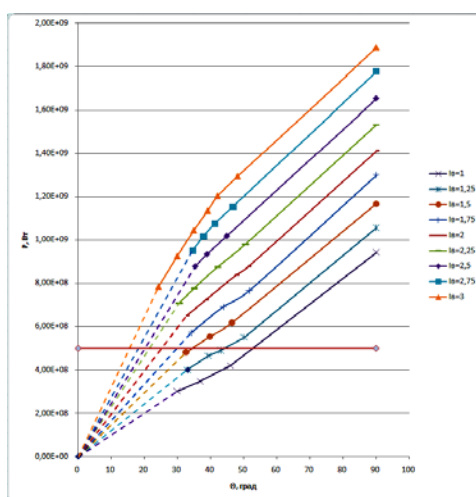
Серов А. Е., Никифорова А. П.

*Институт ядерной энергетики
(филиал) Санкт-Петербургского государственного
политехнического университета в г. Сосновы Бор*

Атомные электрические станции, вырабатывая в виде конечного продукта электрическую энергию, участвуют в важной задаче регулирования основных показателей качества этой энергии — ее частоты и амплитуды напряжения. Поэтому вопросы регулирования выдачи в энергосистему активной и реактивной энергии являются весьма актуальными. Регулирование активной и реактивной мощности каждого турбогенератора производится за счет регулирования механической мощности на валу турбоагрегата (активная мощность) и путем регулирования тока возбуждения генератора (реактивная мощность). Полное исследование этих процессов на работающем оборудовании невозможно и крайне опасно (уроки Чернобыля). Поэтому эффективным методом исследования процессов

регулирования мощности турбогенераторов является математическое моделирование этих процессов. В работе исследовались процессы регулирования активной и реактивной мощности на примере блоков турбогенератор-трансформатор ЛАЭС методом математического моделирования с использованием Matlab of Simulink [1]. Для получения данных о свойствах самого генератора были сняты характеристики его работы в автономном режиме (характеристики холостого хода и короткого замыкания, внешние и регулировочные характеристики). Далее рассматривалась работа одного турбогенератора ТВВ-500 с напряжением 20 кВ, включенного через блочный трансформатор ТЦ- 630 в систему 330 кВ. Были определены угловые и V-образные характеристики, показывающие способы регулирования активной (угловые характеристики) и реактивной (V-образные характеристики) мощностей (рис. 1).

а)



б)

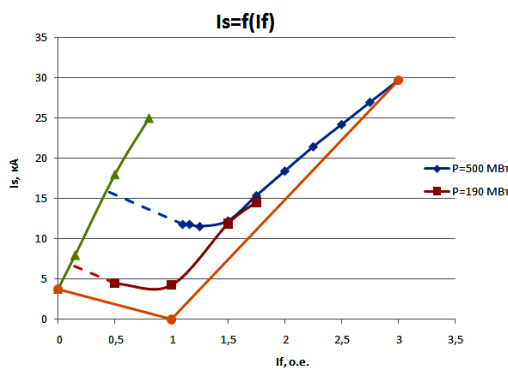


Рис. 1 Работа турбогенератора параллельно системе:
а — угловая характеристика $P = F(\theta)$; б — V - образные характеристики

Угловые характеристики турбогенератора были получены при различных значениях тока возбуждения от номинального до трехкратного. Перегрузочная способность турбогенератора при таком диапазоне изменения тока возбуждения изменялась от 1.8 до 3.7 номинального значения. Эти данные могут быть в дальнейшем использованы для расчетов турбогенератора в режимах форсировки.

V-образные характеристики определялись для трех значений активной нагрузки: $P_1 = 0$; $P_2 = 190$ МВт; $P_3 = P_n = 500$ МВт. Слева V-образные характеристики ограничены минимальными токами возбуждения с точки зрения устойчивости работы турбогенератора. Точки, характеризующие минимальные значения тока статора при граничном значении тока возбуждения, лежат на регулировочной характеристике турбогенератора. Коэффициент мощности в этих случаях равен единице ($\cos\varphi = 1$).

Для определения влияния изменения нагрузки одного турбогенератора на работу другого, подключенного параллельно с ним к одной системе 330 кВ (первый реакторный блок РБМК 1000 на ЛАЭС) была собрана и испытана соответствующая модель. Была выявлена независимость работы каждого турбогенератора (соблюден принцип автономного регулирования). В работе также испытаны модели регулирования мощности 4-х турбогенераторов (первая очередь ЛАЭС, блоки № 1 и № 2), выдающих электроэнергию в систему 330 кВ (рис. 2).

В заключении была исследована модель работы двух турбогенераторов в блоке с 3-х фазной группой однофазных трансформаторов 3*ОРЦ-417 параллельно системе 750 кВ, которая использовалась в дальнейшем для исследования работы турбогенераторов второй очереди ЛАЭС (3-й и 4-й реакторные блоки) для выдачи электроэнергии в энергосистему 750 кВ.

Выводы по работе:

1. Путем моделирования получены и исследованы характеристики турбогенераторов 500 МВт, которые эксплуатируются на ЛАЭС и других АЭС.

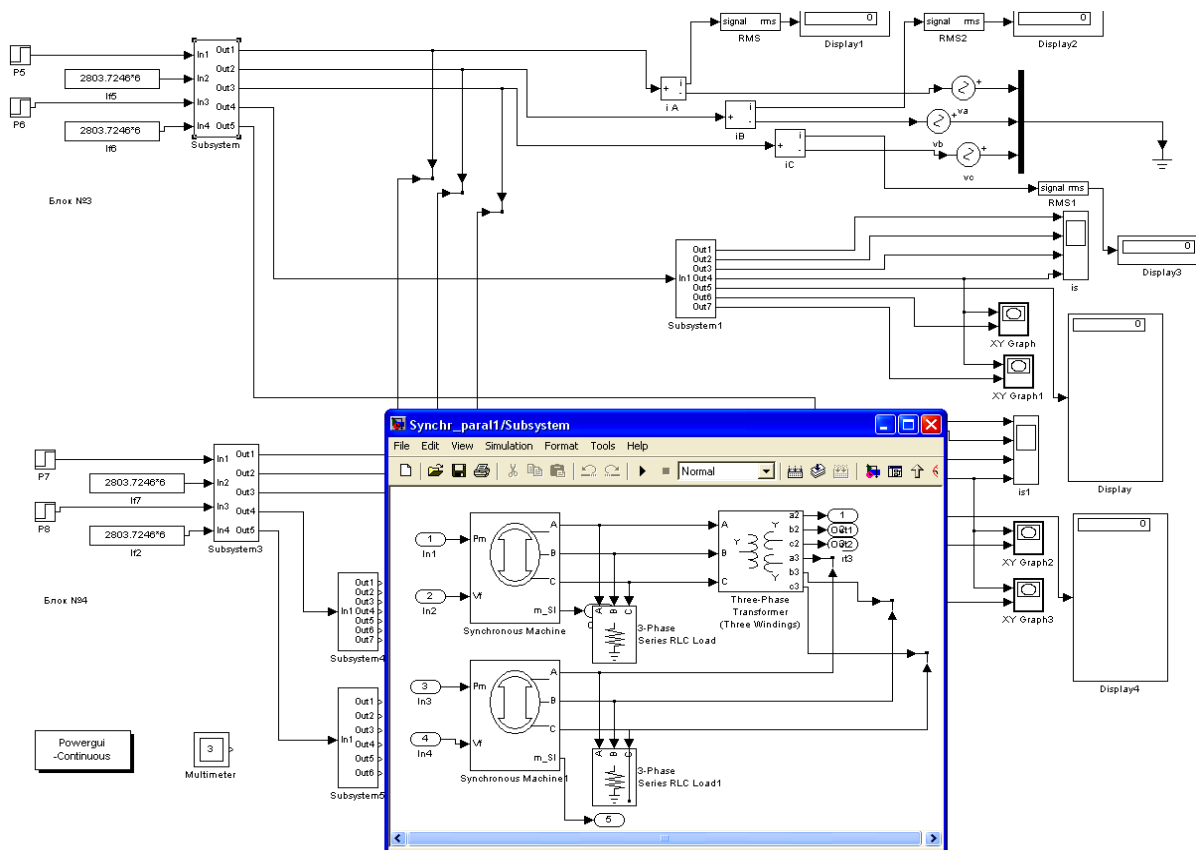


Рис. 2 Модель схемы 3 и 4 блоков ЛАЭС с применением subsystemы

2. Исследованы вопросы регулирования активной и реактивной мощностей турбогенератора, работающего параллельно с энергосистемой.

3. Подтвержден принцип автономности регулирования многосвязной системы- турбогенераторы - энергосистема.

4. Разработаны модели как одиночных энергетических блоков (турбогенератор 500МВт- трансформатор 630МВА), так и укрупненных блоков (2 турбогенератора — 3-х фазная группа однофазных трансформаторов с расщепленной низковольтной обмоткой)

Список литературы

1. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, Sim Power Systems и Simulink. — М.: ДМК; СПб.: Питер, 2008. — 288с.: ил.

Десять заповедей Коза Ностра

Снетков В. Н., Савельева А. П.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

В настоящее время все большей проблемой становится организованная преступность. Коза Ностра (в переводе с сицилийского языка «*Cosa Nostra*» — «*Наше дело*») — сицилийская преступная организация, определяемая некоторыми правоведами как мафия. История ее уходит корнями в начало XIX века, когда участники Коза Ностра занимались хашитой владельцев апельсиновых плантаций, а также дворян, владеющих крупными земельными участками, применяя при этом самые жестокие методы в своей деятельности, носящей характер рэкета. Однако с развитием этой преступной организации Коза Ностра доросла до международной организации уже в XX веке и расширила свою деятельность, охватив многие преступные направления, главным из которых является бандитизм [1]. Коза Ностра отличается четкой иерархией власти, имеет собственную структуру. Так, криминальные составляющие Коза Ностра именуются «семьей», каждое из которых осуществляет свою преступную деятельность на строго закрепленной территории (районе, городе, регионе). Членами «семьи» могут быть только чистокровные итальянцы, а касательно организаций, находящихся на острове Сицилия — только чистокровные сицилийцы. Прочими участниками группировки могут быть только белые католики. Количество участников одной семьи может варьироваться от 20 до 2 000 [2]. Однако иерархическая структура при этом остается однотипной. Во главе «семьи» стоит босс (дон, итал. — *capomafioso*), который обладает информацией о любом «деле», совершенном членами «семьи». Дон избирается голосованием. До 1950-х годов в голосовании участвовали вообще все члены семьи, но впоследствии от этой практики отказались, поскольку она привлекала внимание правоохранительных органов [3]. В настоящее время голосование проводится только среди капо. У дона всегда есть заместитель, подручный. Он является вторым человеком в семье и назначается самим доном [4]. Он также может выполнять функции дона в случае

отсутствия у дона таковой возможности (например, вследствие убийства или ареста дона). Консильери — советник семьи, человек, которому босс может доверять и к советам которого прислушивается. Он служит посредником при разрешении спорных вопросов, выступает посредником между боссом и подкупленными политическими, профсоюзными или судебными деятелями либо исполняет роль представителя семьи на встречах с другими семьями [5]. У консильери, как правило, нет собственной «команды», но они имеют значительное влияние в семье. При этом у них обычно есть и законный бизнес, например, адвокатская практика или работа биржевым маклером [6]. Капореджиме, капо, или капитан — глава «команды», или «боевой группы» (состоящей из «солдат»), который несет ответственность за один или несколько видов криминальной деятельности в определенном районе города и ежемесячно отдает боссу часть доходов, получаемых с этой деятельности [7]. В семье обычно 6-9 таких команд, и в каждой из них — до 10 солдат. Капо подчиняется подручному либо самому боссу. Представление в капо делает подручный, но непосредственно капо назначает лично дон. Самым младшим членом семьи является солдат, который вступает в «семью», во-первых, поскольку он доказал для нее свою полезность, а во-вторых, по протекции одного или нескольких капо. После избрания солдат обычно попадает в ту команду, капо которой рекомендовал его.

За пределами «семьи» существуют соучастники. Это лица, еще не ставшие членами семьи, но уже наделенные определенным статусом, выполняющие мелкие вспомогательные для «семьи» функции (функции посредника при сделках по продаже наркотиков, выступление в роли подкупленного представителя профсоюза или бизнесмена и др.). Не итальянцы обычно не принимаются в семью и практически всегда остаются в статусе соучастников [8].

Число членов каждой «семьи» может насчитывать от 20 до нескольких сотен человек. Что же привлекает простых граждан в эту преступную организацию? Что заставляет законопослушного гражданина преступить закон?

5 ноября при аресте Сальваторе Ло Пикколо, влиятельного члена Коза Ностра, получившего бразды правления организацией от предыдущего дона Бернардо Провенцано, был найден неофициальный свод правил поведения, которым должен следовать каждый член Коза Ностра. Документ, известный также под названием «Десять заповедей Коза Ностра» хранился в кожаном портфеле среди других бумаг Сальваторе Ло Пикколо [9]. В число заповедей входили следующие:

1. Никто не может сам подойти и представиться кому-то из «наших» друзей. Он должен быть представлен другим нашим другом.
2. Никогда не смотрите на жен друзей.
3. Не допускайте, чтобы вас видели в обществе полицейских.
4. Не ходите в клубы и бары.
5. Ваш долг — всегда находиться в распоряжении «Коза Ностра», даже если ваша жена рождает.
6. Всегда являйтесь на назначенные встречи вовремя.
7. С женами надо обращаться уважительно
8. Если вас просят дать любую информацию, отвечайте правдиво.
9. Нельзя присваивать деньги, которые принадлежат другим членам «Коза Ностра» или их родственникам.
10. В Коза Ностра не могут входить следующие лица: тот, чей близкий родственник служит в полиции; тот, чей родственник или родственница изменяет супруге (супругу); тот, кто ведет себя дурно и не соблюдает нравственных принципов.

Если вдаваться в детальный анализ, то можно провести параллель с общехристианскими заповедями: запрет предательства, верность, преданность, покорность, запрет воровства. Как известно, нарушителей данных правил Коза Ностра жестоко карает, что в еще больше степени стимулирует «законопослушность» у членов «семьи». Это вырабатывает у людей определенную степень доверия. Находясь в таком преступном социуме, человек считает себя защищенным от возможного обмана или нанесения ему урона, отношения носят более доверительный характер, ведь субъекты всегда уверены, что в случае некорректного поведения в их отношении, обидчик получит реальное наказание. Конечно, существуют данные о том,

что «Десять заповедей Коза Ностра» не имеют традиционной истории и были написаны самим Ло Пикколо как наставления для молодого поколения членов «семьи». Стоит еще раз отметить, что из не итальянцев в Коза Ностра могут попасть только белые католики. Религия для членов «семьи» также не стоит на последнем месте. Иными словами, легче всего в Коза Ностра могут попасть субъекты, обладающие высокой степенью духовного доверия, но не нашедшие отклик со стороны законопослушного общества. Т. е. причиной столь быстрого роста данной преступной организации является условия, создаваемые обществом для определенных слоев населения. Таким образом, создавая благоприятные условия для малоимущих, повышая уровень образования, медицинского и пенсионного обеспечения и т. д., законопослушным гражданам просто не будет смысла входить в преступные организации для улучшения уровня жизни. Наличие реально работающей, направленной на защиту прав и свобод рядового гражданина судебной системы, а также активная борьба с коррупцией также поможет снизить приток мафиозных единиц в Коза Ностра.

Список литературы

1. Бальзамо У., Карпоци Дж. Мафия. Первые 100 лет. Пер. с англ. — М.: ОЛМА-ПРЕСС, 1996. — 447 с.
2. Дикки Дж. Коза Ностра. История сицилийской мафии. — М.: Эксмо, 2007. — 528 с.
3. Дориги Дж. Мафия. — М.: «Кураре-Н», 1998. — 112 с.
4. Говард Б. Страна Крестных отцов. ФБР против мафии. — М.: Вагриус, 1995. — 448 с.
5. Иванов Р. Мафия в США. — М.: РАН, 1996. — 414 с.
6. Малышев В. В. Процесс над мафией. — М.: Юрид. лит., 1989. — 256 с.
7. Полькен К., Сцепоник Х. Кто не молчит, тот должен умереть. Факты против мафии. Пер. с нем. — М.: «Мысль», 1982. — 383 с.
8. Рудаков А. Л. Боссы сицилийской мафии. — М.: Эксмо, 2001. — 384 с.
9. Русаков Н. П. Из истории сицилийской мафии. — М.: Наука, 1969. — 294 с.

**Вывод уравнения изобарной теплоемкости
в параметрической форме и применение его
в расчетах термодинамических свойств веществ**

Федоров С. В.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Для аналитического выражения зависимости теплоемкости от температуры при температурах выше 298,15 К применяются как правило имперические уравнения, предложенные Майером и Келли [1]

$$C_p^o(T) = a + bT - cT^{-2}.$$

Для аппроксимации экспериментальных данных по энтальпии выше указанного полинома, использовался метод, предложенный Шомейтом [2]. Однако эти методы недостаточно точны при аппроксимации расчетных значений теплоемкости в область достаточно высоких температур. В связи с этим возникает необходимость в поиске теоретически обоснованных аналитических зависимостей теплоемкости от температуры. Наибольший вклад в теплоемкость твердых тел при не очень низких температурах вносят решеточная составляющая теплоемкости [3-5].

Согласно Эйнштейну [6] колебания атомов в одноатомном твердом теле могут рассматриваться как колебания квантовых гармонических осцилляторов. В теории Дебая [7] одноатомное кристаллическое тело рассматривается как непрерывная изотропная, упругая среда, имеющая бесконечно большое число собственных колебаний. В динамической теории кристаллической решетке Борна и Кармана [8,9] кристалл рассматривался как система гармонических осцилляторов, чистоты которых соответствуют собственным частотам кристаллов. Однако выше рассмотренные теоретические обоснования зависимости теплоемкости от температуры не привели к уравнениям, обеспечивающих удовлетворительную сходимость в широком интервале температур результатов расчета с экспериментом.

В этой связи в работе [10] рассматривался вопрос о принципиальной необходимости соответствия выведенного уравнения энтропии:

$$S^o = (-\alpha_s) \cdot \ell \left(\frac{A_1}{T^2} + \frac{2A_2}{T \ln T} + \frac{A_3}{(\ln T)^2} + c' \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

$$\text{где } A_1, A_2, A_3 - \text{const}; \quad c' = \left(\frac{a_1 + b_1 \cdot T}{c_1 + T} \right); \quad a_1, b_1, c_1 - \text{const} \quad (2)$$

фундаментальному соотношению

$$C_p^o = T \frac{\partial S^o}{\partial T}, \quad (3)$$

вытекающего из феноменологической теории термодинамики, т. е. рассматривалось требование получения общего вида функции изобарной теплоемкости из (3) посредством дифференцирования функции (1) по температуре. Из результата дифференцирования функции (1) по температуре, принимая во внимание равенство (3), получили уравнение изобарной теплоемкости

$$C_p^o = \ell^{(A_3 + c')^{\frac{1}{2}}} \cdot \ell^{\pm \left(\frac{A_1}{T^2} + \frac{2A_2}{T \ln T} + \frac{A_3}{(\ln T)^2} + c' \right)^{\frac{1}{2}}} \cdot \left\{ \frac{b' \cdot T}{2(A_3 + c')^{\frac{1}{2}}} + \frac{\frac{A_1}{T^2} + \frac{A_2(1 + \ln T)}{T(\ln T)^2} + \frac{A_3}{(\ln T)^3} + b' \cdot T}{\left(\frac{A_1}{T^2} + \frac{2A_2}{T \ln T} + \frac{A_3}{(\ln T)^2} + c' \right)^{\frac{1}{2}}} \right\}, \quad (4)$$

$$\text{где } b' = \frac{dc'}{dT} = \left(\frac{a_1 + b_1 \cdot T}{c_1 + T} \right)' = \frac{b_1 \cdot c_1 - a_1}{(c_1 + T)^2} \approx \text{const при } (c_1 + T) \gg 1; \quad a_1, b_1, c_1 - \text{const}, \text{ т. е.}$$

$\frac{dc'}{dT} = b'(T) \approx \text{const}$. Надежность уравнения (4) подтверждена расчетами, согласующимися с экспериментальными данными литературных источников [10-14]. Приведем уравнение (1) к виду

$$\left[\ln S^o(T) - \ln(-\alpha_s) \right]^2 - c' = \frac{A_1}{T^2} - \frac{2\sqrt{A_1 A_3}}{T \ln T} + \frac{A_3}{(\ln T)^2} + \frac{2A_2}{T \ln T} + \frac{2\sqrt{A_1 A_3}}{T \ln T}, \quad (5)$$

из которого вытекает

$$\left[\ln S^o(T) \right]^2 = \frac{A_1}{T^2} + \frac{2A_2}{T \ln T} + \frac{A_3}{(\ln T)^2} + 2 \left[\ln S^o(T) \right] \left[\ln(-\alpha_s) + \sqrt{c'} \right] - \left[\ln(-\alpha_s) + \sqrt{c'} \right]^2 \quad (6)$$

или

$$\left[\ln S^o(T) \right]^2 = \frac{A_1}{T^2} + \frac{2A_2}{T \ln T} + \frac{A^3}{(\ln T)^2} + A_4, \quad (7)$$

где

$$A_4 = 2 \left[\ln S^o(T) \right] \left[\ln(-\alpha_s) + \sqrt{c'} \right] - \left[\ln(-\alpha_s) + \sqrt{c'} \right]^2. \quad (8)$$

На базе уравнения (6), рассматривая систему четырех линейных уравнений, находим значения величин A_1, A_2, A_3, A_4 . В равенстве (8) введем замену

$$\ln(-\alpha_s) + \sqrt{c'} = x, \quad (9)$$

получим

$$x^2 - 2[\ln S^o(T)]x + A_4 = 0 \quad (10)$$

откуда

$$x_{1,2} = \frac{2[\ln S^o(T)] \pm \sqrt{4[\ln S^o(T)]^2 - 4A_4}}{2}. \quad (11)$$

Подставляя значения $x_{1,2}$ из уравнения (11) в равенство (9), имеем

$$x_{1,2} = \ln(-\alpha_s) + \sqrt{c'}$$

или

$$(-\alpha_s) = \ell^{x_{1,2}} \cdot \ell^{-\sqrt{c'}} = \ell^{x_{1,2} - \sqrt{c'}}. \quad (12)$$

Сопоставляя правую часть равенства (12) с первым сомножителем функции изобарной теплоемкости (4), находим

$$C_p = (-\alpha_s) = \ell^{(A_5 + c')^{\frac{1}{2}}} = \ell^{x_{1,2} - \sqrt{c'}} \quad (13)$$

при условии $A_5 = x_{1,2}^2 - 2x_{1,2} \cdot \sqrt{c'}$.

Уравнение (13) связывает функцию $(-\alpha_s)$ с изобарной теплоемкостью C_p

принимая в (12) $\ell^{x_{1,2}} = \frac{a}{b}$; $\sqrt{c'} = n'(T)$, получим

$$(-\alpha_s) = \frac{a}{b} \cdot \ell^{-n'(T)}. \quad (14)$$

Учитывая, что величина $(-\alpha_s)$ имеет размерность теплоемкости (см. (1)) ее можно отождествить с изобарной теплоемкостью C_p и на основании (14)

запишем

$$(-\alpha_s) = C_p = \frac{a}{b} \cdot \ell^{-n'(T)} \approx \frac{a}{b(1+n'(T))} = \frac{a}{b\left(1 + \frac{1}{b} \cdot n(T)\right)} = \frac{a}{b+n(T)} \quad \text{или}$$

$$C_p = \frac{a}{b+n(T)}, \quad (15)$$

где

$$n(T) = \frac{1}{b} \cdot n'(T) = \left(\frac{a_1 + b_1 \cdot T}{c_1 + T} \right)^{\frac{1}{2}}; \quad a_1, b_1, c_1 - const. \quad (16)$$

Величины a, b в равенстве (15), вообще говоря, есть функции термодинамических потенциалов, но во многих случаях при оценке теплоемкости веществ в широких интервалах температур их можно рассматривать как постоянные величины.

Выведенное уравнение (15) имеет внутреннюю согласованность с квантово механическими свойствами однотипных частиц термодинамических систем. Дифференциал функции (15) можно представить

$$\frac{b}{a} dC_p = \frac{dm}{1+m} = d \ln|1+m|; \quad m = \frac{n}{b}, \quad (17)$$

проинтегрировав уравнение (17), находим

$$\frac{b}{a} C_p = \ln|1+b| = \ln\left|1 + \frac{n}{b}\right|$$

или

$$\ell^{\frac{b}{a} C_p} = 1 + \frac{n}{b}, \quad (18)$$

откуда

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{b} \cdot \frac{1}{\ell^{\frac{b}{a} C_p} - 1}. \quad (19)$$

Преобразуем показатель степени в равенстве (19) для чего введем функцию, связанную с изобарно - изотермическим потенциалом Z

$$\frac{b}{a} = \frac{1}{R} \left(1 - \frac{Z + RT}{T \cdot C_p \cdot R} \right). \quad (20)$$

Подставляя функцию (20) в (19) и, учитывая зависимости $U = \varepsilon_i \cdot N$; $Z = \mu \cdot N$; $C_p = C_v + R$, пришли к уравнению

$$\frac{b}{n(T)} = n'_i = \frac{1}{\ell^{\frac{\varepsilon_i - \mu}{k \cdot T}} - 1}, \quad (21)$$

где n'_i отражает число заполнения одной ячейки в i -том «ящике» по статистике Бозе - Эйнштейна. Учитывая, что число частиц n_i в i -м «ящике» пропорционально статистическому весу g_i , уравнение (21) приводится к функции распределения частиц согласно статистике Бозе – Эйнштейна

$$n_i = \frac{g_i}{\ell^{\frac{\varepsilon_i - \mu}{k \cdot T}} - 1}, \quad (22)$$

на базе которой выведено уравнение энтропии [6]:

$$S = -\frac{N \cdot \mu}{T} + \frac{E}{T} + k \sum_i (z_i - 1) \ln \left(1 - \ell^{\frac{\mu - \varepsilon_i}{kT}} \right). \quad (23)$$

Из уравнения (18) также вытекает

$$\frac{b}{n(T)} \cdot \left(\ell^{\frac{b}{a} C_p} - 1 \right) = 1. \quad (24)$$

Исследуем функцию (24) на экстремум, для этого продифференцируем ее по температуре, и результат дифференцирования приравняем к нулю.

$$\left(\frac{b}{n(T)} \right)'_T \cdot \left(\ell^{\frac{b}{a} C_p} - 1 \right) + \left(\frac{b}{n(T)} \right) \cdot \left(\ell^{\frac{b}{a} C_p} - 1 \right)'_T = 0, \quad (25)$$

где $a = const$; $b = const$.

Правая часть равенства (25) будет равна нулю, если производные левой части этого равенства будут равны нулю.

Из результата дифференцирования функции $\left(\frac{b}{n(T)} \right)'_T$ согласно равенству (19), имеем

$$\left(\frac{b}{n(T)} \right)'_{\max} = \pm \frac{b}{\sqrt{b_1}}. \quad (26)$$

С другой стороны, продифференцировав функцию $\left(\ell^{\frac{b}{a} C_p} - 1 \right)'_T$ по температуре T , получим

$$\ell^{\frac{b}{a} C_p} \cdot \left(\frac{b}{a} \cdot C_p \right)'_T = \frac{b}{a} \cdot \ell^{\frac{b}{a} C_p} \cdot (C_p)'_T = 0, \quad \text{где } \frac{b}{a} \cdot \ell^{\frac{b}{a} C_p} \neq 0; \quad (C_p)'_T = 0. \quad (27)$$

Как известно, изобарная теплоемкость C_p связана со свободной энергией Гиббса $Z(P, T)$ соотношением

$$C_p(T) = -T \cdot \left(\frac{\partial^2 Z}{\partial T^2} \right)_p, \quad (28)$$

следовательно, согласно (27) и (28), находим

$$(C_p(T))'_T = - \left(\frac{\partial^2 Z}{\partial T^2} \right)'_p - T \left[\left(\frac{\partial^2 Z}{\partial T^2} \right)'_p \right]_T = - \left(\frac{\partial^2 Z}{\partial T^2} \right)'_p - T \cdot \left(\frac{\partial^3 Z}{\partial T^3} \right)'_p = 0. \quad (29)$$

Из (29) вытекает:

$$(C_p(T))_{\max} = \left[-T \cdot \left(\frac{\partial^2 Z}{\partial T^2} \right)_p \right]_{\max} = T^2 \cdot \left(\frac{\partial^3 Z}{\partial T^3} \right)_p. \quad (30)$$

Запишем уравнение (21) в виде

$$n'_i = \frac{1}{\ell^{\frac{\varepsilon_i - \mu}{k \cdot T}} - 1}. \quad (31)$$

Решая уравнение (31) относительно химического потенциала μ , находим

$$\mu = \varepsilon_i + k \cdot T \cdot \ln \left(\frac{n'_i}{n'_i + 1} \right) = \varepsilon_i + k \cdot T \cdot \ln \left(\frac{b/n(T)}{b/n(T) + 1} \right) = \varepsilon_i + k \cdot T \cdot \ln \left(\frac{b}{b + n(T)} \right). \quad (32)$$

Среднюю энергию поступательного движения частицы $\varepsilon_i = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T$, подставим в (32), получим функцию химического потенциала, связанную со статистикой Бозе – Эйнштейна

$$\mu = k \cdot T \cdot \left[\frac{3}{2} + \ln \left(\frac{b}{b + n(T)} \right) \right]. \quad (33)$$

Для статистики Ферми-Дирака исходным уравнением для числа n'_i заполнения ячейки в i -том ящике, как известно, является функция

$$n'_i = \frac{1}{\ell^{\frac{\varepsilon_i - \mu}{k \cdot T}} + 1}. \quad (34)$$

Из преобразований уравнения (34) вытекает функция химического потенциала, связанного со статистикой Ферми – Дирака,

$$\mu = k \cdot T \cdot \left[\frac{3}{2} + \ln \left(\frac{b}{n(T) - b} \right) \right]. \quad (35)$$

Из уравнений (15) и (16) вытекает важное соотношение

$$n(T) = \sqrt{\frac{-|a_1| + |b_1| \cdot T}{-|c_1| + T}} = \sqrt{\frac{-|a_1|}{-|c_1|}} \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{|b_1|}{|a_1|} \cdot T}{1 - \frac{T}{|c_1|}}} = \left(\frac{|a_1|}{|c_1|} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{\sqrt{1 - \frac{T}{|a_1|/|b_1|}}}{\sqrt{1 - \frac{T}{|c_1|}}} = \sqrt{\frac{|a_1|}{|c_1|}} \cdot \sqrt{\frac{\eta'_1}{\eta'_2}}, \quad (36)$$

где $\eta'_1 = 1 - \frac{T}{T_1}$; $\eta'_2 = 1 - \frac{T}{T_2}$; $T_1 = \frac{|a_1|}{|b_1|}$; $T_2 = |c_1|$, причем

$$\eta'_1 = \frac{1}{\eta_1}; \quad \eta'_2 = \frac{1}{\eta_2}, \quad (37)$$

где η_1 и η_2 можно отождествить с КПД тепловых машин, для которых справедливы равенства

$$\eta_1 = 1 - \frac{Q_1}{Q} = 1 - \frac{T_1}{T}; \quad \eta_2 = 1 - \frac{Q_2}{Q} = 1 - \frac{T_2}{T}, \quad (38)$$

где Q_1 и Q_2 – теплота, отдаваемая термодинамической системой холодильнику при температуре T_1 и T_2 – соответственно; Q – теплота, получаемая термодинамической системой от нагревателя при температуре T .

Преобразовав уравнение (15) с учетом правой части равенства (36), найдем

$$\eta'_1 = \left(\frac{a}{c_p - b} \right)^2 \cdot \frac{|c_1|}{|a_1|} \cdot \eta'_2. \quad (39)$$

Решая совместно уравнения (37) и (39), получим

$$\eta_2 = \left(\frac{a}{c_p - b} \right)^2 \cdot \frac{|c_1|}{|a_1|} \cdot \eta_1. \quad (40)$$

Известно, что термический коэффициент КПД равновесного цикла Карно не зависит от природы рабочего тела, а зависит от температур источников тепла: $\eta_{1,2} = f(t_1, t_2)$. Выбрав, например, в качестве рабочего тела электронный газ, изобарная теплоемкость которого не зависит от температуры, необходимо в равенстве (39) коэффициент при η_2 принять равным единице. Из этого вытекает

$$C_p^o = \frac{a}{\sqrt{\frac{|a_1|}{|c_1|}} + b} = const \text{ и } \eta_1 = \eta_2. \quad (41)$$

На основании равенств (38), имеем

$$\frac{Q}{T} = \frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}. \quad (42)$$

Равенство (42) отражает принцип существования энтропии в интегральной форме,

$$S = \frac{Q}{T}, \quad (43)$$

которое адекватно отражает принцип существования энтропии в дифференциальной форме

$$\delta Q = TdS. \quad (44)$$

Однако из принципа существования энтропии не вытекает конкретного вида зависимости энтропии от параметра $n(T)$. Чтобы установить его необходимо проанализировать систему возможных случаев зависимости $n(T)$ в равенстве (16) от температуры T .

Решая (16) относительно температуры (T), необходимо рассмотреть шесть возможных вариантов:

$$1. n(T) = \sqrt{\frac{a_1 + b_1 \cdot T}{c_1 + T}}; \quad T = \frac{a_1 - n^2 c_1}{n^2 - b_1}; \quad dT = \frac{2n(c_1 b_1 - a_1)}{(n^2 - b_1)^2} dn; \quad \frac{a_1}{c_1} > 0; b_1 > 0; \quad (45)$$

$$2. n(T) = \sqrt{\frac{a_1 + b_1 \cdot T}{c_1 - T}}; \quad T = \frac{n^2 c_1 - a_1}{n^2 + b_1}; \quad dT = \frac{2n(c_1 b_1 + a_1)}{(n^2 + b_1)^2} dn; \quad \frac{a_1}{c_1} > 0; b_1 < 0; \quad (46)$$

$$3. n(T) = \sqrt{\frac{a_1 - b_1 \cdot T}{c_1 + T}}; \quad T = -\frac{n^2 c_1 - a_1}{n^2 + b_1}; \quad dT = -\frac{2n(c_1 b_1 + a_1)}{(n^2 + b_1)^2} dn; \quad \frac{a_1}{c_1} > 0; b_1 < 0; \quad (47)$$

$$4. n(T) = \sqrt{\frac{-a_1 + b_1 \cdot T}{c_1 + T}}; \quad T = -\frac{a_1 + n^2 c_1}{n^2 - b_1}; \quad dT = \frac{2n(c_1 b_1 + a_1)}{(n^2 - b_1)^2} dn; \quad \frac{a_1}{c_1} < 0; b_1 > 0; \quad (48)$$

$$5. n(T) = \sqrt{\frac{a_1 + b_1 \cdot T}{-c_1 + T}}; \quad T = \frac{a_1 + n^2 c_1}{n^2 + b_1}; \quad dT = \frac{2n(c_1 b_1 - a_1)}{(n^2 + b_1)^2} dn; \quad \frac{a_1}{c_1} < 0; b_1 < 0; \quad (49)$$

$$6. n(T) = \sqrt{\frac{-a_1 - b_1 \cdot T}{-c_1 + T}}; \quad T = -\frac{a_1 - n^2 c_1}{n^2 + b_1}; \quad dT = \frac{2n(c_1 b_1 + a_1)}{(n^2 + b_1)^2} dn; \quad \frac{a_1}{c_1} > 0; b_1 < 0. \quad (50)$$

Равенствам (45) согласно соотношению между изобарной теплоемкостью и энтропией (3) отвечает функция энтропии вида

$$S^o = \int \frac{a}{b+n} \cdot \frac{n^2 - b_1}{a_1 - n^2 c_1} \cdot \frac{2n(c_1 b_1 - a_1)}{(n^2 - b_1)^2} dn = a \left[\int \frac{2n \cdot dn}{(b+n)(n^2 - b_1)} - \int \frac{2n \cdot dn}{(b+n)\left(n^2 - \frac{a_1}{c_1}\right)} \right], \quad (51)$$

где $\frac{a_1}{c_1} > 0; b_1 > 0$.

С другой стороны система равенств (46), (47), (50) сочетается с функцией энтропии

$$S^o = \int \frac{a}{b+n} \cdot \frac{n^2 + b_1}{n^2 c_1 - a_1} \cdot \frac{2n(c_1 b_1 + a_1)}{(n^2 + b_1)^2} dn = a \left[\int \frac{2n \cdot dn}{(b+n)\left(n^2 - \frac{a_1}{c_1}\right)} - \int \frac{2n \cdot dn}{(b+n)(n^2 + b_1)} \right], \quad (52)$$

где $\frac{a_1}{c_1} > 0; b_1 < 0$.

Системам равенств (48) и (49) отвечают функции энтропии (53), (54) соответственно.

$$S^o = -\int \frac{a}{b+n} \cdot \frac{n^2 - b_1}{n^2 c_1 + a_1} \cdot \frac{2n(c_1 b_1 + a_1)}{(n^2 - b_1)^2} dn = a \left[\int \frac{2n \cdot dn}{(b+n) \left(n^2 + \frac{a_1}{c_1} \right)} - \int \frac{2n \cdot dn}{(b+n)(n^2 - b_1)} \right], \quad (53)$$

где $a_1/c_1 < 0; b_1 > 0$.

$$S^o = -\int \frac{a}{b+n} \cdot \frac{n^2 + b_1}{n^2 c_1 + a_1} \cdot \frac{2n(c_1 b_1 - a_1)}{(n^2 + b_1)^2} dn = a \left[\int \frac{2n \cdot dn}{(b+n) \left(n^2 + \frac{a_1}{c_1} \right)} - \int \frac{2n \cdot dn}{(b+n)(n^2 + b_1)} \right], \quad (54)$$

где $a_1/c_1 < 0; b_1 < 0$.

Рассмотрим наипростейший случай нахождения энтропии, когда на данном интервале $n_1 \leq n \leq n_2$ значений n , функция $C_p(n)$, принимая некоторое среднее значение, остается на данном интервале величиной постоянной, т. е. $C_p(n) = C_p^{cp}(n) = const$. В этом случае, согласно равенствам (51) – (54), вытекают соответствующие функции энтропии:

$$S^o = C_p \left(\ln \left| n^2 - \frac{a_1}{c_1} \right| - \ln |n^2 - b_1| \right) + C^{u.n.}; \quad \frac{a_1}{c_1} > 0; b_1 > 0; \quad (55)$$

$$S^o = C_p \left(\ln \left| n^2 - \frac{a_1}{c_1} \right| - \ln |n^2 + b_1| \right) + C^{u.n.}; \quad \frac{a_1}{c_1} > 0; b_1 < 0; \quad (56)$$

$$S^o = C_p \left(\ln \left| n^2 + \frac{a_1}{c_1} \right| - \ln |n^2 - b_1| \right) + C^{u.n.}; \quad \frac{a_1}{c_1} < 0; b_1 > 0; \quad (57)$$

$$S^o = C_p \left(\ln \left| n^2 + \frac{a_1}{c_1} \right| - \ln |n^2 + b_1| \right) + C^{u.n.}; \quad \frac{a_1}{c_1} < 0; b_1 < 0. \quad (58)$$

Для нахождения общего вида функции энтропии, в выше рассмотренных случаях (51) – (54) преобразуем их.

Согласно (51), имеем

$$S^o = \int \frac{a}{b+n} \cdot \frac{1}{a_1 - n^2 c_1} \cdot \frac{2n(c_1 b_1 - a_1)}{(n^2 - b_1)} dn = 2a \left(\frac{a_1}{c_1} - b_1 \right) \int \frac{n \cdot dn}{(b+n) \left(n^2 - \frac{a_1}{c_1} \right) (n^2 - b_1)} =$$

$$= a \left[\int \frac{2n \cdot dn}{(b+n) \left(n^2 - \frac{a_1}{c_1} \right)} - \int \frac{2n \cdot dn}{(b+n)(n^2 - b_1)} \right]; \quad \frac{a_1}{c_1} > 0; b_1 > 0. \quad (59)$$

По аналогии с преобразованием уравнения (51) запишем в преобразованном виде уравнения (52) – (54) соответственно

$$S^o = \int \frac{a}{b+n} \cdot \frac{1}{n^2 c_1 - a_1} \cdot \frac{2n(c_1 b_1 + a_1)}{(n^2 + b_1)} dn = 2a \left(\frac{a_1}{c_1} + b_1 \right) \int \frac{n \cdot dn}{(b+n) \left(n^2 - \frac{a_1}{c_1} \right) (n^2 + b_1)} =$$

$$= a \left[\int \frac{2n \cdot dn}{(b+n) \left(n^2 - \frac{a_1}{c_1} \right)} - \int \frac{2n \cdot dn}{(b+n)(n^2 + b_1)} \right]; \quad \frac{a_1}{c_1} > 0; b_1 < 0; \quad (60)$$

$$S^o = \int \frac{a}{b+n} \cdot \frac{1}{n^2 c_1 + a_1} \cdot \frac{2n(c_1 b_1 + a_1)}{(n^2 - b_1)} dn = 2a \left(\frac{a_1}{c_1} + b_1 \right) \int \frac{n \cdot dn}{(b+n) \left(n^2 + \frac{a_1}{c_1} \right) (n^2 - b_1)} =$$

$$= a \left[\int \frac{2n \cdot dn}{(b+n) \left(n^2 + \frac{a_1}{c_1} \right)} - \int \frac{2n \cdot dn}{(b+n)(n^2 - b_1)} \right]; \quad \frac{a_1}{c_1} < 0; b_1 > 0; \quad (61)$$

$$S^o = \int \frac{a}{b+n} \cdot \frac{1}{n^2 c_1 + a_1} \cdot \frac{2n(c_1 b_1 - a_1)}{(n^2 + b_1)} dn = 2a \left(b_1 - \frac{a_1}{c_1} \right) \int \frac{n \cdot dn}{(b+n) \left(n^2 + \frac{a_1}{c_1} \right) (n^2 + b_1)} =$$

$$= a \left[\int \frac{2n \cdot dn}{(b+n) \left(n^2 + \frac{a_1}{c_1} \right)} - \int \frac{2n \cdot dn}{(b+n)(n^2 + b_1)} \right]; \quad \frac{a_1}{c_1} < 0; b_1 < 0. \quad (62)$$

Чтобы воспользоваться уравнениями (59) – (62), необходимо найти интегралы правой части этих равенств. С этой целью преобразуем их подынтегральные выражения. Метод преобразований рассмотрим на примере преобразования подынтегрального выражения первого интеграла правой части равенства (59).

$$\frac{n}{(b+n) \left(n^2 - \frac{a_1}{c_1} \right)} = \frac{n}{(b+n) \left(n + \sqrt{\frac{a_1}{c_1}} \right) \left(n - \sqrt{\frac{a_1}{c_1}} \right)} = \frac{A_1}{n+b} + \frac{A_2}{n + \sqrt{\frac{a_1}{c_1}}} + \frac{A_3}{n - \sqrt{\frac{a_1}{c_1}}}. \quad (63)$$

Приведя слагаемые в правой части (63) к общему знаменателю и сгруппировав подобные члены числителя, приходим к трем линейным уравнениям

$$1). A_1 + A_2 + A_3 = 0; \quad (64)$$

$$2). A_2 \left(b - \sqrt{\frac{a_1}{c_1}} \right) + A_3 \left(b + \sqrt{\frac{a_1}{c_1}} \right) = 1; \quad (65)$$

$$3). b \cdot \sqrt{\frac{a_1}{c_1}} (A_3 - A_2) - A_1 \cdot \frac{a_1}{c_1} = 0. \quad (66)$$

Левая часть уравнения (64) является коэффициентом при переменной n^2 , которая в числителе левой части равенства (63) отсутствует, поэтому коэффициент приравнивается нулю. Левая часть уравнения (65) является коэффициентом при переменной n левой части уравнения (63), которая равна единице.

Третье уравнение связано со свободным членом числителя равенства (63), который равен нулю. Решая совместно уравнения (64) – (66), находим

$$A_1 = \frac{b}{\frac{a_1}{c_1} - b^2}; \quad A_2 = \frac{1}{2 \left(b - \sqrt{\frac{a_1}{c_1}} \right)}; \quad A_3 = \frac{1}{2 \left(b + \sqrt{\frac{a_1}{c_1}} \right)}; \quad \frac{a_1}{c_1} > 0. \quad (67)$$

По аналогии с преобразованиями подынтегрального выражения первого интеграла правой части равенства (59) преобразуем подынтегральное выражение второго интеграла этого равенства. В результате преобразований получим систему трех равенств, аналогичных равенствам (64) – (66), в которых достаточно заменить отношение $\frac{a_1}{c_1}$ величиной b_1 , т. е. имеем

$$1). A'_1 + A'_2 + A'_3 = 0; \quad (68)$$

$$2). A'_2 \left(b - \sqrt{b_1} \right) + A'_3 \left(b + \sqrt{b_1} \right) = 1; \quad (69)$$

$$3). b \cdot \sqrt{b_1} (A'_3 - A'_2) - A'_1 \cdot b_1 = 0. \quad (70)$$

Решая совместно (68) – (70), получим

$$A'_1 = \frac{b}{b_1 - b^2}; \quad A'_2 = \frac{1}{2(b - \sqrt{b_1})}; \quad A'_3 = \frac{1}{2(b + \sqrt{b_1})}; \quad b_1 > 0. \quad (71)$$

Аналогичные преобразования проведем с подынтегральными выражениями функций (60) – (62).

$$\text{I. } A_1 = \frac{b}{\frac{a_1}{c_1} - b^2}; \quad A_2 = \frac{1}{2\left(b - \sqrt{-\frac{a_1}{c_1}}\right)}; \quad A_3 = \frac{1}{2\left(b + \sqrt{-\frac{a_1}{c_1}}\right)}; \quad \frac{a_1}{c_1} < 0; \quad (72)$$

$$A'_1 = \frac{b}{b_1 - b^2}; \quad A'_2 = \frac{1}{2(b - \sqrt{b_1})}; \quad A'_3 = \frac{1}{2(b + \sqrt{b_1})}; \quad b_1 > 0;$$

$$\text{II. } A_1 = \frac{b}{\frac{a_1}{c_1} - b^2}; \quad A_2 = \frac{1}{2\left(b - \sqrt{\frac{a_1}{c_1}}\right)}; \quad A_3 = \frac{1}{2\left(b + \sqrt{\frac{a_1}{c_1}}\right)}; \quad \frac{a_1}{c_1} > 0; \quad (73)$$

$$A'_1 = \frac{b}{b_1 - b^2}; \quad A'_2 = \frac{1}{2(b - \sqrt{-b_1})}; \quad A'_3 = \frac{1}{2(b + \sqrt{-b_1})}; \quad b_1 < 0;$$

$$\text{III. } A_1 = \frac{b}{\frac{a_1}{c_1} - b^2}; \quad A_2 = \frac{1}{2\left(b - \sqrt{-\frac{a_1}{c_1}}\right)}; \quad A_3 = \frac{1}{2\left(b + \sqrt{-\frac{a_1}{c_1}}\right)}; \quad \frac{a_1}{c_1} < 0; \quad (74)$$

$$A'_1 = \frac{b}{b_1 - b^2}; \quad A'_2 = \frac{1}{2(b - \sqrt{b_1})}; \quad A'_3 = \frac{1}{2(b + \sqrt{b_1})}; \quad b_1 > 0.$$

Системы равенств (72) – (74) можно объединить, используя абсолютные значения подкоренных выражений.

$$\text{IV. } A_1 = \frac{b}{\frac{a_1}{c_1} - b^2}; \quad A_2 = \frac{1}{2\left(b - \sqrt{\left|\frac{a_1}{c_1}\right|}\right)}; \quad A_3 = \frac{1}{2\left(b + \sqrt{\left|\frac{a_1}{c_1}\right|}\right)}; \quad (75)$$

$$A'_1 = \frac{b}{b_1 - b^2}; \quad A'_2 = \frac{1}{2(b - \sqrt{|b_1|})}; \quad A'_3 = \frac{1}{2(b + \sqrt{|b_1|})};$$

Заменяя подынтегральное выражение первого интеграла правой части равенства (59) суммой (63) с учетом найденных выражений A_1, A_2, A_3 из системы (75) имеем

$$\begin{aligned} a \int \frac{2ndn}{(b+n) \cdot \left(n^2 - \frac{a_1}{c_1}\right)} &= a \int \frac{2b}{\left(\frac{a_1}{c_1} - b^2\right) \cdot (n+b)} dn + a \int \frac{dn}{\left(b - \sqrt{\left|\frac{a_1}{c_1}\right|}\right) \cdot \left(n + \sqrt{\left|\frac{a_1}{c_1}\right|}\right)} + \\ &+ a \int \frac{dn}{\left(b + \sqrt{\left|\frac{a_1}{c_1}\right|}\right) \cdot \left(n - \sqrt{\left|\frac{a_1}{c_1}\right|}\right)} = a \cdot \left\{ \ln \left[\left(\left| n + \frac{1}{b^{-1}} \right|^{\frac{-2b}{b^2 - a_1/c_1}} \right) \cdot \left(\left| n + \sqrt{\left|\frac{a_1}{c_1}\right|} \right|^{\frac{1}{b - \sqrt{|a_1/c_1|}}} \right) \cdot \right. \right. \\ &\left. \left. \cdot \left(\left| n - \sqrt{\left|\frac{a_1}{c_1}\right|} \right|^{\frac{1}{b + \sqrt{|a_1/c_1|}}} \right) \right] \right\} + C_1^{u.n.}. \quad (76) \end{aligned}$$

По аналогии преобразуем второй интеграл правой части равенства (59)

$$-a \int \frac{2ndn}{(b+n) \cdot (n^2 - b_1)} = -a \int \frac{2b}{(b_1 - b^2) \cdot (n+b)} dn - a \int \frac{dn}{(b - \sqrt{|b_1|}) \cdot (n + \sqrt{|b_1|})} -$$

$$-a \int \frac{dn}{(b + \sqrt{|b_1|}) \cdot (n - \sqrt{|b_1|})} = (77)$$

Объединяя интегралы (76) и (77), найдем общий вид уравнения энтропии

$$S^0 = A \cdot \ln \left[\frac{\left| n+b \right|^{-2b} \left(\frac{1}{b^2 - a_1/c_1} - \frac{1}{b^2 - b_1} \right) \cdot \left| n + \sqrt{\frac{a_1}{c_1}} \right|^{b - \sqrt{\frac{a_1}{c_1}}} \cdot \left| n - \sqrt{\frac{a_1}{c_1}} \right|^{b + \sqrt{\frac{a_1}{c_1}}}}{\left| n + \sqrt{|b_1|} \right|^{b - \sqrt{|b_1|}} \cdot \left| n - \sqrt{|b_1|} \right|^{b + \sqrt{|b_1|}}} \right] +$$

$$+ B \cdot \left(\ln \left| n^2 - \frac{a_1}{c_1} \right| - \ln |n^2 - b_1| \right) + C^{u.n.}. \quad (78)$$

Рассмотрим один из вариантов функции высокотемпературной составляющей энтальпии вещества, для которой согласно равенствам (45), можно записать

$$H^o(T) - H^o(0) = \int C_p dT = 2a(c_1 b_1 - a_1) \int \frac{ndn}{(n+b)(n^2 - b_1)^2}. \quad (79)$$

Наипростейшему случаю функции высокотемпературной составляющей на исследуемом интервале $n_1 \leq n \leq n_2$ отвечает изобарная теплоемкость $C_p = const$

$$H^o(T) - H^o(0) = C_p \cdot 2(c_1 b_1 - a_1) \cdot \int \frac{ndn}{(n+b)(n^2 - b_1)^2} = C_p (c_1 b_1 - a_1) \cdot \left(\frac{1}{b_1 - n^2} \right) + C^{u.n.}. \quad (80)$$

Аналогичные уравнения высокотемпературных составляющих энтальпии можно найти на базе систем уравнений (46) – (50). В общем случае функция высокотемпературных составляющих энтальпии вещества находится из преобразования интеграла (79). Рассмотрим это преобразование

$$H^o(T) - H^o(0) = 2a(c_1 b_1 - a_1) \cdot \int \frac{ndn}{(n+b)(n^2 - b_1)^2} = P \int \frac{A}{n+b} dn + P \int \frac{Mn + N}{(n^2 - b_1)^2} dn, \quad (81)$$

где $P = 2a(c_1 b_1 - a_1)$; a_1, b_1, c_1 – связаны уравнением (16); a, b – уравнением (15). Первый интеграл правой части (81)

$$P \cdot A \int \frac{dn}{n+b} = P \cdot A \cdot \ln|n+b| + C_1^{u.n.}. \quad (82)$$

Второй интеграл правой части (81)

$$P \int \frac{Mn+N}{(n^2-b_1)^2} dn = P \cdot M \int \frac{ndn}{(n^2-b_1)^2} + PN \int \frac{dn}{(n^2-b_1)^2}, \quad (83)$$

где

$$PM \int \frac{ndn}{(n^2-b_1)^2} = -PM \cdot \frac{1}{2(n^2-b_1)} = -\frac{PM}{2(n^2-b_1)} + C_2^{u.n.}; M - const; \quad (84)$$

$$PN \int \frac{dn}{(n^2-b_1)^2} = -\frac{PN}{2b_1} \cdot \left[\frac{n}{(n^2-b_1)} + \frac{1}{\sqrt{-b_1}} \arctg \frac{n}{\sqrt{-b_1}} \right] + C_2^{u.n.}; b_1 < 0. \quad (85)$$

Введем в (82) – (85) обозначения $Pa = A_1$; $-\frac{1}{2}PM = A_2$; $-\frac{PN}{2b_1} = A_3$, следовательно, уравнение (79) приводится к виду

$$H^o(T) - H^o(0) = A_1 \ln|n+b| + A_2 \frac{1}{(n^2-b_1)} + A_3 \left[\frac{n}{(n^2-b_1)} + \frac{1}{\sqrt{-b_1}} \arctg \frac{n}{\sqrt{-b_1}} \right] + C_2^{u.n.}; \quad (86)$$

В равенстве (86) предполагается, что $b_1 < 0$, в случае $b > 0$ его нужно представить

$$H^o(T) - H^o(0) = A_1 \ln|n+b| + A_2 \frac{1}{(n^2-b_1)} + A_3 \left[\frac{n}{(n^2-b_1)} + \frac{A_3}{\sqrt{b_1}} \cdot \ln \left| \frac{n-\sqrt{b_1}}{n+\sqrt{b_1}} \right| \right] + C_2^{u.n.}. \quad (87)$$

Общий вид функции энтропии вещества вытекает из преобразований уравнения (59)

$$\begin{aligned} S^o &= 2a \left(\frac{a_1}{c_1} - b_1 \right) \int \frac{n \cdot dn}{(b+n) \left(n^2 - \frac{a_1}{c_1} \right) (n^2 - b_1)} = 2a \left(\frac{a_1}{b_1} - b \right) \int \left[\frac{A}{n+b} + \frac{Mn+N}{\left(n^2 - \frac{a_1}{c_1} \right)} + \frac{M_1 n + N_1}{n^2 - b} \right] dn = \\ &= A_1 \int \frac{dn}{n+b} + A_2 \int \frac{ndn}{n^2 - \frac{a_1}{c_1}} + A_3 \int \frac{dn}{n^2 - \frac{a_1}{c_1}} + A_4 \int \frac{ndn}{n^2 - b_1} + A_5 \int \frac{dn}{n^2 - b_1} = A_1 \ln|n+b| + \\ &+ \frac{A_2}{2} \ln \left| n^2 - \frac{a_1}{c_1} \right| + \frac{A_3}{\sqrt{-\frac{a_1}{c_1}}} \cdot \arctg \frac{n}{\sqrt{-\frac{a_1}{c_1}}} + \frac{A_4}{2} \ln|n^2 - b_1| + \frac{A_5}{\sqrt{-b_1}} \arctg \frac{n}{\sqrt{-b_1}} + C^{u.n.}, \quad (88) \end{aligned}$$

где:

$$A_1 = 2a \left(\frac{a_1}{c_1} - b_1 \right) \cdot A; \quad A_2 = P \cdot M; \quad A_3 = P \cdot N; \quad A_4 = P \cdot M_1; \quad A_5 = P \cdot N_1; \quad P = 2a \left(\frac{a_1}{c_1} - b_1 \right).$$

Равенство (88) предполагает, что $\frac{a_1}{c_1} < 0; b_1 < 0$. Если $\frac{a_1}{c_1} > 0; b_1 > 0$, тогда равенство (88) примет вид

$$S^o = A_1 \ln|n+b| + \frac{A_2}{2} \ln \left| n^2 - \frac{a_1}{c_1} \right| + \frac{A_3}{2\sqrt{\frac{a_1}{c_1}}} \ln \left| \frac{n - \sqrt{\frac{a_1}{c_1}}}{n + \sqrt{\frac{a_1}{c_1}}} \right| + \frac{A_4}{2} \ln|n^2 - b_1| + \frac{A_5}{2\sqrt{b_1}} \ln \frac{n - \sqrt{b_1}}{n + \sqrt{b_1}} + C; \quad (89)$$

$$S^o = A_1 \ln|n+b| + \frac{A_2}{2} \ln \left| n^2 - \frac{a_1}{c_1} \right| + \frac{A_3}{2\sqrt{\frac{a_1}{c_1}}} \ln \left| \frac{n - \sqrt{\frac{a_1}{c_1}}}{n + \sqrt{\frac{a_1}{c_1}}} \right| + \frac{A_4}{2} \ln|n^2 - b_1| + \frac{A_5}{2\sqrt{-b_1}} \operatorname{arctg} \frac{n}{\sqrt{-b_1}} + C \quad (90)$$

при $\frac{a_1}{c_1} > 0; b_1 < 0$;

$$S^o = A_1 \ln|n+b| + \frac{A_2}{2} \ln \left| n^2 - \frac{a_1}{c_1} \right| + \frac{A_3}{\sqrt{-\frac{a_1}{c_1}}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{n}{\sqrt{-\frac{a_1}{c_1}}} + \frac{A_4}{2} \ln|n^2 - b_1| + \frac{A_3}{\sqrt{-\frac{a_1}{c_1}}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{n}{\sqrt{-\frac{a_1}{c_1}}} + \frac{A_4}{2} \ln|n^2 - b_1| + \frac{A_5}{2\sqrt{b_1}} \ln \frac{n - \sqrt{b_1}}{n + \sqrt{b_1}} + C; \quad \text{при } \frac{a_1}{c_1} < 0; b_1 > 0. \quad (91)$$

Для твердой фазы алюминия (Al_{kp}) нашли функцию энтропии от аргумента (n) на базе равенства (90)

$$S_{Al_{kp}}^o = 1865240 \ln|n + 53,045| + 1256,207 \ln|n^2 - 1888,3838| - 1247,036 \ln \left| \frac{n - 43,4535}{n + 43,4535} \right| - 630518,89 \ln|n^2 + 380,356| + 561112,89 \operatorname{arctg} \frac{n}{\sqrt{380,356}} - 4307153 \frac{\text{Дж}}{\text{мольК}}, \quad (92)$$

где

$$n = \sqrt{\frac{-15196958 - 380,356 \cdot T}{-8047,6 + T}}; \quad 298,15 \leq TK \leq 933;$$

$$\frac{a_1}{c_1} = 1888,3838; \quad b_1 = -380,356; \quad b = 53,045; \quad \sqrt{\frac{a_1}{c_1}} = 43,4535.$$

Высокотемпературную составляющую энтальпии твердой фазы алюминия найдем на базе уравнения (86)

$$\begin{aligned} [H^o(T) - H^o(T)]_{Al_{кр}} &= 5305295,6 \ln|n + b| + 6,6250115 \cdot 10^9 \left(\frac{1}{n^2 - b_1} \right) + \\ + 4,2875 \cdot 10^8 \cdot \left[\frac{n}{(n^2 - b_1)} + \frac{1}{\sqrt{-b_1}} \operatorname{arctg} \frac{n}{\sqrt{-b_1}} \right] - 60635853 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}, \end{aligned} \quad (93)$$

где

$$b_1 = -380,356; b = 53,045; n = \sqrt{\frac{-15196958 - 380,356 \cdot T}{-8047,6 + T}}; \quad 298,15 \leq TK \leq 933.$$

Результаты расчета энтропии, высокотемпературной составляющей энтальпии и изобарной теплоемкости кристаллического алюминия по уравнениям (92), (93) и (103) приведены в табл. 1 в сопоставлении с данными литературных источников [11].

Таблица 1

Значения энтропии, энтальпии и теплоемкости алюминия, рассчитанные по уравнениям (92), (93) и (103)

| TK | n | S^o (92) | S^o [11] | $H^o(T) - H^o(0)$ (93) | $H^o(T) - H^o(0)$ [11] | $C_{p(Al_{кр})}$ (103) | $C_{p(Al_{кр})}$ [11] |
|-----|---------|---------------|---------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | | Дж/моль·К | | Дж/моль | | Дж/моль·К | |
| 200 | 44,116 | 19,4 | 19,179 | 2286 | 2301 | | |
| 300 | 44,455 | 28,7 | 28,501 | 4648 | 4610 | 24,619 | 24,354 |
| 400 | 44,8 | 35,9 | 35,703 | 7132 | 7117 | 25,637 | 25,687 |
| 500 | 45,1517 | 41,7 | 41,547 | 9739 | 9738 | 26,811 | 26,759 |
| 600 | 45,51 | 46,6 | 46,531 | 12478 | 12473 | 28,085 | 27,973 |
| 700 | 45,875 | 50,8 | 50,948 | 15357 | 15340 | 29,424 | 29,415 |
| 800 | 46,247 | 54,8 | 54,984 | 18386 | 18365 | 31,13 | 31,13 |
| 900 | 46,627 | 58,8 | 58,764 | 21575 | 21576 | 32,976 | 33,138 |
| 933 | 46,754 | 59,9 | 59,992 | 22662 | 22702 | 33,649 | 33,881 |

Для жидких фаз алюминия, фосфора и серы с учетом постоянства их изобарных теплоемкостей найдены функции:

для жидкой фазы алюминия

$$[H^o(T) - H^o(0)]_{Al_{ж}} = -\frac{5,7968561 \cdot 10^8}{380,3471 + n^2} + 259270,89 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}; \quad (94)$$

$$S^o_{Al_{кр}} = 31,756 \left(-\ln|n^2 + 380,4| + \ln|n^2 - 1888,4| \right) + 139,85 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}; \quad (95)$$

$$n = \sqrt{\frac{-15196958 - 380,356 \cdot T}{-8047,6 + T}}; 1000 \leq TK \leq 4500;$$

для жидкой фазы фосфора

$$[H^o(T) - H^o(0)]_{P_{жс}} = \frac{40163,767}{818,766 - n^2} + 7156,456 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}; \quad (96)$$

$$S_{P_{жс}}^o = 26,11 \left(\ln|n^2 - 823,246| - \ln|n^2 - 818,766| \right) + 46,78 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}; \quad (97)$$

$$n = \sqrt{\frac{-282571,08 + 818,766 \cdot T}{-343,24 + T}}; 320 \leq TK \leq 900; \quad (98)$$

для жидкой фазы серы

$$[H^o(T) - H^o(0)]_{S_{жс}} = \frac{883668,79}{1471,343 - n^2} + 13733,3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}; \quad (99)$$

$$S_{S_{жс}}^o = 32,356 \left(\ln|n^2 - 1524,683| - \ln|n^2 - 1471,373| \right) + 55,08 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}; \quad (100)$$

$$n = \sqrt{\frac{-779448,41 + 1471,373 \cdot T}{-511,22 + T}}; 700 \leq TK \leq 1300; \quad (101)$$

Функция энтропии для жидкой фазы алюминия построена на базе уравнения (56), а функции для энтропии жидких фаз фосфора и серы построены на базе уравнения (55). Основные результаты расчета функций высокотемпературных составляющих энтальпии (94), (96) и (99), а также функции энтропии (95), (97) и (100) приведены в сопоставлении с данными литературных источников [2] в табл. 2-4.

Таблица 2

Значения функций высокотемпературных составляющих энтальпии и энтропии для жидких фаз алюминия, в сопоставлении с данными литературных источников [11]

| TK | n | S^o (95) | S^o [11] | $H^o(T) - H^o(0)$ (94) | $H^o(T) - H^o(0)$ [11] |
|------|----------|---------------|---------------|---------------------------|---------------------------|
| | | Дж/моль·К | | Дж/моль | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1000 | 47,015 | 73,634 | 73,634 | 35519,48 | 35510 |
| 1500 | 49,0727 | 86,501 | 86,508 | 51384,79 | 51385 |
| 2000 | 51,36806 | 95,637 | 95,643 | 67260,03 | 67260 |
| 2500 | 53,952 | 102,725 | 102,727 | 83137,06 | 83135 |
| 3000 | 53,952 | 108,515 | 108,515 | 99011,04 | 99010 |
| 3500 | 56,893 | 113,407 | 113,41 | 114881,88 | 114885 |
| 4000 | 60,286 | 117,649 | 117,649 | 130760,02 | 130760 |
| 4500 | 64,268 | 121,393 | 121,389 | 146642,1 | 146635 |

Таблица 3

Значения функций высокотемпературных составляющих энтальпии и энтропии для жидких фаз фосфора, в сопоставлении с данными литературных источников [11]

| ТК | n | S^o | S^o | $H^o(T) - H^o(0)$ | $H^o(T) - H^o(0)$ |
|-----|---------|-----------|--------|-------------------|-------------------|
| | | (97) | [11] | (96) | [11] |
| | | Дж/моль·К | | Дж/моль | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 320 | 29,747 | 44,883 | 44,883 | 6549 | 6549 |
| 420 | 28,2648 | 51,981 | 51,985 | 9161,2 | 9161,0 |
| 520 | 28,462 | 57,619 | 57,563 | 11783,32 | 11773 |
| 620 | 28,517 | 62,173 | 62,157 | 14397,45 | 14384 |
| 720 | 28,5427 | 66,066 | 66,062 | 16999,84 | 16996 |
| 820 | 28,558 | 69,608 | 69,458 | 19681,643 | 19608 |
| 900 | 28,5658 | 71,889 | 71,889 | 21702,853 | 21697 |

Таблица 4

Значения функций высокотемпературных составляющих энтальпии и энтропии для жидких фаз серы, в сопоставлении с данными литературных источников [11]

| ТК | n | S^o | S^o | $H^o(T) - H^o(0)$ | $H^o(T) - H^o(0)$ |
|------|----------|-----------|--------|-------------------|-------------------|
| | | (99) | [11] | (100) | [11] |
| | | Дж/моль·К | | Дж/моль | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 700 | 36,426 | 65,249 | 65,249 | 19917 | 19917 |
| 800 | 37,108 | 69,57 | 69,619 | 23150 | 23189 |
| 900 | 37,4336 | 73,38 | 73,436 | 26339,4 | 26430 |
| 1000 | 37,925 | 76,804 | 76,834 | 29652 | 29654 |
| 1100 | 37,75 | 79,865 | 79,899 | 32814,7 | 32871,0 |
| 1200 | 37,83921 | 82,717 | 82,694 | 36100,47 | 36082 |
| 1300 | 37,905 | 85,262 | 85,262 | 39347 | 39291 |

В тех случаях, когда изобарная теплоемкость является переменной величиной на данном интервале $n_1 \leq n \leq n_2$, энтропия связана с уравнением (78) и с системой равенств I – III или (72) – (74). Для кристаллического алюминия на базе общих уравнений (14), (15) и экспериментальных данных [2] нашли $a_1 = -15196958$; $b_1 = -380,356$; $c_1 = -8047,6$, (см. (92)).

По этим значениям рассчитали функции (75):

$$2b \left(\frac{1}{b^2 - \frac{a_1}{c_1}} - \frac{1}{b^2 - b_1} \right) = -7,108 \cdot 10^{-2}; \quad \frac{1}{b - \sqrt{\frac{a_1}{c_1}}} = -1,0363 \cdot 10^{-2}; \quad \frac{1}{b + \sqrt{\frac{a_1}{c_1}}} = -0,104313;$$

$$\frac{1}{b - \sqrt{|b_1|}} = -1,37845 \cdot 10^{-2}; \quad \frac{1}{b + \sqrt{|b_1|}} = -2,98155 \cdot 10^{-2}; \quad (102)$$

Принимая во внимание параметрическое уравнение для изобарной теплоемкости кристаллического алюминия

$$C_{p,(Al,kr)} = \frac{211,637}{53,045 - n}, \quad (103)$$

а также значения $\frac{a_1}{c_1} = 1888,4$; $b_1 = -380,4$; $\sqrt{\frac{a_1}{c_1}} = 43,4555$; $\sqrt{|b_1|} = 19,503$

для энтропии кристаллического алюминия в интервале $300 \leq TK \leq 933$ согласно уравнению (78), имеем

$$S_{Al,kr}^o = -353,806 \cdot \ln \left[\frac{|n - 53,045|^{-7,108 \cdot 10^{-2}} \cdot |n + 43,4555|^{-1,0363 \cdot 10^{-2}} \cdot |n - 43,4555|^{-0,1049}}{|n + 19,503|^{-1,3785 \cdot 10^{-2}} \cdot |n - 19,503|^{-2,9816 \cdot 10^{-2}}} \right] +$$

$$+ 58,5624 \cdot (\ln|n^2 - 1888,4| - \ln|n^2 + 380,4|) + 237,6681 \frac{Дж}{\text{моль} \cdot K}. \quad (104)$$

По аналогии с расчетом энтропии кристаллического алюминия провели расчеты кристаллической фазы кремния по уравнениям

$$S_{Si,kr}^o = 142,859 \ln \left[\frac{|n - 57,5|^{0,1104827} \cdot |n + 52,6071|^{0,2043736} \cdot |n - 52,6071|^{9,082075 \cdot 10^{-3}}}{|n + 46,791|^{9,33777 \cdot 10^{-2}} \cdot |n - 46,791|^{9,58858 \cdot 10^{-3}}} \right] +$$

$$+ 25,2233 [\ln|n^2 - 2767,479| - \ln|n^2 - 2189,38|] - 120,631 \frac{Дж}{\text{моль} \cdot K}; \quad (105)$$

$$S_{Si,kr}^o = -13646,766 \cdot \ln|n + 57,5| - 40,702 \cdot \ln|n^2 - 2767,48| + 108,3382 \ln \left| \frac{n - 52,607}{n + 52,607} \right| +$$

$$+ 6307,656 \cdot \ln|n^2 - 2189,38| - 6334,575 \cdot \ln \left| \frac{n - 46,791}{n + 46,791} \right| + 6639,49 \frac{Дж}{\text{моль} \cdot K}, \quad (106)$$

где $n_{Si} = \sqrt{\frac{-338714,51 + 2189,376 \cdot T}{-122,391 + T}}$; $298,15 \leq TK \leq 900$; $\frac{a_1}{c_1} = 2767,48$; $b_1 = 2189,38$;

$$\sqrt{\frac{a_1}{c_1}} = 52,607; \quad \sqrt{|b_1|} = 46,791.$$

Результаты расчета энтропий кристаллического алюминия и кремния по уравнениям (92), (104) и (105), (106) соответственно приведены в табл. 5 в сопоставлении с данными литературных источников [2].

Расчетные значения энтропий кристаллических алюминия и кремния по уравнениям (92), (104) и (105), (106) соответственно в сопоставлении с данными литературных источников [11]

| Al_{kp} | | | | | Si_{kp} | | | | |
|-----------|--------|--------------|---------------|--------------|-----------|---------|---------------|---------------|--------------|
| ТК | n | $S_{(92)}^o$ | $S_{(104)}^o$ | $S_{[11]}^o$ | ТК | n | $S_{(105)}^o$ | $S_{(106)}^o$ | $S_{[11]}^o$ |
| | | Дж/моль К | | | | | Дж/моль К | | |
| 300 | 44,459 | 28,7 | 28,857 | 28,501 | 300 | 42,82 | 18,927 | 18,931 | 18,933 |
| 400 | 44,8 | 35,9 | 35,856 | 35,703 | 400 | 43,983 | 25,021 | 25,022 | 25,023 |
| 500 | 45,152 | 41,7 | 41,623 | 41,547 | 500 | 44,7437 | 30,166 | 30,159 | 30,152 |
| 600 | 45,51 | 46,6 | 46,539 | 46,531 | 600 | 45,18 | 34,5365 | 34,5367 | 34,537 |
| 700 | 45,875 | 50,8 | 50,874 | 50,948 | 700 | 45,463 | 38,316 | 38,316 | 38,316 |
| 800 | 46,247 | 54,8 | 54,97 | 54,984 | 800 | 45,6613 | 41,673 | 41,7125 | 41,752 |
| 900 | 46,627 | 58,8 | 58,782 | 58,764 | 900 | 45,808 | 44,596 | 44,699 | 44,802 |
| 933 | 46,754 | 59,9 | 59,946 | 59,992 | 933 | | | | |

Выводы

1. Дан вывод уравнения изобарной теплоемкости веществ в параметрической форме (см.(15), (16)).
2. Найдены уравнения функции образования энтропии и высокотемпературных составляющих энтальпии веществ в параметрической форме (см.(78), (86)-(90)).
3. Сопоставлены результаты расчета по уравнениям (92) и (104) значений энтропии кристаллического алюминия, а также рассчитанные по уравнениям (105), (106) значения энтропии кристаллического кремния, которые в свою очередь находятся в хорошем согласии с данными литературных источников [11] (см. табл. 5).
4. Оценены термодинамические характеристики жидких фаз алюминия, фосфора и серы с помощью параметрических уравнений (94) - (101), (см. табл. 1-4).

Список литературы

1. Maier C. G., Kelley K.K. — «J. Amer. Chem. Soc.», 1932, 54, 3243.
2. Shomate C. H. , — «J. Amer. Chem. Soc.», 1944, 66, 928.
3. Gordon A. R. — «Chem. Phys.», 1933. 1. 308.
4. Жданов Г. С. Физика твердого тела. М., Изд-во МГУ, 1962.

5. Немнонов С. А. — «Физ. метал. и металловед.», 1965, 19, 550.
6. Einstein A. — «Ann. Physik», 1907, 22, 180.
7. Debye P. P. — «Ann. Physik», 1912. 39. 78.
8. Born M., Karman T. — «Phys. Z», 1912, 13. 207.
9. Born M., Karman T. — «Phys. Z», 1913, 15, 65.
10. Федоров С. В. Новые принципы расчета функций образования термодинамических свойств веществ. «Высокие интеллектуальные технологии и инновации в образовании и науке»: Материалы XV Международной научно-методической конференции. Т. 1. 15-16 февраля 2008 года, Санкт-Петербург. СПб.: изд-во Политехн. ун-та, 2008. с. 303-329.
11. В. П. Глушко, Л. В. Гуревич, Г. А. Бергман и др. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. М. — Наука, 1978.
12. В. А. Киреев. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций. 2-ое изд., испр. и доп. М., «Химия», 1975.
13. В. А. Рябин, М. А. Остроумов, Т.Ф. Свит. Термодинамические свойства веществ. Справочник. Л., «Химия», 1977.
14. Федоров С. В. Функция энтропии. Термодинамические индивидуальные свойства веществ и принципы их расчета. «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. — с. 96-111.

**Вывод уравнения энтропии как функции температуры с учетом
статистических и квантово механических методов анализа
термодинамической системы**

Федоров С. В.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Как известно энтропия была введена в термодинамику формально, как функция состояния, появляющаяся при анализе эффективности химических процессов и, позволяющая в аналитической форме сформулировать второе начало термодинамики. Связь термодинамической энтропии с

мерой внутренней неупорядоченности макротел была представлена позднее в статистической физике. Термодинамика при решении конкретных задач должна опираться на соотношения, полученные эмпирическим путем или рассчитанные методом аналитической физики. Статистическая физика оперирует понятием о средней величине. Основная гипотеза аналитической физики состоит в том, что среднее по временному ансамблю равно среднему по ансамблю Гиббса, называемой эргодичной гипотезой. Современная статистическая физика вычисляет и сравнивает с опытом среднее по ансамблям гиббсовского типа. В общем случае термодинамическая система может обмениваться энергией с окружающей средой, как в форме теплоты, так и в форме работы, что приводит к изменению внутренней ее неупорядоченности.

На основании понятия энтропии, как тепловой координаты, рассмотрели проблему поиска вывода уравнения энтропии, зависящей от температуры с учетом статистических методов анализа термодинамической системы с использованием квантово механических методов.

Из принципа Больцмана вытекает связь между энтропией и термодинамической вероятности в виде статистического выражения

$$S = k \cdot \ln W = k \cdot \ln \frac{N!}{\prod_i n_i!}, \quad (1)$$

где k – постоянная величина Больцмана; N – число частиц системы; n_i – число частиц в i -й области.

Это выражение является основой, так называемой, классической статистической физики, которая была развита Клаузиусом, Максвеллом, Больцманом и другими исследователями [1, 11, 12].

Используя принцип Стирлинга $n! = \ell^{-n} \cdot n^n$ уравнение (1) приведем к удобному для использования виду

$$S = k \cdot \ln \frac{N^N}{\prod_i n_i^{n_i}} = k \cdot (N \ln N - \sum_i n_i \cdot \ln n_i), \quad (2)$$

где $n_i = \frac{1}{\ell^{\frac{\mu - \varepsilon_i}{kT}}}$ – вероятное распределение частиц в i -й области системы;

μ – химический потенциал; ε_i – энергия частицы в i -й области системы.

или [1-3]:

$$S = k \cdot N \ln \sum_i \ell^{\frac{\varepsilon_i}{kT}} + \frac{E}{T}, \quad (3)$$

где E – энергия термодинамической системы; ε_i – энергия i – й частицы;
 N – число частиц в системе.

В настоящее время квантово механическая трактовка понятия энтропии основана на статистических принципах расчета термодинамической вероятности микросостояний термодинамических систем. Термодинамическая вероятность микросостояний системы по статистике Бозе-Эйнштейна выражается функцией [1, 2.12]

$$W_{Б-Э} = \prod_i W_i = \prod_i \frac{(n_i + z_i - 1)!}{n_i!(z_i - 1)!} \quad (4)$$

энтропия в этом случае согласно формуле Больцмана

$$S = k \ln W_i \quad (5)$$

принимает вид

$$S = k \cdot \sum_i \ln \frac{(n_i + z_i - 1)!}{n_i!(z_i - n_i)!}. \quad (6)$$

Аналогично, из статистики Ферми-Дирака [1, 2, 12] вытекает

$$W_{Ф-Д} = \prod_i W_i = \prod_i \frac{z_i!}{n_i!(z_i - n_i)!}; \quad (7)$$

$$S = k \cdot \sum_i \ln \frac{z_i!}{n_i!(z_i - n_i)!}, \quad (8)$$

где W_i – термодинамическая вероятность; n_i – число частиц в i – й области пространства; z_i – число ячеек в этой области.

Используя формулу Стирлинга $n! = n^n \cdot \ell^n$ при $n \gg 1$ и, метод решения задач на условный экстремум Лагранжа [3, 11] в равенствах (6), (8), приходим к уравнениям

$$S_{Б-Э} = -\frac{N \cdot \mu}{T} + \frac{E}{T} + k \sum_i (z_i - 1) \cdot \ln \left(1 - \ell^{\frac{\mu - \varepsilon_i}{kT}} \right); \quad (9)$$

$$S_{Ф-Д} = -\frac{N \cdot \mu}{T} + \frac{E}{T} + k \sum_i z_i \cdot \ln \left(1 + \ell^{\frac{\mu - \varepsilon_i}{kT}} \right), \quad (10)$$

где μ – химический потенциал;

N – число частиц в системе;

ε – энергия i – й частицы системы.

Трудность в использовании уравнения (9) и (10) связано с тем обстоятельством, что величина внутренней энергии системы E , энтропии S , химического потенциала μ не могут быть измерены ни какими приборами непосредственно в эксперименте. При описании статистических свойств термодинамической системы необходимо пользоваться количественной мерой внутренней неупорядоченности произвольного ее состояния. Этой мерой является энтропия системы. Из уравнения (3) видим, что внутренняя неупорядоченность системы связана с понятием сумм по состояниям $\left(\sum_i \ell^{-\frac{\varepsilon_i}{kT}} \right)$. В дальнейшем мы будем использовать эту величину, как основополагающей в формировании энергетических закономерностей, приводящих к однозначной функции характеризующей внутреннее состояние макротела.

«Физические величины, изменяющие свое значение при наличии обмена энергией в определенной форме и сохраняющие свое значение при отсутствии этой формы обмена энергией (хотя бы обмен энергии в иных формах и происходил) называются координатами состояния системы» [13].

Энтропия относится к тепловой координате. Многолетний опыт использования понятия энтропии в термодинамике подтверждает правильность представления о ней, как о тепловой координате состояния, изменение которой в равновесных процессах однозначно связано с наличием обмена энергией в форме теплоты.

Проанализируем энергетическое состояние термодинамической системы (макротела) при неизменном объеме, рассматривая ее как совокупность взаимосвязанных частиц. С этой целью 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

$$N = n_i + n_k + n_p + \dots + n_j. \quad (11)$$

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

$$= n_i^{n_i} \cdot n_k^{n_k} \cdot \dots \cdot n_j^{n_j} \cdot \ell^{-\frac{\varepsilon \cdot N}{kT}}$$

или

$$\frac{1}{n_i^{n_i} \cdot n_k^{n_k} \cdot \dots \cdot n_j^{n_j} \cdot \ell^{-N}} = \ell^{-\frac{\varepsilon \cdot N}{kT}} \cdot \ell^{\frac{\sum \Delta E_v}{kT} + N} = \ell^{\frac{N \cdot (\sum \Delta E_v - \varepsilon \cdot N + RT)}{RT}}, \quad (37)$$

где $\sum \Delta E_v$ – вообще говоря, не равна $\varepsilon \cdot N$, так как энергия частиц с индексами (i, k, p, \dots, j) отвечает различным энергетическим уровням в отличие от частиц, занимающих уровень с энергией ε . В противном случае должно соблюдаться равенство

$$n_i \cdot \varepsilon_i + n_k \cdot \varepsilon_k + \dots + n_j \cdot \varepsilon_j = N \cdot \bar{\varepsilon}, \quad (38)$$

откуда следует

$$\frac{n_i}{N} \cdot \varepsilon_i + \frac{n_k}{N} \cdot \varepsilon_k + \dots + \frac{n_j}{N} \cdot \varepsilon_j = \bar{\varepsilon}. \quad (39)$$

Примем в равенстве (37) $\sum \Delta E_v = \bar{\varepsilon} \cdot N$, получим

$$\frac{1}{n_i^{n_i} \cdot n_k^{n_k} \cdot \dots \cdot n_j^{n_j} \cdot \ell^{-N}} = \ell^N$$

или

$$\frac{1}{n_i! \cdot n_k! \cdot \dots \cdot n_j!} = \ell^N. \quad (40)$$

Прологарифмировав уравнение (40), имеем

$$-\ln n_i! - \ln n_k! - \dots - \ln n_j! = N. \quad (41)$$

Используя приближенное равенство Стирлинга ($n_i! \approx n_i^{n_i} \cdot \ell^{-n_i}$), уравнение (41) приведем к виду

$$n_i \cdot \ln n_i + n_k \cdot \ln n_k + \dots + n_j \cdot \ln n_j = 0. \quad (42)$$

Учитывая, что число идентичных друг относительно друга слагаемых равенства (42) равно N , а сумма их равна нулю, то приходим к заключению, что на каждую ячейку приходится одна частица, в связи с тем, что каждое слагаемое также равно нулю, т. е.

$$n_i = n_k = \dots = n_j = 1. \quad (43)$$

Этот случай эквивалентен статистике Ферми, позволивший описать состояние вырожденного электронного газа в металлах, показавший, что в этом состоянии каждый электрон находится на своем энергетическом

уровне и переход каждого из них с одного уровня на другой, вследствие их неразличимости, не считается процессом. Это вытекает из формулы (7)

$$W_{вып} = \prod_i \frac{z_i!}{n_i!(z_i - n_i)!} = \frac{z_i!}{z_i! \cdot 0!} = 1, \quad (n_i = z_i); \quad (44)$$

$$S = k \cdot \ln W_{вып} = 0. \quad (45)$$

С другой стороны, при переходе к предельному значению средней энергии

$\bar{\varepsilon}_{ii} = \bar{\varepsilon}_{kk} = \dots = \bar{\varepsilon}_{jj} = \bar{\varepsilon}$ однотипных частиц, составляющих термодинамическую систему, уравнение (23) приводится к виду

$$\frac{(W_{cucm})}{(n_i^{n_i} \cdot n_k^{n_k} \dots n_j^{n_j})} = \ell^{\frac{\varepsilon \cdot N}{2kT}} = \ell^{\frac{\varepsilon \cdot N^2}{2RT}}. \quad (46)$$

Умножая левую и правую часть равенства (46) на величину ℓ^N , получим

$$\frac{(W_{cucm})}{(n_i^{n_i} \cdot n_k^{n_k} \dots n_j^{n_j}) \cdot \ell^{-N}} = \ell^{\frac{\varepsilon \cdot N}{2kT} + N}. \quad (47)$$

Используя приближенное равенство Стирлинга ($n_i! \approx n_i^{n_i} \cdot \ell^{-n_i}$), приведем функцию (47) к виду

$$\frac{(W_{cucm})}{(n_i! \cdot n_k! \dots n_j!)} = \ell^{\frac{\varepsilon \cdot N}{2kT} + N}. \quad (48)$$

Прологарифмировав (48), найдем

$$\ln \left[\frac{(W_{cucm})}{(n_i! \cdot n_k! \dots n_j!)} \right] = \frac{-N(N\varepsilon - 2RT)}{2RT}. \quad (49)$$

Полагая, что величина $W_{cucm} = n_{1i}^{n_{1i}} \cdot n_{1k}^{n_{1k}} \dots n_{1j}^{n_{1j}}$, уравнение (49) можно представить

$$\ln \left[\frac{n_{1i}^{n_{1i}} \cdot n_{1k}^{n_{1k}} \dots n_{1j}^{n_{1j}} \cdot \ell^{-N_i}}{n_i! \cdot n_k! \dots n_j!} \right] = \frac{-N(N\varepsilon - 2RT)}{2RT} - N_1 = \frac{-N \left[N\varepsilon - 2RT \cdot \left(1 - \frac{N_1}{N} \right) \right]}{2RT}$$

или

$$-\ln \left(\frac{n_i! \cdot n_k! \dots n_j!}{n_{1i}! \cdot n_{1k}! \dots n_{1j}!} \right) = \ln \left(\frac{n_i! \cdot n_k! \dots n_j!}{n_{1i}! \cdot n_{1k}! \dots n_{1j}!} \right) = \frac{N\varepsilon - 2RT \cdot \left(1 - \frac{N_1}{N} \right)}{2kT}, \quad (50)$$

где учли, что $R = k \cdot N$.

Умножая левую и правую часть равенства (50) на постоянную величину Больцмана k , имеем

$$k \cdot \ln \left(\frac{n_{1i}! \cdot n_{1k}! \cdot \dots \cdot n_{1j}!}{n_i! \cdot n_k! \cdot \dots \cdot n_j!} \right) = k \ln W = S = \frac{\frac{N\varepsilon}{2} - RT \cdot \left(1 - \frac{N_1}{N}\right)}{T}, \quad (51)$$

или

$$\frac{N\varepsilon}{2} - S \cdot T = RT \cdot \left(1 - \frac{N_1}{N}\right) = -RT \cdot \left(\frac{N_1}{N} - 1\right) = -kN \cdot T \left(\frac{N_1}{N} - 1\right). \quad (52)$$

Отождествляя левую часть равенства (52) со свободной энергией Гельмгольца, находим

$$E - ST = -kT \ln \sum \ell^{\frac{-\varepsilon}{kT}} = -kTN \cdot \ell^{\frac{-\varepsilon}{kT}} \quad (53)$$

или

$$-kTN \cdot \ell^{\frac{-\varepsilon}{kT}} = -kNT \cdot \left(\frac{N_1}{N} - 1\right); \quad \ell^{\frac{-\varepsilon}{kT}} = \left(\frac{N_1}{N} - 1\right), \quad (54)$$

откуда

$$-\frac{\varepsilon}{kT} = \ln \left(\frac{N_1}{N} - 1\right). \quad (55)$$

Из равенства (55) вытекает

$$0 < \left(\frac{N_1}{N} - 1\right) = \frac{N_1 - N}{N} < 1 \text{ при } \frac{N_1}{N} > 1. \quad (56)$$

Решая (55) относительно температуры, имеем

$$T = -\frac{\varepsilon}{k \ln \left(\frac{N_1}{N} - 1\right)} = \frac{-N\varepsilon}{kN \ln \left(\frac{N_1}{N} - 1\right)} = \frac{-E}{R \ln \left(\frac{N_1}{N} - 1\right)}. \quad (57)$$

Знаменатель равенства (57) можно рассматривать, как связанную энтропию термодинамической системы (макротела) при равновесном состоянии, удовлетворяющей функции Гельмгольца.

$$F = E - ST, \quad (58)$$

где

$$S = -R \ln \left(\frac{N_1}{N} - 1\right). \quad (59)$$

При равновесии свободная энергия Гельмгольца системы $F = 0$, следовательно, согласно равенствам (58) и (59), можно записать:

$$\frac{E}{T} = S = -R \ln \left(\frac{N_1}{N} - 1 \right). \quad (60)$$

Проанализируем равенство (60) на парадокс Гиббса, приняв

$$(2S)_1 = -2R \ln(N_1 - N) + 2R \ln N; \quad (61)$$

$$(2S)_2 = -2R \ln 2(N_1 - N) + 2R \ln 2N = -2R \ln 2 - 2R \ln(N_1 - N) + 2R \ln 2 + 2R \ln N. \quad (62)$$

Вычитая из равенства (62), равенство (61), имеем

$$(2S)_2 - (2S)_1 = -2R \ln 2 - 2R \ln(N_1 - N) + 2R \ln 2 + 2R \ln N + 2R \ln(N_1 - N) - 2R \ln N = 0. \quad (63)$$

При температуре $T \rightarrow 0$; $\varepsilon \rightarrow 0$, тогда равенство (48) можно записать в форме

$$\frac{(W_{\text{сум}}) \cdot \ell^{-N}}{(n_i! n_k! \dots n_j!)} = 1. \quad (64)$$

Полагая $(W_{\text{сум}}) = N^N$, имеем

$$\frac{N^N \cdot \ell^{-N}}{(n_i! n_k! \dots n_j!)} = \frac{N!}{n_i! \cdot n_k! \cdot \dots \cdot n_j!} = 1. \quad (65)$$

Равенство (65) возможно, если допустить, что все частицы системы находятся в одной ячейке, например, i -й, тогда все остальные ячейки останутся пустыми, т. е.

$$\frac{N!}{N! \cdot n_k! \cdot \dots \cdot n_j!} = 1, \quad (n_k! = n_p! = \dots = n_j! = 0!). \quad (66)$$

Равенство (66) отражает предельное выражение вероятности нахождения частиц в ячейке по статистике Бозе-Эйнштейна, более одной частицы. При температуре выше нуля частицы располагаются по ячейкам, соответствующих энергий. Из выше приведенного анализа распределения частиц по ячейкам системы вытекает, что существует две формы распределения частиц, первая из которых связана со статистикой Ферми-Дирака, вторая со статистикой Бозе-Эйнштейна. Распределения Максвелла-Больцмана вытекает из функции

$$\ell^{\frac{\Delta E_i}{kT}} = \left(n_i \cdot \ell^{\frac{\varepsilon_i}{kT}} \right)^{n_i}, \quad (67)$$

входящей в качестве одного из сомножителей равенства (23). Прологарифмировав равенство (67) и проведя необходимые преобразования, получим:

$$\frac{\Delta E_i}{n_i} - \varepsilon_i = kT \ln n_i, \quad (68)$$

$$\text{откуда } n_i = \ell^{-\frac{\varepsilon_i - \Delta E_i}{kT}} = \frac{1}{\ell^{\frac{\varepsilon_i - \mu}{kT}}}, \quad (69)$$

где $\frac{\Delta E_i}{n_i} = \mu$ – химический потенциал.

Уравнение (69) отражает принцип вероятного распределения частиц системы в i -й области пространства по статистике Максвелла-Больцмана. Сопоставляя функции распределения частиц по статистике Ферми-Дирака, Бозе-Эйнштейна и Максвелла-Больцмана, имеем

$$n_{i,B-\text{Э}} = \frac{z-1}{\ell^{\frac{\varepsilon_i - \mu}{kT}} - 1}; \quad n_{i,\text{Ф-Д}} = \frac{z}{\ell^{\frac{\varepsilon_i - \mu}{kT}} + 1}; \quad n_{i,M-B} = \frac{1}{\ell^{\frac{\varepsilon_i - \mu}{kT}}}. \quad (70)$$

Функции, аналогичные (69), вытекают как следствия из преобразований любого сомножителя, входящего в уравнение (23). Каждый из сомножителей равенства (23) отражает равновесные термодинамические свойства подгрупп (i, k, p, \dots, j) , которые можно отождествить с фазами составляющих термодинамическую систему. Если система находится в термодинамическом равновесии, то химические потенциалы фаз, составляющих эту систему должны быть равны между собой, т. е.

$$\frac{\Delta E_i}{n_i} = \frac{\Delta E_k}{n_k} = \dots = \frac{\Delta E_j}{n_j} = \mu_i = \mu_k = \dots = \mu_j = \mu. \quad (71)$$

Равенство (71) отражает одно из известных свойств равновесных условий термодинамической системы.

Уравнение (37) связано с термодинамической вероятностью тождественных неразличимых частиц. Запишем его в форме

$$W_\Gamma = \ell^{\frac{N \cdot \left(\sum_1^v \Delta E_v - N\bar{\varepsilon} + RT \right)}{RT}}, \quad (72)$$

где $W_\Gamma = \frac{1}{n_{n_k}^{n_k} \cdot n_p^{n_p} \cdot \dots \cdot n_j^{n_j} \cdot \ell^{-N}} = \frac{1}{n_i! \cdot n_k! \cdot \dots \cdot n_j!}$ – термодинамическая вероятность по Гиббсу.

В равенстве (72) введем замену:

$$x = \frac{N\varepsilon - \sum_1^{\nu} \Delta E_{\nu} - RT}{RT}. \quad (73)$$

Из преобразования равенства (73) вытекает функция распределения частиц термодинамической системы в i -й области пространства по ячейкам, согласно статистике Бозе-Эйнштейна.

Уравнения (73) приведем к виду

$$1+x = \frac{-\frac{1}{N} \left(\sum_1^{\nu} \Delta E_{\nu} \right) + \varepsilon}{kT}. \quad (74)$$

Левую часть равенства (74) можно представить приближенным равенством $1+x \approx \ell^x$, тогда

$$1+x = \ell^x = \frac{-\frac{1}{N} \left(\sum_1^{\nu} \Delta E_{\nu} \right) + \varepsilon}{kT} = \ell^{\frac{-\mu+\varepsilon}{kT}}, \quad (75)$$

где

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_1^{\nu} \Delta E_{\nu}; \quad x = \frac{-\mu+\varepsilon}{kT}.$$

Из уравнения (75) вытекает

$$x = \ell^{\frac{-\mu+\varepsilon}{kT}} - 1 \quad (76)$$

или

$$\frac{1}{\ell^{\frac{-\mu+\varepsilon}{kT}} - 1} = \frac{1}{x}. \quad (77)$$

Из уравнения (77) видим, что, исходя из представления о средней энергии частиц, нет необходимости введения понятия ячеек (уровней энергий), поэтому в числителе уравнения (77) стоят единицы. Учитывая квантовую природу частиц термодинамической системы (макротела) необходимо распределить частицы по ячейкам (уровням энергий). Чтобы отразить это умножим обе части равенства (77) на величину $(z-1)$, получим

$$n_{i(B-\text{Э})} = \frac{z-1}{\ell^{\frac{-\mu+\varepsilon}{kT}} - 1} \approx \frac{z-1}{x} = \frac{z-1}{\frac{-\mu+\varepsilon}{kT}}. \quad (78)$$

Равенство (78) выражает закон распределения частиц термодинамической системы в i -й области пространства по статистике Бозе - Эйнштейна.

Аналогично из преобразования равенства (73) вытекает, альтернативный метод вывода уравнения распределения частиц термодинамической системы, в i -й области пространства по ячейкам, согласно статистике Ферми-Дирака.

Представим правую часть равенства (74) в форме

$$x = \frac{-\sum_1^v \Delta E_v + N \cdot \varepsilon - RT + RT}{RT} = \frac{-\frac{1}{N} \sum_1^v \Delta E_v + \varepsilon}{kT} - 1 + 1; \quad (79)$$

из чего следует согласно уравнению (75)

$$2 + x = \ell^x + 1 = \ell^{\frac{-\mu + \varepsilon}{kT}} + 1; \quad \frac{1}{\ell^x + 1} = \frac{1}{2 + x} \quad (80)$$

или

$$\frac{1}{\ell^{\frac{-\mu + \varepsilon}{kT}} + 1} \approx \frac{1}{\frac{-\mu + \varepsilon}{kT} + 2}. \quad (81)$$

Умножая обе части равенства (81) на число ячеек z и, принимая во внимание, что $x = \frac{-\mu + \varepsilon}{kT}$, имеем

$$n_i = \frac{z}{\ell^{\frac{-\mu + \varepsilon}{kT}} + 1} \approx \frac{z}{\frac{-\mu + \varepsilon}{kT} + 2}, \quad (82)$$

где

$$n_{i,\Phi-D} = \frac{z}{\ell^{\frac{-\mu + \varepsilon}{kT}} + 1} - \text{выражает закон распределения частиц термодинамической системы в } i\text{-й области пространства, согласно статистике Ферми-Дирака.}$$

Выведенные равенства (78) и (82) аналогичные выше приведенным соответствующим равенствам из (70). На базе уравнения (73) вытекает

$$x_{B-\partial} = \frac{N\bar{\varepsilon} - \sum_1^v \Delta E_v - RT}{RT} = \frac{-\frac{1}{N} \sum_1^v \Delta E_v + \varepsilon}{kT} - 1 = \frac{\varepsilon - \mu}{kT} - 1. \quad (83)$$

Введем в уравнение (83) замену:

$$x' = -x = \frac{\mu - \varepsilon}{kT} + 1 \approx \ell^{x'}. \quad (84)$$

Согласно, замены в (73), равенство (72) примет вид

$$W_{\Gamma} = \ell^{N \cdot x} = (\ell^x)^N \approx (1+x)^N, \quad (85)$$

где функцию ℓ^x разложили в ряд $\ell^x \approx 1+x$, ограничившись двумя членами разложения.

Подставляя x' в равенство(85), имеем

$$W_{\Gamma} = \ell^{x' \cdot N} \approx (1+x')^N = (1-x)^N = \left(1 + \frac{\mu - \varepsilon}{kT} + 1\right)^N \approx (1 + \ell^{x'})^N = \left(1 + \ell^{\left(\frac{\mu - \varepsilon}{kT} + 1\right)}\right)^N. \quad (86)$$

Прологарифмировав равенство (86) и, умножив обе части его на постоянную величину Больцмана « k », находим

$$S'_{\Gamma} = k \ln W'_{\Gamma} = kN \ln \left(1 + \ell^{\frac{\mu - \varepsilon + kT}{kT}}\right) = kN \ln \left(1 + \ell^{\frac{\mu - \varepsilon'}{kT}}\right). \quad (87)$$

В равенстве (87) отражено равновероятное распределение энергии частиц по степеням свободы, где учли $\varepsilon' = \varepsilon_i = \varepsilon - kT$.

С другой стороны при выполнении условия (84), имеем

$$\begin{aligned} S''_{\Gamma} &= k \ln W''_{\Gamma} = k \ln \ell^{-xN} = -kxN = -kN \left(\frac{\varepsilon - \mu}{kT} - 1\right) = \\ &= \frac{N\mu}{T} - \frac{N\varepsilon}{T} + kN = -\frac{N\mu}{T} + \frac{N\varepsilon}{T} - \frac{2N\varepsilon}{T} + kN + \frac{2N\mu}{T}. \end{aligned} \quad (88)$$

Уравнение (88) можно представить

$$S''_{\Gamma} + \frac{2N\varepsilon}{T} - \frac{2N\mu}{T} - kN = \frac{N\mu}{T} + \frac{N\varepsilon}{T}. \quad (89)$$

Суммировав обе части равенств (87) и (89) в предположении, что $-\frac{2N\varepsilon}{T} + \frac{2N\mu}{T} + kN = 0$, из которого следует $\varepsilon - \mu = \frac{1}{2}kT$, получим

$$S_{\Gamma} = S'_{\Gamma} + S''_{\Gamma} = -\frac{N\mu}{T} + \frac{N\varepsilon}{T} + kN \ln \left(1 + \ell^{\frac{\mu - \varepsilon'}{kT}}\right). \quad (90)$$

Уравнение энтропии (90) отражает среднестатистические свойства термодинамической системы, которая не связана с понятием ячейки (уровня энергии). Если энергии ε_i частиц отнести к некоторым i -м уровням энергии, тогда число частиц N , распределенных по различным

уровням энергии термодинамической системы необходимо представить в виде суммы $N = \sum z_i$, где z_i – число ячеек, заполненных частицами системы.

Следовательно, равенство (87) можно представить

$$S_{\Gamma} = k \ln W_{\Gamma} = k \sum_i z_i \ln \left(1 + \ell \frac{\mu - \varepsilon_i}{kT} \right). \quad (91)$$

Складывая обе части равенств (91) и (89), при условии $-\frac{2N\varepsilon}{T} + \frac{2N\mu}{T} + kN = 0$, находим

$$S_{\Phi-Д} = S_{\Gamma}'' + S_{\Gamma} = -\frac{N\mu}{T} + \frac{E}{T} + k \sum_i z_i \cdot \ln \left(1 + \ell \frac{\mu - \varepsilon_i}{kT} \right), \quad (92)$$

где E – внутренняя энергия термодинамической системы;

$S_{\Phi-Д}$ – уравнение энтропии Ферми-Дирака.

При выводе уравнения энтропии согласно статистике Бозе - Эйнштейна воспользуемся соотношением

$$x_{Б-Э} = \frac{-\sum \Delta E_{\nu} + N\varepsilon + RT}{RT} = \frac{-\frac{1}{N} \sum \Delta E_{\nu} + \varepsilon}{kT} + 1 = \frac{\varepsilon - \mu}{kT} + 1 \approx \ell^{x_{Б-Э}}. \quad (93)$$

Из уравнения (93) вытекает

$$\ell^{x_{Б-Э}} - 1 \approx \frac{\varepsilon - \mu}{kT}. \quad (94)$$

Возведем обе части равенства (94) в степень равную $2N$, где $N \gg 1$, получим

$$W_{\Gamma} = (\ell^{x_{Б-Э}} - 1)^{2N} \approx \left(\frac{\varepsilon - \mu}{kT} \right)^{2N}, \quad (95)$$

где W_{Γ} – термодинамическая вероятность термодинамической системы $W_{\Gamma} \gg 1$.

На основании равенства (95), имеем

$$W_{\Gamma} = (\ell^{x_{Б-Э}} - 1)^{2N} = \left[- \left(1 - \ell \frac{\mu - \varepsilon}{kT} \right) \right]^{2N} = (-1)^{2N} \cdot \left(1 - \ell \frac{\mu - \varepsilon}{kT} \right)^{2N} = \left(1 - \ell \frac{\mu - \varepsilon}{kT} \right)^{2N}, \quad (96)$$

т. е.

$$W_{\Gamma} = \left(1 - \ell \frac{\mu - \varepsilon}{kT} \right)^{2N}. \quad (97)$$

Прологарифмировав и умножив на постоянную величину Больцмана « k » равенство (97), найдем составную часть энтропии Базе – Эйнштейна

$$\frac{1}{2}S_G = \frac{1}{2}k \cdot \ln W_G = \frac{1}{2} \cdot 2N \cdot k \ln \left(1 - \ell^{\frac{\mu - \varepsilon}{kT}} \right) = k \cdot \sum_i (z_i - 1) \cdot \ln \left(1 - \ell^{\frac{\mu - \varepsilon_i}{kT}} \right), \quad (98)$$

где на основании выше изложенного сделали замену, N заменили суммой ячеек $\sum_i (z_i - 1)$, которым отвечают частицы системы с энергией ε_i .

С другой стороны согласно уравнению (86), можно записать

$$S_G = k \ln W_G = k \ln \ell^{x_{B-\varepsilon} \cdot 2N} = k \cdot 2N \cdot x_{B-\varepsilon} = k \cdot 2N \left(\frac{\mu - \varepsilon}{kT} + 1 \right) = \frac{2\mu N}{T} - \frac{2\varepsilon \cdot N}{T} + 2kN. \quad (99)$$

Откуда следует

$$\frac{1}{2}S_G = \frac{\mu \cdot N}{T} - \frac{\varepsilon \cdot N}{T} + kN = \frac{\mu \cdot N}{T} + \frac{\varepsilon \cdot N}{T} - \frac{2\varepsilon \cdot N}{T} + kN. \quad (100)$$

Из (100), находим

$$\frac{1}{2}S_G + \frac{2\varepsilon \cdot N}{T} - \frac{2\mu N}{T} - kN = -\frac{\mu \cdot N}{T} + \frac{E}{T}; \quad (E = \varepsilon \cdot N). \quad (101)$$

Суммируя, левые и правые части равенств (98) и (101), имеем

$$S_{B-\varepsilon} = \frac{1}{2}S_G + \frac{1}{2}S_G + \frac{2\varepsilon \cdot N}{T} - \frac{2\mu N}{T} - kN = -\frac{\mu \cdot N}{T} + \frac{E}{T} + k \cdot \sum_i (z_i - 1) \cdot \ln \left(1 - \ell^{\frac{\mu - \varepsilon_i}{kT}} \right). \quad (102)$$

Если в равенстве (102) принять $\varepsilon - \mu = \frac{1}{2}kT$, тогда оно примет вид

$$S_{B-\varepsilon} = -\frac{\mu \cdot N}{T} + \frac{E}{T} + k \cdot \sum_i (z_i - 1) \cdot \ln \left(1 - \ell^{\frac{\mu - \varepsilon_i}{kT}} \right). \quad (103)$$

Равенство (103) является уравнением энтропии Базе – Эйнштейна.

Анализируя термодинамическую систему со статистической точки зрения, при которой не учитывается понятие ячеек (уровней энергии) уравнение (103) примет вид

$$S = -\frac{\mu \cdot N}{T} + \frac{E}{T} + k \cdot N \cdot \ln \left(1 - \ell^{\frac{\mu - \varepsilon}{kT}} \right). \quad (104)$$

Согласно, замены в (73), равенство (72) примет вид

$$W_G = \ell^{N \cdot x} = (\ell^x)^N \approx (1 + x)^N, \quad (105)$$

где функцию ℓ^x разложили в ряд $\ell^x \approx 1 + x$, ограничившись двумя членами разложения, откуда следует:

$$x \approx \ell^x - 1. \quad (106)$$

Подставляя (106) в (105), находим

$$W_G \approx \left(\ell^{\ell^x - 1}\right)^N = \ell^{-N} \cdot \ell^{N\ell^x}; \quad W_G \cdot \ell^N = \ell^{N\ell^x}; \quad (107)$$

Прологарифмировав равенство (106), и, умножив на постоянную Больцмана « k », найдем функцию энтропии

$$S_G = k \ln W_G = kN \ln \left(\ell^{\ell^x - 1}\right) = kN(\ell^x - 1), \quad (108)$$

где S_G – энтропия, рассчитанная по термодинамической вероятности Гиббса.

Из равенства (108) вытекает

$$S_G + kN = kN \cdot \ell^x. \quad (109)$$

Подставляя (106) в (109), имеем

$$S = kN \cdot \ell^{\ell^x - 1}, \quad (110)$$

где $S = S_G + kN$.

Преобразуем правую часть равенства (110), для чего при разложении функции ℓ^x в ряд ограничимся тремя членами разложения

$$\ell^x = \left(\ell^{2x}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(1 + x_1 + \frac{1}{2}x_1^2\right)^{\frac{1}{2}} = \pm \left(\frac{1}{2}(x_1 + 1)^2 + \frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (111)$$

где $x_1 = 2x$. Подставляя (111) в (110), получим

$$S \approx -kN \cdot \ell^{-1} \cdot \ell^{\pm \left[\frac{1}{2}(x_1 + 1)^2 + \frac{1}{2}\right]^{\frac{1}{2}}}. \quad (112)$$

Правая часть уравнения (112) отражает частный случай общего вида уравнения энтропии

$$S = \alpha_S \cdot \ell^{\pm \left[\frac{1}{a} \left(\frac{b}{T} + \frac{1}{\ln T}\right)^2 + C\right]^{\frac{1}{2}}} = \alpha_S \cdot \ell^{\pm \left[\frac{b^2/a}{T^2} + \frac{2b/a}{T \ln T} + \frac{1/a}{(\ln T)^2} + C\right]^{\frac{1}{2}}}, \quad (113)$$

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 (113)

общий вид уравнения энтропии можно представить

$$S = \alpha_S \cdot \ell^{\pm \left[\frac{A_1}{T^2} + \frac{A_2}{T \ln T} + \frac{A_3}{(\ln T)^2} + C\right]^{\frac{1}{2}}}, \quad (114)$$

где A_1, A_2, A_3 – постоянные; $C = C(T)$; $\alpha_S = \alpha(T)$ – величины, которые часто рассматриваются как постоянные величины.

Основополагающей 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:

$$\delta Q = TdS. \quad (115)$$

Важным аргументом в пользу фундаментального характера исследуемого уравнения служат вытекающие из него следствия, подтвержденные экспериментом. В этой связи в работах [1, 2, 5] рассматривался вопрос о принципиальной необходимости соответствия предложенного уравнения энтропии (114) фундаментальному соотношению

$$C_p = T \frac{\partial S}{\partial T}, \quad (116)$$

которое вытекает из феноменологической теории термодинамики, т. е. рассматривалось требование получения общего вида функции изобарной теплоемкости из (116) посредством дифференцирования функции (114) по температуре. Из результата дифференцирования (114) согласно (116) получили уравнение изобарной теплоемкости

$$C_p = \ell^{(A_5 + c'(T)) \frac{1}{2}} \ell^{\pm \left(\frac{A_1}{T^2} + \frac{2A_2}{T \ln T} + \frac{A_3}{(\ln T)^2} + c'(T) \right) \frac{1}{2}} \cdot \left[\frac{b'(T)}{2(A_5 + c'(T)) \frac{1}{2}} + \frac{\frac{A_1}{T^2} + \frac{A_2(1 + \ln T)}{T(\ln T)^2} + \frac{A_3}{(\ln T)^3} + b'(T)}{\left(\frac{A_1}{T^2} + \frac{2A_2}{T \ln T} + \frac{A_3}{(\ln T)^2} + c'(T) \right) \frac{1}{2}} \right], \quad (117)$$

где $c'(T)$ есть функция температуры:

$$c'(T) = \left(\frac{a_1 + b_1 \cdot T}{c_1 + T} \right)^{\frac{1}{2}}; a_1, b_1, c_1 - const, \quad (118)$$

производная, которой по температуре T выражается зависимостью

$$\frac{dc'}{dT} = b'(T) = \frac{b_1 c_1 - a_1}{2(c_1 + T)^3} (a_1 + b_1 T), \quad (119)$$

где при $T \gg 1$ правая часть равенства (119) с изменением температуры практически остается величиной постоянной, поэтому ее можно представить

$$\frac{dc'}{dT} = b'(T) \approx const, \quad (120)$$

следовательно, в уравнении (117) значение $b'(T)$, как правило, принимается величиной постоянной.

В основе расчета коэффициентов уравнения (114) использовалось равенство

$$[\ln(S_T^0 - S_{T=0}^0)]^2 = \frac{b^2}{T^2} + \frac{2\sigma \cdot b}{T \ln T} + \frac{\sigma^2}{(\ln T)^2} + 2 \ln(S_T^0 - S_{T=0}^0) \cdot \gamma + c' - [\ln(-\alpha_s)]^2. \quad (121)$$

На базе уравнения (121) для твердой фазы алюминия $Al_{кр}$ нашли

$$A_1 = b^2 = 38449; A_2 = b\sigma = 169,37; A_3 = \sigma^2 = 143,59; A_4 = \gamma = 4,89; \\ A_5 = c = c' - [\ln(-\alpha_s)]^2 = -26,532; \quad (122)$$

Из последнего равенства (122) вытекает

$$-\alpha_s = e^{(26,532 + c')^{\frac{1}{2}}}. \quad (123)$$

В развернутом виде уравнение (114), согласно (123), примет вид

$$S_T^0 = e^{(c+c')^{\frac{1}{2}}} \cdot e^{-\left(\frac{A_1}{T^2} + \frac{A_2}{T \ln T} + \frac{A_3}{(\ln T)^2} + c' \right)^{\frac{1}{2}}}. \quad (124)$$

По уравнению (124) нашли конкретные виды функций для расчета энтропии простых веществ. Для твердой фазы алюминия в интервале температур $100 \leq TK \leq 400$ уравнение (124) преобразуем к виду

$$S_{Al_{кр}}^0 = \frac{132,357}{e^{\left(\frac{38449}{T^2} + \frac{338,745}{T \ln T} + \frac{143,59}{(\ln T)^2} - 2,664 \right)^{\frac{1}{2}}}} \left(\frac{Дж}{мольК} \right), \quad (125)$$

где $c' = -2,664$; $c = 26,532$.

При температуре $T = 500\text{K}$ расчетное значение энтропии по уравнению (125), превышает экспериментальные с относительной погрешностью \approx в 1 %, начинает сказываться слабая зависимость параметра c' от температуры. На всем исследуемом участке интервала температур $100 \leq TK \leq 933$ справедлива зависимость

$$S_T^0 = \frac{e^{(23,77+2,656 \cdot 10^{-4} \cdot T)^{\frac{1}{2}}}}{e^{\left(\frac{38449}{T^2} + \frac{338,745}{T \ln T} + \frac{143,588}{(\ln T)^2} - 2,763 + 2,656 \cdot 10^{-4} \cdot T\right)^{\frac{1}{2}}}}, \quad (126)$$

где $c' = -2,763 + 2,656 \cdot 10^{-4} \cdot T$. (127)

Результаты расчета в интервале $100 \leq TK \leq 500$ приведены в табл. 1, а результаты расчета по уравнению (126) приведены в табл. 2.

Таблица 1

Результаты расчета энтропии твердой фазы алюминия по уравнению (125) в сопоставлении с данными литературных источников [6]

| TK | c' | $S_{Al,kp}^o$ | $S_{Al,kp}^o$ | 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 |

Таблица 2

Результаты расчета энтропии твердой фазы алюминия по уравнению (126) 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:

$$S_{Be,kr}^0 = \frac{7,2182}{e^{\pm \left(\frac{48919,585}{T^2} + \frac{10112,54}{T \ln T} - \frac{841,0722}{(\ln T)^2} + 19,5147 \right)^{\frac{1}{2}}}} ; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right); 10 \leq TK \leq 200; \quad (128)$$

$$S_{Be,kr}^0 = \frac{2,34656}{e^{\pm \left(\frac{131634,2}{T^2} + \frac{276,468}{T \ln T} - \frac{730,237}{(\ln T)^2} + 22,808 \right)^{\frac{1}{2}}}} ; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right) \quad 200 \leq TK \leq 400; \quad (129)$$

$$S_{Be,kr}^0 = \frac{8,7649 \cdot e^{(-4,16422 \cdot 10^{-3} \cdot T + 6,93 \cdot 10^{-6} \cdot T^2)}}{e^{\pm \left(\frac{-993,01}{T^2} + \frac{8407,2546}{T \ln T} - \frac{714,5725}{(\ln T)^2} + 17,576 \right)^{\frac{1}{2}}}} ; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right); \quad 200 \leq TK \leq 400; \quad (130)$$

$$S_{Be,kr}^0 = \frac{5,1576}{e^{\pm \left(\frac{-993,01}{T^2} + \frac{8407,2546}{T \ln T} - \frac{714,5725}{(\ln T)^2} + 17,576 \right)^{\frac{1}{2}}}} ; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right); \quad 500 \leq TK \leq 1000. \quad (131)$$

Магний кристаллический:

$$S_{Mg,kr}^0 = \frac{22,55}{e^{\pm \left(\frac{-5151,531}{T^2} + \frac{3412,834}{T \ln T} - \frac{265,1916}{(\ln T)^2} + 6,3556 \right)^{\frac{1}{2}}}} ; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right); \quad 10 \leq TK \leq 350; \quad (132)$$

$$S_{Mg,kr}^0 = \frac{31445,145}{e^{\pm \left(\frac{109,439}{T^2} - \frac{3809,6642}{T \ln T} + \frac{1078,5378}{(\ln T)^2} + 15,9342 \right)^{\frac{1}{2}}}} ; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right); \quad 350 \leq TK \leq 923. \quad (133)$$

Германий кристаллический:

$$S_{Ge,kr}^0 = \frac{606,188}{e^{\pm \left(\frac{57603,207}{T^2} - \frac{177,853}{T \ln T} + \frac{315,591}{(\ln T)^2} - 1,41326 \right)^{\frac{1}{2}}}} ; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right); \quad 200 \leq TK \leq 1200. \quad (134)$$

Кремний кристаллический:

$$S_{Si,kr}^0 = \frac{68,71}{e^{\pm \left(\frac{2,2024}{T^2} + \frac{4982,1892}{T \ln T} - \frac{68,617}{(\ln T)^2} + 0,8529 \right)^{\frac{1}{2}}}} ; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right); \quad 100 \leq TK \leq 1600. \quad (135)$$

Кальций кристаллический:

$$S_{Ca,kr}^0 = \frac{0,787462}{e^{\pm \left(\frac{-7980,2}{T^2} + \frac{2311,084}{T \ln T} - \frac{589,279}{(\ln T)^2} + 82,618 \right)^{\frac{1}{2}}}} ; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right); \quad 100 \leq TK \leq 500; \quad (136)$$

$$S_{Ca,kp}^0 = \frac{26,25}{e^{\pm \left(\frac{1172,2119}{T^2} + \frac{3147,356}{T \ln T} - \frac{255,1557}{(\ln T)^2} + 6,1185 \right)^{\frac{1}{2}}}} ; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right); \quad 500 \leq TK \leq 1000. \quad (137)$$

Диоксид кремния кристаллического:

$$S_{SiO_2,kp}^0 = \frac{22355,529}{e^{\pm \left(\frac{-1328378}{T^2} + \frac{60912,078}{T \ln T} - \frac{238,646}{(\ln T)^2} + 25,39 \right)^{\frac{1}{2}}}} ; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right); \quad 400 \leq TK \leq 1000; \quad (138)$$

$$S_{SiO_2,kp}^0 = \frac{150,8849}{e^{\pm \left(\frac{-195076,18}{T^2} + \frac{10257,04}{T \ln T} - \frac{168,2076}{(\ln T)^2} + 2,2974 \right)^{\frac{1}{2}}}} ; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right); \quad 900 \leq TK \leq 2000. \quad (139)$$

Дигидроксид бериллия кристаллического:

$$S_{Be(OH)_2,kp}^0 = \frac{66,122}{e^{\pm \left(\frac{-59341}{T^2} + \frac{2,5981}{T \ln T} - \frac{549,9474}{(\ln T)^2} + 10,706 \right)^{\frac{1}{2}}}} ; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right); \quad 10 \leq TK \leq 300; \quad (140)$$

$$S_{Be(OH)_2,kp}^0 = \frac{e^{(17,5591+9 \cdot 10^{-6} \cdot T)^{\frac{1}{2}}}}{e^{\pm \left(\frac{-59341}{T^2} + \frac{11962}{T \ln T} - \frac{549,9474}{(\ln T)^2} + 10,6961+9 \cdot 10^{-6} \cdot T \right)^{\frac{1}{2}}}} ; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right); \quad 300 \leq TK \leq 500. \quad (141)$$

Дигидроксид бериллия газообразного:

$$S_{Be(OH)_2,g}^0 = \frac{30,197}{e^{\pm \left(\frac{-15327,95}{T^2} + \frac{2,1476,388}{T \ln T} - \frac{273,187}{(\ln T)^2} + 11,2977 \right)^{\frac{1}{2}}}} ; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right); \quad 50 \leq TK \leq 1000; \quad (142)$$

$$S_{Be(OH)_2,g}^0 = \frac{e^{(0,32+c'(T))^{\frac{1}{2}}}}{e^{\pm \left(\frac{-15327,95}{T^2} + \frac{2,1476,388}{T \ln T} - \frac{273,187}{(\ln T)^2} + c'(T) \right)^{\frac{1}{2}}}} ; \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right); \quad 100 \leq TK \leq 6000, \quad (143)$$

где

$$c' = \sqrt{\frac{1061928,4 + 147,0177 \cdot T}{8433,396 + T}}.$$

На основании функции (116) с учетом конкретного вида уравнения энтропии для кристаллической фазы алюминия (125) нашли уравнение теплоемкости

$$C_P = e^{(26,532+c')^{\frac{1}{2}}} \cdot e^{-\left(\frac{38449}{T^2} + \frac{338,745}{T \ln T} + \frac{143,59}{(\ln T)^2} + c' \right)^{\frac{1}{2}}}.$$

$$\left\{ \frac{b' \cdot T}{2(26,532 + c')^{\frac{1}{2}}} + \frac{\frac{38449}{T^2} + \frac{169,37 \cdot (1 + \ln T)}{T(\ln T)^2} + \frac{143,59}{(\ln T)^3} + b'T}{\left(\frac{38449}{T^2} + \frac{338,745}{T \ln T} + \frac{143,59}{(\ln T)^2} + c' \right)^{\frac{1}{2}}} \right\}, \quad (144)$$

где $b' = 2,656 \cdot 10^{-4}$; $c' = \left(\frac{a + b \cdot T}{c + T} \right)^{\frac{1}{2}}$ $a, b, c - const.$

Результаты расчета по уравнениям (140), (141) приведены в табл. 3, 4.

Таблица 3

**Результаты расчета дигидроксида бериллия по уравнению (140)
в сопоставлении с данными литературных источников [6]**

| ТК | 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 (141)
в сопоставлении с данными литературных источников [6]**

| ТК | c' | $S_{Be(OH)_2,kp}^0$ | $S_{Be(OH)_2,kp}^0$ | Относительная ошибка % |
|-----|-----------|---------------------|---------------------|------------------------------|
| | | Дж/моль К | | |
| | | 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 (142), (143) приведены в табл. 5, 6.

Таблица 5

**Результаты расчета дигидроксида бериллия по уравнению (142)
в сопоставлении с данными литературных источников [6]**

| TK | $c'(T)$ | $S_{Be(OH)_2,Г}^0$ | $S_{Be(OH)_2,Г}^0$ | 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 (143)
в сопоставлении с данными литературных источников [6]**

| TK | $c'(T)$ | $S_{Be(OH)_2,Г}^0$ | $S_{Be(OH)_2,Г}^0$ | 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 |

Результаты расчета по уравнению (144) приведены в табл. 7, 8.

Расчеты по уравнению (144) находятся в хорошем согласии с данными литературных источников [7-10]. 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 [7-10]**

$$c' = \sqrt{\frac{1083,113 + 2,6905 \cdot T}{2,442 + T}}$$

| TK | c' | $C_{p,Al,kr}$ | $C_{p,Al,kr}$ | Относительная ошибка % |
|-----|---------|---------------|---------------|------------------------------|
| | | Дж/моль К | | |
| | | расчет | [7-10] | |
| 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 [7-10]**

$$c' = -\sqrt{\frac{-161,684 + 4,047 \cdot T}{-54,1 + T}}$$

$$c' = -\sqrt{\frac{-242,684 + 9,28 \cdot T}{29,525 + T}}$$

| $55 \leq TK \leq 100$ | | | | | $100 \leq TK \leq 200$ | | | | |
|-----------------------|--------|---------------|---------------|--------------------------|------------------------|--------|---------------|---------------|--------------------------|
| 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 | [7-10] | | | | расчет | [7-10] | |
| 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

В данной работе рассмотрен метод аналитического анализа термодинамических систем постоянного объема с использованием понятия сумм состояний, который дал возможность альтернативным путем вывести функции распределения частиц системы (макротела) и уравнения энтропии, ранее выведенных на основе квантовой природы частиц Бозе – Эйнштейном и Ферми – Дираком.

Впервые дан вывод уравнения энтропии и изобарной теплоемкости веществ как функции температуры, что упрощает их использование в термодинамических расчетах. Показана внутренняя согласованность этих уравнений с фундаментальным соотношением $C_p = T \frac{\partial S}{\partial T}$.

Эвристичность этих уравнений заключается в том, что они дают возможность упростить расчеты термодинамических индивидуальных свойств веществ, не используя эмпирические уравнения для анализа и согласования этих свойств.

Проведен анализ сходимости расчетных значений по выведенным уравнениям, энтропии и теплоемкости простых и сложных веществ в сопоставлении с данными литературных источников.

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. Ю. Б. Румер, Б. Ш. Рывкин. Термодинамика. Статистическая физика и кинетика. М., 1977 г., 552 стр.
3. Базаров И. П. Термодинамика: Учебник. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1983. — 344с., ил.
4. Р. А. Свелин. Термодинамика твердого состояния. Перев. с англ. Изд-во «Металлургия», 1968, 316 с.

5. Хачкурузов Г. А. Основы общей и химической термодинамики: Учебное пособие для студентов вузов. — М.: Высшая школа. 1979. — 268 с., ил.

6. Глушко В. П., Гуревич Л. В., Бергман Г. А. и др. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. М. — Наука, 1978. т. I, 496 с.

7. 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.

8. Федоров С. В. Характерные особенности расчета изобарной теплоемкости и энтропии простых веществ. Материалы XII Международной научно-методической конференции. Т. I. СПб.: изд. СПб ГПУ, 2005. С. 294-299.

9. 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.

10. 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.

11. Дж. Кемпбел. Современная общая химия. Изд. «Мир». Москва 1975. — 546 с.

12. Ф. Рейф. Статистическая физика: Учеб. руковод. Пер. с англ. / Под ред. А. И. Шальникова и А. О. Вайсенберга. — 3-е изд., испр. — М. Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986 (Берклеев. курс физики). — 336 с., ил.

13. С. И. Исаев. Курс химической термодинамики. Учебное пособие для вузов. М., «Машиностроение», 1975, с. 256.

14. О. М. Полторак. Лекции по химической термодинамики. Учеб. пособие. М «Высшая школа» 1971., 256 с., ил.

Применение уравнения гидравлического сопротивления по длине к анализу различных зон трения

Федоров С. В.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

Механизм турбулентного потока весьма сложен и трудность решения проблемы связана с тем, что при этом режиме движение конечных масс жидкости происходит беспорядочно, подобно движению молекул, рассматриваемому в кинетической теории газа. Благодаря крайней сложности и беспорядочности движения частиц жидкости, можно считать, что при большом промежутке времени скорости, координаты частиц жидкости пройдут через все возможные наборы их значений. Это позволяет рассматривать кинематические и динамические характеристики такого движения, как случайные функции, принимающие значения с некоторой степенью вероятностей.

Приняв предположение о существовании распределений вероятности для всех гидродинамических полей, можно широко применять математический аппарат современной теории вероятностей.

Следует отметить, что возникает необходимость о сопоставлении выводов теории с данными непосредственных экспериментов. Как правило, при изучении турбулентного режима движения жидкости приходится комбинировать методы классической механики с методами статистической физики, используя понятия из теории вероятностей.

Как известно содержание изучаемых процессов происходящих в различных физических системах и форма их описания (аналитические уравнения, связываемые параметры изучаемых процессов) взаимно обуславливают друг друга, подчеркивая, как правило, различия физической природы явлений. Однако важно подчеркнуть, что имеют место случаи, когда природа изучаемых процессов в различных физических системах по форме аналитических зависимостей между параметрами состояния системы могут быть совершенно идентичными. Объяснение этому следует искать в природе общих закономерностей, в частности в статистической природе изучаемых явлений. Рассмотрим связь равновесных параметров

$x(y), T, \frac{P_{H_2}}{P_{H_2O}}(P_{O_2})$, характеризующих равновесный состав нестехиометрических соединений, например, оксида железа и урана $Fe_xO; U_xO_2$ в сопоставлении с параметрами, установившегося в переходной зоне режима движения жидкости $\lambda, Re, \frac{k_3}{d}$ предполагая, что статистическая природа этих разных процессов должна быть однотипной. Уравнение фаз переменного состава, как известно [1], при протекании реакции в условиях взаимно конкурирующих газовых фаз воды H_2O и водорода H_2 имеет вид:

$$y = \left(\frac{f_1}{T} + f_2 \right) \cdot \left(\lg \frac{P_{H_2}}{P_{H_2O}} \right)^{m_1} + \left(\frac{k_1}{T} + k_2 \right) \cdot \left(\lg \frac{P_{H_2}}{P_{H_2O}} \right)^{m_2} + \left(\frac{s_1}{T} + s_2 \right) \cdot \left(\lg \frac{P_{H_2}}{P_{H_2O}} \right)^{m_3}, \quad (1)$$

где $f_1, f_2, k_1, k_2, s_1, s_2$ – постоянные величины для данного нестехиометрического соединения;

$\frac{P_{H_2}}{P_{H_2O}}$ – отношение равновесных парциальных давлений кислорода P_{H_2} и воды P_{H_2O} , что эквивалентно равновесному давлению кислорода P_{O_2} ;

m_1, m_2, m_3 – характерные величины для данных нестехиометрических фаз постоянные. Например, для оксида железа Fe_xO и урана U_xO_2 , $m_1 = 1; m_2 = 2; m_3 = 0$.

В настоящей работе сделали допущение, что связь между коэффициентом гидравлического трения λ , числом Рейнольдса Re , и эквивалентной шероховатостью $\frac{K_3}{d}$ аналогична связи между величинами y, T, P_{O_2} , определяемой равенством (1).

Заменим в формуле (1) y на λ ; T на Re ; $\frac{P_{H_2}}{P_{H_2O}}$ на $\frac{K_3}{d}$ и, принимая

$m_1 = z; m_2 = 2z; m_3 = 0$ связь между $\lambda, Re, \frac{K_3}{d}$, уравнение (1) примет вид [2]

$$\lambda = \left(\frac{f_1}{Re} + f_2 \right) \cdot \left(\lg \frac{K_3}{d} \right)^z + \left(\frac{k_1}{Re} + K_2 \right) \cdot \left(\lg \frac{K_3}{d} \right)^{2z} + \left(\frac{s_1}{Re} + s_2 \right). \quad (2)$$

Равенство (2) в дальнейшем будем называть уравнением гидродинамического сопротивления по длине.

Введем обозначения:

$$\left(\frac{k_1}{\text{Re}} + k_2\right) = a; \left(\frac{s_1}{\text{Re}} + s_2\right) / \left(\frac{k_1}{\text{Re}} + k_2\right) = c; \left(\frac{f_1}{\text{Re}} + f_2\right) / 2 \left(\frac{k_1}{\text{Re}} + k_2\right) = b. \quad (3)$$

Согласно равенствам (3) уравнение (2) приведем к виду

$$\lambda = a \left\{ \left[b - \left(\lg \frac{d}{k_s} \right)^z \right]^2 + (c - b^2) \right\}. \quad (4)$$

Используя данные литературных источников, определим конкретную связь величин a, b, c, z от числа Рейнольдса.

$$a = \frac{948,46}{\text{Re}} + 0,002; \quad b = \frac{3965,5 / \text{Re} + 0,0283}{2(948,463 / \text{Re} + 0,002)}; \quad c = \frac{4262,862 / \text{Re} + 0,06677}{948,463 / \text{Re} + 0,002}; \quad (5)$$

$$z = 1 - \frac{1}{\text{Re}_0} - 0,25378 - 2,60958 \cdot 10^{-8} \cdot \text{Re} + \frac{1270,5682}{\text{Re}}. \quad (6)$$

Используя соотношения (5) и (6) в равенстве (4), получим приближенную формулу для расчета коэффициента сопротивления по длине λ в переходной области [3]

$$\lambda = a \left\{ \left[b - \left(\lg \frac{d}{k_s} \right)^{1 - \frac{1}{\text{Re}_0} - 0,25378 - 2,60958 \cdot 10^{-8} \cdot \text{Re} + \frac{1270,5682}{\text{Re}}} \right]^2 + (c - b^2) \right\}, \quad (7)$$

где $\text{Re}_0 = 5000$ – начальное значение Рейнольдса, используемое в расчетах.

В интервале изменения числа Рейнольдса $0 < \text{Re} \leq 150000$ оценили значения коэффициента сопротивления по длине λ . Расчетные значения λ по уравнению (7) в сопоставлении с данными литературных источников отражены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета по уравнению (7) в сопоставлении с данными литературных источников [4, 5, 6]

| $\frac{d}{k_s}$ | Re | λ расч. | λ [4, 5, 6] | $\frac{d}{k_s}$ | Re | λ расч. | λ [4, 5, 6] |
|-----------------|-------|--------------------|------------------------|-----------------|--------|--------------------|------------------------|
| 100 | 5000 | 0,0433 | 0,0433 | 160 | 50000 | 0,0321 | 0,0327 |
| 100 | 10000 | 0,0398 | 0,0398 | 200 | 5000 | 0,0442 | 0,0406 |
| 100 | 25000 | 0,0371 | 0,037 | 200 | 10000 | 0,0356 | 0,0362 |
| 120 | 10000 | 0,0398 | 0,0386 | 200 | 25000 | 0,0319 | 0,0326 |
| 120 | 25000 | 0,0346 | 0,0358 | 300 | 10000 | 0,0345 | 0,0349 |
| 120 | 4000 | 0,0450 | 0,044 | 300 | 25000 | 0,0287 | 0,0307 |
| 140 | 10000 | 0,04 | 0,04 | 400 | 5000 | 0,04 | 0,03918 |
| 140 | 40000 | 0,0339 | 0,0339 | 400 | 10000 | 0,0358 | 0,0342 |
| 140 | 5000 | 0,0402 | 0,0413 | 400 | 40000 | 0,0261 | 0,028 |
| 160 | 10000 | 0,038 | 0,0372 | 400 | 150000 | 0,0247 | 0,0258 |

Запишем уравнение гидравлического сопротивления по длине [1, 2] в виде

$$\lambda = \left[\lg \left(\frac{k_{\vartheta}}{d} \right) \left(\frac{f_1 + f_2}{\text{Re}} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^Z + \left[\lg \left(\frac{k_{\vartheta}}{d} \right) \left(\frac{k_1 + k_2}{\text{Re}} \right)^{\frac{1}{2Z}} \right]^{2Z} + \lg 10 \left(\frac{s_1 + s_2}{\text{Re}} \right). \quad (8)$$

Рассмотрим частный случай гидравлического трения, когда $\lambda = 0$. В этом случае, согласно уравнению (8), имеем

$$\frac{f_1}{\text{Re}} + f_2 = 0; \quad \frac{k_1}{\text{Re}} + k_2 = 0; \quad \frac{s_1}{\text{Re}} + s_2 = 0; \quad (9)$$

из (9) вытекают соотношения

$$f_1 d \lg \text{Re} + f_2 = 0; \quad k_1 d \lg \text{Re} + k_2 = 0; \quad s_1 d \lg \text{Re} + s_2 = 0; \quad (10)$$

В развернутой форме равенства (10) можно записать в виде

$$\begin{aligned} d \lg \text{Re} &= -\frac{f_2}{f_1} = -\frac{1}{\frac{f_1}{f_2}} = -d \lg \frac{f_1}{f_2} = -d(\lg f_1 - \lg f_2); \\ d \lg \text{Re} &= -\frac{k_2}{k_1} = -\frac{1}{\frac{k_1}{k_2}} = -d \lg \frac{k_1}{k_2} = -d(\lg k_1 - \lg k_2); \\ d \lg \text{Re} &= -\frac{s_2}{s_1} = -\frac{1}{\frac{s_1}{s_2}} = -d \lg \frac{s_1}{s_2} = -d(\lg s_1 - \lg s_2). \end{aligned} \quad (11)$$

Проинтегрировав каждое из дифференциальных уравнений системы равенств, (11) находим

$$\begin{aligned} \lg f_2 &= \lg \text{Re}_f + \lg f_1 + \lg C_f; \\ \lg k_2 &= \lg \text{Re}_k + \lg k_1 + \lg C_k; \\ \lg s_2 &= \lg \text{Re}_s + \lg s_1 + \lg C_s, \end{aligned} \quad (12)$$

где $\lg C_f, \lg C_k, \lg C_s$ – интегральные постоянные.

При расчете гидравлического сопротивления по длине λ в переходной зоне трения использовали функции:

$$f = \frac{3965,5}{\text{Re}} + 0,0283; \quad a = \frac{948,46}{\text{Re}} + 0,002; \quad s = \frac{4262,86}{\text{Re}} + 0,0668, \quad (13)$$

где в числителях равенств (13) записаны значения $f_1; k_1; s_1$, а значениям вторых слагаемых отвечают величины f_2, k_2, s_2 соответственно.

Преобразуем левые части равенств (12), замечая, что значения $f_2 < 1; k_2 < 1; s_2 < 1$ для левой части первого равенства из системы (12) можно, используя принцип разложения логарифма в ряд, записать

$$\lg f_2 = \lg(1 + f_2 - 1) = \lg(1 - x_f) \approx -x_f = -1 + f_2. \quad (14)$$

Чтобы согласовать (14) с системой координат $(\lg 100\lambda; 0; \lg \text{Re})$, используемой в опытах Никурадзе [3], введем в рассмотрение величину

$$\lg 100 f_2 = 2 + \lg f_2 \approx 2 - 1 + f_2 = 1 + f_2. \quad (15)$$

Аналогичные преобразования можно провести для остальных уравнений из системы (12)

$$\lg 100 k_2 = 2 + \lg k_2 \approx 1 + k_2; \quad (16)$$

$$\lg 100 s_2 = 2 + \lg s_2 \approx 1 + s_2. \quad (17)$$

Из системы уравнений (12) и равенств (15)-(17) вытекают зависимости

$$\begin{aligned} \lg 100 f_2 \approx 1 + f_2 &= \lg \text{Re}_f + \lg k_1 + \lg \frac{f_1}{k_1} + \lg 2C_f; \\ \lg 100 k_2 \approx 1 + k_2 &= \lg \text{Re}_k + \lg k_1 + \lg \frac{k_1}{k_1} + \lg 2C_k; \end{aligned} \quad (18)$$

$$\lg 100 s_2 \approx 1 + s_2 = \lg \text{Re}_s + \lg k_1 + \lg \frac{s_1}{k_1} + \lg 2C_s,$$

или путем эквивалентных преобразований находим

$$\lg 100 f_2 \frac{30^2 k_1}{3^2 f_1 \cdot 10} \approx 1 + f_2 - \lg \frac{f_1 \cdot 10^2}{k_1^2} = \alpha_f \cdot \lg \text{Re}_f + 2 \lg \frac{k_1}{10}; \quad (19)$$

$$\lg 100 k_2 \frac{30^2 k_1}{3^2 k_1 \cdot 10} \approx 1 + k_2 - \lg \frac{k_1 \cdot 10^2}{k_1^2} = \alpha_k \lg \text{Re}_k + 2 \lg \frac{k_1}{10}; \quad (20)$$

$$\lg 100 s_2 \frac{30^2 k_1}{3^2 s_1 \cdot 10} \approx 1 + s_2 - \lg \frac{s_1 \cdot 10^2}{k_1^2} = \alpha_s \lg \text{Re}_s + 2 \lg \frac{k_1}{10}, \quad (21)$$

Из уравнений (19) – (21) и (13) получаем значения

$$\begin{aligned} \alpha_f &= \frac{1 + f_2 - \lg f_1}{\lg \text{Re}_f} = -0,49937; \\ \alpha_k &= \frac{1 + k_2 - \lg k_1}{\lg \text{Re}_k} = -0,348; \\ \alpha_s &= \frac{1 + s_2 - \lg s_1}{\lg \text{Re}_s} = -0,5459, \end{aligned} \quad (22)$$

где $Re_f = 140124$; $Re_k = 474230$; $Re_s = 63816$ нашли из (9) при значениях $f'_2 = -f_2 = -0,0283$; $k'_2 = -k_2 = -0,002$; $s'_2 = -s_2 = -0,0668$.

Значения из системы (22) связаны линейной зависимостью с числом Рейнольдса

$$\alpha = 4,822 \cdot 10^{-7} Re - 0,5767. \quad (23)$$

В равенствах (19)-(21) введем обозначения

$$\begin{aligned} \lambda_f &= f_2 \cdot \frac{k_1 \cdot 30^2}{3^2 \cdot 10 f_1} = 30^2 \cdot \lambda_{B,f}^2; \\ \lambda_k &= k \cdot \frac{k_1 \cdot 30^2}{3^2 \cdot 10 k_1} = 30^2 \cdot \lambda_{B,k}^2; \\ \lambda_s &= s_2 \cdot \frac{k_1 \cdot 30^2}{3^3 \cdot 10 s_1} = 30^2 \cdot \lambda_{B,s}^2. \end{aligned} \quad (24)$$

Из линейной зависимости (23) вытекает зависимость от числа Рейнольдса величин (24), которые можно рассматривать как разные значения некоторой функции $\lambda(Re)$, следовательно, можно записать

$$\lg 100 \cdot \lambda = (4,822 \cdot 10^{-7} \cdot Re - 0,5767) \lg Re + 1,954. \quad (25)$$

Приближенный характер разложения логарифма равенства (14) в ряд вносит в результаты расчета некоторую погрешность, исключение которой связано с незначительной коррекцией величин, входящих в уравнение (18). Из (25) вытекает зависимость

$$\lambda = \frac{0,89958}{Re^{-(4,822 \cdot 10^{-7} \cdot Re - 0,5767)}}. \quad (26)$$

Результаты расчета по уравнению (26) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета гидравлического сопротивления по длине по уравнению (26)

| Re | λ | $\lg 100\lambda$ |
|--------|-----------|------------------|
| 474230 | 0,009521 | - 0,02135 |
| 350000 | 0,004926 | -0,3074 |
| 250000 | 0,00310 | -0,508 |
| 140000 | 0,002156 | -0,6662 |
| 63816 | 0,002142 | -0,669 |
| 30000 | 0,002735 | -0,563 |
| 1200 | 0,015139 | 0,1801 |

Расчетные значения по уравнению (26), приведенные в табл. 2, на порядок и более, ниже значений коэффициентов гидравлического трения λ , наблюдаемых в реальных условиях. При этом, функция (26) в интервале $63000 < Re < 140000$ имеет минимум ($\lg 100\lambda_{\min} = -0,646$). Реализация условий (9) в реальных условиях по видимому маловероятна, поэтому «сверхтекучесть» жидкости в реальных условиях не наблюдается. Запишем уравнение (26) в виде

$$\lambda = 3^2 \cdot \lambda_B^2 = \frac{0,8995}{Re^{0,5}} \cdot \frac{1}{Re^{(0,0767-4,822 \cdot 10^{-7} Re)}}, \quad (27)$$

откуда вытекает

$$\lambda_B = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \cdot \frac{1}{Re^{\frac{1}{2}(0,0767-4,822 \cdot 10^{-7} Re)}}. \quad (28)$$

Предельное значение числа Рейнольдса, при котором уравнение (28) переходит в уравнение Блазиуса, находим из равенства

$$Re^{\frac{1}{2}(0,0767-4,822 \cdot 10^{-7} \cdot Re)} = 1; \quad Re_{np} = 159062. \quad (29)$$

Подставляя Re_{np} в (28) находим уравнение Блазиуса [4]

$$\lambda_B = \frac{0,316}{Re^{0,25}}. \quad (30)$$

За рамками предельной величины Re_{np} связь между значениями из системы (22) и числом Рейнольдса нарушается. Значения (22) приобретают смысл статистических данных величины α . Среднее квадратичное значение α , вытекающее из данных (22) и равное минус 0,472 близко по значению $\alpha_f = -0,5$. Принимая α_f за истинное значение величины α уравнение (25) приведем к виду

$$\lg 100\lambda = -0,5 \lg Re + 1,954 \quad (31)$$

или

$$\lambda = 3^2 \lambda_B^2 = \frac{0,8995}{Re^{0,5}}. \quad (32)$$

Из (32) вытекает уравнение Блазиуса (30).

Результаты расчета коэффициента сопротивления по длине λ по уравнению (30) в сопоставлении с результатами расчета таковых по уравнению [8]:

$$\lambda = \frac{1}{z} \cdot a' = \frac{\left\{ \frac{f_1 + \text{Re} \cdot f_2}{[2 \cdot (\lg \text{Re} - 1)]^2} \right\}^{\frac{1}{z}}}{\text{Re}^{\frac{1}{z}}}, \quad (32')$$

представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты расчета коэффициента сопротивления среды λ
в гладкой зоне трения по уравнениям (30) и (32')**

| Re | λ (30) | λ (32') |
|-------|-------------------|--------------------|
| 6000 | 0,035904 | 0,03586 |
| 15000 | 0,028854 | 0,028947 |
| 18000 | 0,027281 | 0,027114 |
| 19500 | 0,02674 | 0,026358 |
| 20000 | 0,026572 | 0,026125 |

Запишем уравнение (31) в обобщенном виде

$$\lg 100\lambda = -0,5 \lg \text{Re} + b, \quad (33)$$

из которого следует

$$\lambda = \frac{10^{(b-2)}}{\text{Re}^{0,5}}, \quad (b = 2; \text{Re} \rightarrow \infty; \lambda \rightarrow 0). \quad (34)$$

Необходимо отметить, что уравнение Блазиуса (30) хорошо согласуется с экспериментальными данными в гладкой зоне трения в пределах изменения числа Рейнольдса $2320 < \text{Re} \leq 100000$.

Приведем уравнение гидравлического сопротивления по длине [1] к виду

$$\lambda = a \cdot \left\{ \left[\left(\lg \frac{d}{k_{\text{э}}} \right)^z - b \right]^2 - b^2 + c \right\}, \quad (35)$$

$$\text{где } a = \frac{k_1}{\text{Re}} + k_2; b = \frac{f_1}{\text{Re}} + f_2 = \frac{f}{2a}; c = \frac{s_1}{\text{Re}} + s_2 = \frac{s}{a}; \quad (36)$$

$f_1; f_2; k_1; k_2; s_1; s_2$ – параметры, с помощью которых описывают различные режимы движения жидкости. В частности, в области ламинарного трения эти параметры связаны уравнением

$$\lambda = \frac{s_1 + f_1 + k_1}{\text{Re}} + s_2 + f_2 + k_2. \quad (37)$$

Решая (35) относительно натурального логарифма, имеем

$$\ln \frac{d}{k_2} = 2,3025 \cdot \left[\left(\frac{\lambda}{a} - c + b^2 \right)^{\frac{1}{2}} + b \right]^{\frac{1}{Z}}. \quad (38)$$

Путем преобразований левую часть уравнения (37) можно представить

$$\ln \frac{d}{k_2} = -\ln \frac{k_2}{d} = -\ln \left[\left(\frac{k_2}{d} - 1 \right) + 1 \right] = -\ln(1-x) \approx x = 1 - \frac{k_2}{d}, \quad (39)$$

где использовали принцип разложения логарифма в ряд.

Подставляя (39) в (38) находим

$$\left\{ 1 - 2,3025 \cdot \left[\left(\frac{\lambda}{a} - c + b^2 \right)^{\frac{1}{2}} + b \right]^{\frac{1}{Z}} \right\}^{\frac{1}{Z}} = \left(\frac{k_2}{d} \right)^{\frac{1}{Z}}. \quad (40)$$

Из равенств (36) и уравнения (37) вытекает

$$\left(b^2 - c + \frac{\lambda}{a} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{a + \frac{f}{2} + s - s + \frac{f^2}{4a}}{a} \right)^{\frac{1}{2}} = (1 + b + b^2)^{\frac{1}{2}} = [(b+1)^2 - b]^{\frac{1}{2}}. \quad (41)$$

Введем в рассмотрение равенство

$$\pm [(b+1)^2 - b]^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{1}{2,3025} \right)^Z [1 - b^8 \cdot (2a)^8]^Z - b. \quad (42)$$

Решая совместно (40) и (42) получим

$$\left\{ 1 - 2,3025 \cdot \left[\left(\frac{1}{2,3025} \right)^Z (1 - b^8 (2a)^8)^Z - b + b \right]^{\frac{1}{Z}} \right\}^{\frac{1}{Z}} = \delta \left(\frac{k_2}{d} \right)^{\frac{1}{Z}} \quad (43)$$

$$\text{или } \left\{ 1 - 1 + \frac{f^8}{(2a)^8} \cdot (2a)^8 \right\}^{\frac{1}{Z}} = f^2 = \delta \cdot \left(\frac{k_2}{d} \right)^{0,25}, \quad (44)$$

где приняли $Z = 4$. Можно показать, что для квадратичной зоны трения справедливо равенство $f^2 = a = \lambda_k = \lambda$. (45)

Подставляя (45) в (44) и, принимая $\delta = 0,11$, приходим к уравнению Б. Л. Шифринсона для квадратичной зоны трения

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{k_{\vartheta}}{d} \right)^{0,25} \quad (46)$$

В основе представления уравнения А. Д. Альтшуля [7] лежит зависимость (44), которую можно привести к виду

$$\lambda = \delta_1 \left(\frac{k_{\vartheta}}{d} \right)^{\frac{1}{z}} = \frac{2^{\frac{1}{z}}}{2^{\frac{1}{z}}} \cdot \delta_1 \left(\frac{k_{\vartheta}}{d} \right)^{\frac{1}{z}} = \frac{\delta_1}{2^{\frac{1}{z}}} \left(2 \cdot \frac{k_{\vartheta}}{d} \right)^{\frac{1}{z}} \quad (47)$$

В общем случае границу между зонами гидравлического трения можно представить равенством

$$\text{Re} \frac{k_{\vartheta}}{d} = \text{const} \quad \text{или} \quad \frac{k_{\vartheta}}{d} = \frac{\text{const}}{\text{Re}} \quad (48)$$

Решая совместно (47) и (48) находим

$$\lambda = \frac{\delta_1}{2^{\frac{1}{z}}} \cdot \left(2 \cdot \frac{k_{\vartheta}}{d} \right)^{\frac{1}{z}} = \delta \cdot \left(\frac{k_{\vartheta}}{d} + \frac{\text{const}}{\text{Re}} \right)^{\frac{1}{z}}, \quad (49)$$

где приняли $\delta = \frac{\delta_1}{2^{\frac{1}{z}}}; 2 \cdot \frac{k_{\vartheta}}{d} = \left(\frac{k_{\vartheta}}{d} + \frac{k_{\vartheta}}{d} \right) = \left(\frac{k_{\vartheta}}{d} + \frac{\text{const}}{\text{Re}} \right)$.

Принимая в (49) $z = 4; \delta = 0,11; \text{const} = 68$, приходим к уравнению А. Д. Альтшуля [7]

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{k_{\vartheta}}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25} \quad (50)$$

для переходной зоны трения.

Выводы

С помощью уравнения гидравлического сопротивления по длине (уравнение связи коэффициента сопротивления по длине λ , эквивалентной шероховатости $\frac{k_{\vartheta}}{d}$ и числа Рейнольдса Re), проанализирована возможность вывода уравнения, связанных с различными зонами трения Блазиуса, Альтшуля и Шифринсона.

Список литературы

1. Федоров С. В. Уравнение состояния фаз переменного состава. Материалы XIII Международной научно-методической конференции. «Высокие интеллектуальные технологии и инновации в образовательно-научной деятельности» 16-17 февраля 2006 г. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та., с. 375-389.
2. Федоров С. В. Вывод уравнения связи коэффициента Дарси-Вейсбаха, относительной шероховатости и числа Рейнольдца. Материалы Международной научно-методической конференции 9-10 февраля. Том 2. «Высокие интеллектуальные технологии и инновации в национальных исследовательских университетах». СПб.: Изд-во Политехн. ун-та., 2012 г., с. 192-213.
3. Федоров С.В. Приложение аналитических методов расчета к построению монограмм связи коэффициента сопротивления по длине числа Рейнольдца и относительной шероховатости. Материалы Международной научно-методической конференции 9-10 февраля. Том 2. «Высокие интеллектуальные технологии и инновации в национальных исследовательских университетах». СПб.: Изд-во Политехн. ун-та., 2012 г., с. 213 – 235.
4. И. И. Агроскин, Г. Г. Дмитриев, Ф. И. Пикалов. Гидравлика. М. Госэлектротиздат, 1950.
5. П. Г. Киселев. Справочник по гидравлическим расчетам. М. Энергия, 1972.
6. А. И. Богомолов, К. А. Михайлов. Гидравлика. М. Стройиздат., 1972.
7. А. Д. Гиргидов. Механика жидкости и газа, (гидравлика). Санкт-Петербург. Издательство СПб ГПУ. 2004г. С. 544.
8. Федоров С. В. Коэффициент Дарси-Вейсбаха и принципиальные основы расчета в различных зонах сопротивления среды. Материалы Международной научно-методической конференции 9-10 февраля. Том 2. «Высокие интеллектуальные технологии и инновации в национальных исследовательских университетах». СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2012 г., с. 173-191.

Снижение шума, возникающего при торможении отцепов на сортировочных станциях

Федяев В. Л., Абзалов В. Р., Степин А. В., Семенов А. Е.

*Челябинский институт путей сообщения —
филиал УрГУПС*

Одна из основных проблем, стоящих перед сортировочными станциями, — вызываемый шум от трения колесной пары с тормозными шинами, значительно превышающий санитарные нормы. Сортировочные станции, как правило, занимают значительные по площади территории. Все работы производятся на открытых площадках, шум беспрепятственно распространяется на значительные расстояния, оказывая существенное шумовое воздействие в радиусе до нескольких километров, и негативно влияет на обслуживающий персонал и жителей, прилегающих к железной дороге массивов. При воздействии шума происходит изменение физиологических функций организма. Величина этих изменений зависит от интенсивности шума, частотного спектра и продолжительности действия. Современные исследования показали, что шум оказывает вредное действие практически на все жизненные функции организма: центральную нервную и условно-рефлекторную системы, двигательный аппарат, кору головного мозга, желудочно-кишечный тракт, органы зрения и вестибулярный аппарат. Помимо вредного действия, шум маскирует информационные звуковые сигналы, что повышает опасность производственного процесса [1]. Это и определяет необходимость разработки оптимального варианта автоматизированной системы снижения шума, применение которой позволит обеспечить соответствие шума санитарно-эпидемиологическим нормативам (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов») в среднесрочной перспективе с наименьшей долей затрат.

Анализ шума, возникающего при торможении отцепов, показал, что вагонные замедлители не обеспечивают выполнение соответствия шума допустимым нормам. Поэтому в качестве исходных устройств, для создания автоматизированной системы управления шумовыми помехами будем рассматривать изменение конструкции тормозных устройств [2].

$$\bar{Y}(t) = \bar{\psi}(\bar{Y}, \bar{U}, t) + \bar{n}_y(t), \quad \bar{Y}(t_0) = \bar{Y}_0; \quad (1)$$

$$\bar{Z}(t) = \bar{S}(\bar{Y}, t) + \bar{n}_z(t), \quad (2)$$

где $\bar{Y}(\cdot)$, $\bar{U}(\cdot)$, $\bar{Z} - (n)$ - и (r) -мерные векторы переменных состояния, включая параметры тормозов, управления и наблюдения ($r \leq n$); $\bar{\psi}(\cdot)$, $\bar{S}(\cdot)$ — нелинейные дифференцируемые вектор-функции; \bar{n}_y , \bar{n}_z — векторные гауссовские процессы типа белого шума с известными матрицами интенсивностей N_z, N_y, \bar{Y}_0 — априорные данные.

Используя уравнение ошибки $\bar{E} = \bar{X} - \bar{Y}_b$, системы (1) и (2) преобразуем к виду

$$\bar{Y}_c = \bar{\psi}_c(\bar{Y}_c, \bar{X} - \bar{E}, \bar{U}, t) + \bar{n}_{yc}(t), \quad \bar{Y}_c(t) = \bar{Y}_0; \quad (3)$$

$$\bar{E} = \bar{X} - \bar{\psi}_c(\bar{Y}_c, \bar{X} - \bar{E}, \bar{U}, t) + \bar{n}_{yb}(t), \quad \bar{E}_0 = \bar{X}_0 - \bar{Y}_0; \quad (4)$$

$$\bar{Z} = \bar{S}(\bar{X} - \bar{E}, \bar{Y}_c, t) + \bar{n}(t), \quad (5)$$

где \bar{X} — вектор заданных значений (выходных переменных состояния \bar{Y}_b размерности $k (k \leq n)$, входящих в вектор состояния \bar{Y}); \bar{Y}_c — вектор оставшихся переменных состояния; $\bar{\psi}_c(\cdot)$, $\bar{\psi}_b(\cdot)$ — соответствующие составляющие вектор-функции.

Новые переменные состояния \bar{E} , \bar{Y}_c можно определить, используя уравнение наблюдения (4) и уравнение оценки, предложенное в теории нелинейной фильтрации [2]:

$$\bar{g}^*(t) = \bar{f}(\bar{g}^*, \bar{U}, t) + V^*(t) D\{\bar{S}(\bar{g}^*, t)\} N_z^{-1} [Z(t) - \bar{S}(\bar{g}^*, t)], \quad \bar{g}^*(t_0) = \bar{g}_0;$$

$$V^*(t) = D'\{\bar{f}(\bar{g}^*, \bar{U}, t)\} V^*(t) + V^*(t) D\{\bar{f}(\bar{g}^*, \bar{U}, t)\} + N + V^*(t) D\{D\{\bar{S}(\bar{g}^*, t)\} N_z^{-1} [Z(t) - \bar{S}(\bar{g}^*, t)]\} V^*(t);$$

$$V^*(t_0) = V_0, \quad (6)$$

где $g = \begin{bmatrix} \bar{Y}_c \\ \bar{E} \end{bmatrix}$; $f(\cdot) = \begin{bmatrix} \bar{\psi}_c(\bar{Y}_c, \bar{X} - \bar{E}, \bar{U}, t) \\ \bar{X} - \bar{\psi}(\bar{Y}_c, \bar{X} - \bar{E}, \bar{U}, t) \end{bmatrix}$;

$(\cdot)^*$ — оценочные значения соответствующих переменных; $V(\cdot)$ — симметричная ковариационная матрица ошибок; \bar{g}_0 , V_0 — априорные средние;

$D\{\cdot\}$ — матрица Якоби; N — матрица спектральных плотностей, составленная из матриц N_y, N_z .

Уравнение идеального управления будем искать из условия $\dot{\bar{E}} = \bar{E} = 0$. В этом случае уравнение (6) преобразуется к виду

$$\bar{g}_c^*(t) = \bar{f}(\bar{g}_c, \bar{U}, t) + V_c^*(t) D\{\bar{S}(\bar{g}_c, t)\} N_z \{\bar{Z}(t) - \bar{S}(\bar{g}_c, t)\}, \quad (7)$$

где $\bar{g}_c = \begin{bmatrix} \bar{Y}_c^* \\ 0 \end{bmatrix}$; $V_c^*(t_0) = V^*(t)|_{\bar{E}^* = \bar{E} = 0}$.

Это уравнение служит основой для построения системы снижения шума, модернизации тормозных устройств на сортировочных станциях.

Список литературы

1. Зубрев Н. И. Охрана окружающей среды и экологическая безопасность на железнодорожном транспорте / Москва: УМК МПС России, 1999.
2. Федяев В. Л., Решетников А. А. Автоматизированный комплекс для исследования процессов изнашивания и определения показателей безотказности тракторных дизелей / Трение и износ в опорных узлах машин: Сб. науч. тр. Свердловск: УрО АН СССР, 1990.

Реклама как генератор социальных стереотипов

Харитонов М. В.

*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения*

Существующие сегодня подходы к пониманию социальных последствий потребления рекламной продукции, отличаются значительным теоретическим разнообразием. Не погружаясь в перечисление всех этих подходов, обратим отдельное внимание на два ключевых тренда в оценке рекламы как создателя социальных стереотипов. Первый из них строится на убеждении в том, что именно современные СМИ создают и закрепляют все существующие в социуме стереотипы. Сторонники второго подхода убеждены, что их оппоненты демонизируют СМИ вообще, и рекламные сообщения, в особенности. С их точки зрения, СМИ лишь улавливают существующие в обществе социальные тенденции, и умело их эксплуатируют. В рамках этого спора появилось представление о СМИ, как о «машине,

порождающей социальные мифы». Всего описано семь механизмов, позволяющих средствам массовой коммуникации выполнять подобную функцию [1].

1. Механизм селекции. В информационном рекламном пространстве присутствуют лишь те производители, чей рекламный бюджет позволяет это присутствие обеспечить. Значительная часть этих производителей являются транснациональными компаниями, использующими в своих рекламных сообщениях социальные стереотипы, характерные для представителей Северной Америки и Западной Европы. Например, реклама «Все цвета Бенеттон», где показано расовое многообразие населения Земли. Однако многие из этих расовых моделей в России или не представлены, или имеют относительно невысокий социальный статус, с точки зрения обыденного сознания [2].

2. Механизм нормы. Правильнее было бы сказать — отклонения от нормы. Рекламные сообщения искажают существующие в обществе пропорции между молодыми и пожилыми людьми, между мужчинами и женщинами, между представителями отдельных профессий, этносов, носителями религиозных убеждений и атеистами, между людьми, придерживающимися нормальной сексуальной ориентации и сексуальными девиантами. Рекламный мир всегда искажен и с точки зрения повседневности применения актов насилия, половой близости, разного рода преступлений. СМИ интересуется все, отличающееся от нормы, иначе они не могут существовать в этом мире.

3. Механизм взаимовлияния. Сегодня не только мир реальный влияет на мир информационный, но и наоборот. Например, стоило только Президенту России В. Путину в своем выступлении в Петербурге 24 апреля 2014 года заявить о том, что популярный, распространяющий множество рекламы, Интернет-ресурс «Яндекс» находится под зарубежным контролем, как акции этой поисковой системы начали стремительно дешеветь из-за оттока инвесторов.

4. Механизм взаимозамены. Отечественная реклама активно продвигает стереотип потребления, формируя иллюзию существования безопасного мира, переполненного доступными продуктами и услугами. Практически отсутствует реклама, продвигающая стереотип созидания, создания

нового продукта, творчества. Приятным исключением в мире рекламы являются лишь телевизионные ролики «Газпрома» и дочерних с ним предприятий.

5. Механизм приоритета реагирования. Современная реклама высоко ценит тех производителей, которые успевают вовремя отреагировать на сообщение конкурента, предложить свою интерпретацию того или иного рекламного продукта, предложенного конкурентом. Так, вошли в историю рекламные войны между автомобильными гигантами «Мерседес Бенц» и «Ягуар»; между «Мерседес» и «Ауди». В отечественном рекламном пространстве талантливым интерпретатором чужой рекламы был, к сожалению уже погибший Г. Бачинский.

6. Механизм мифологической интерпретации. Реклама активно использует мифы в своих сообщениях, при этом число используемых мифов только растет. Наряду с традиционными, этноспецифичными мифами, при создании стереотипов, производитель рекламы все настойчивее и активнее использует мифы и мифических персонажей, порожденных современной цивилизацией: хоббитов, Гарри Поттера, героев фильма «Мимино» и т. д. Потребитель привык к мифологической интерпретации событий настолько, что отбрасывает сообщение, не интересуется им, если оно не ложится в заранее существующую у него мифологическую схему.

7. Механизм несимметричности. Рекламный мир построен таким образом, что инициатива в говорении, в диалоге всегда остается за средствами массовой коммуникации. Мы можем только реагировать на их инициативу в диалоге, но не более того. Такая несимметричность неумолимо приводит потребителя к поражению, поскольку психические процессы у человека слушающего, протекают **в три раза медленнее**, чем у человека говорящего.

Предложенные тезисы базируются на ключевых положениях теории культивирования. В ее рамках предполагается, что зрители «узнают» «факты» о мире, наблюдая за ним на экране телевизора. Так происходит унификация человеческих представлений о социальной реальности.

Список литературы

1. Почепцов Г. Г. Теория и практика коммуникации, М., «Центр», 1998.
2. Харрис Р. Психология массовых коммуникаций, СПб, «Нева», 2001.

**Научные исследования при обучении магистрантов
в рамках направления подготовки
13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
в Псковском государственном университете**

Хитров А. И., Хитров А. А.

Псковский государственный университет

В настоящее время ставятся задачи создания установок, которые обеспечивают одновременное получение как тепловой, так и электрической энергии (когенерационных установок) при сжигании органического топлива. Для выработки тепловой энергии малой мощности обычно применяются различные обогревательные устройства, в основном электрические. В то же время для выработки электрической энергии малой мощности при автономном электроснабжении применяют обычно бензиновые или дизельные электростанции.

Когенерационная установка малой мощности (КГУМ) представляет собой тепловую электростанцию, которая, реализуя процесс совместного производства тепловой и электрической энергии, позволит повысить эффективность котельных в ЖКХ, а при создании автономных систем энергоснабжения обеспечить энергией автономных потребителей и потребителей особых категорий.

Создание КГУМ, содержащих первичный тепловой движитель, электрогенератор, систему теплообменников, принудительного охлаждения и отвода теплоносителя, а также систему управления технологическим процессом («современная котельная») — это тенденция развития современных централизованных систем малой когенерации.

В 2016 году исполняется 200 лет с момента создания двигателя Стирлинга с внешним подводом теплоты для преобразования тепловой энергии в механическую. Несмотря на достаточно длительный период времени, прошедший с момента появления идеи Р. Стирлинга до ее практической реализации, до сих пор отсутствуют двигатели с внешним подводом теплоты (ДВПТ) мощностью до 15 кВт (электрическая мощность КГУМ) для локального использования в автономном режиме при отсутствии централизованного электроснабжения.

Для создания и исследования режимов работы таких систем малой когенерации необходимо осуществление комплекса работ, которые определяются типом первичного двигателя. Такие научные исследования осуществляются магистрантами кафедры электропривода и систем автоматизации (ЭСА) электромеханического факультета Псковского государственного университета (ПсковГУ) при подготовке по профилю «Электропривод, энергосбережение, автономная энергетика» направления подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» [1, 4].

Исследования проводятся на специализированном стенде, разработанном аспирантами и магистрантами кафедры [2] (рис. 1).



Рис. 1. Специализированный стенд для научных исследований электрической части КГУМ

Основные элементы КГУМ представлены на рис. 2.

В составе электрической части КГУМ имеется управляемый выпрямитель (AFE/IN1), конвертер DC/DC (корректор коэффициента мощности — ККМ), инвертор (IN2).

AFE/IN1 осуществляет преобразование электрической энергии переменного тока (первичный источник — синхронная машина с постоянными магнитами (СМПМ)) в регулируемое низкое постоянное напряжение на входе ККМ (при этом возможно применение общепромышленных СМПМ (ДВУ2М, 5ДВМ, 6ДВМ) или их зарубежных аналогов (FT5, FT6 и др.).

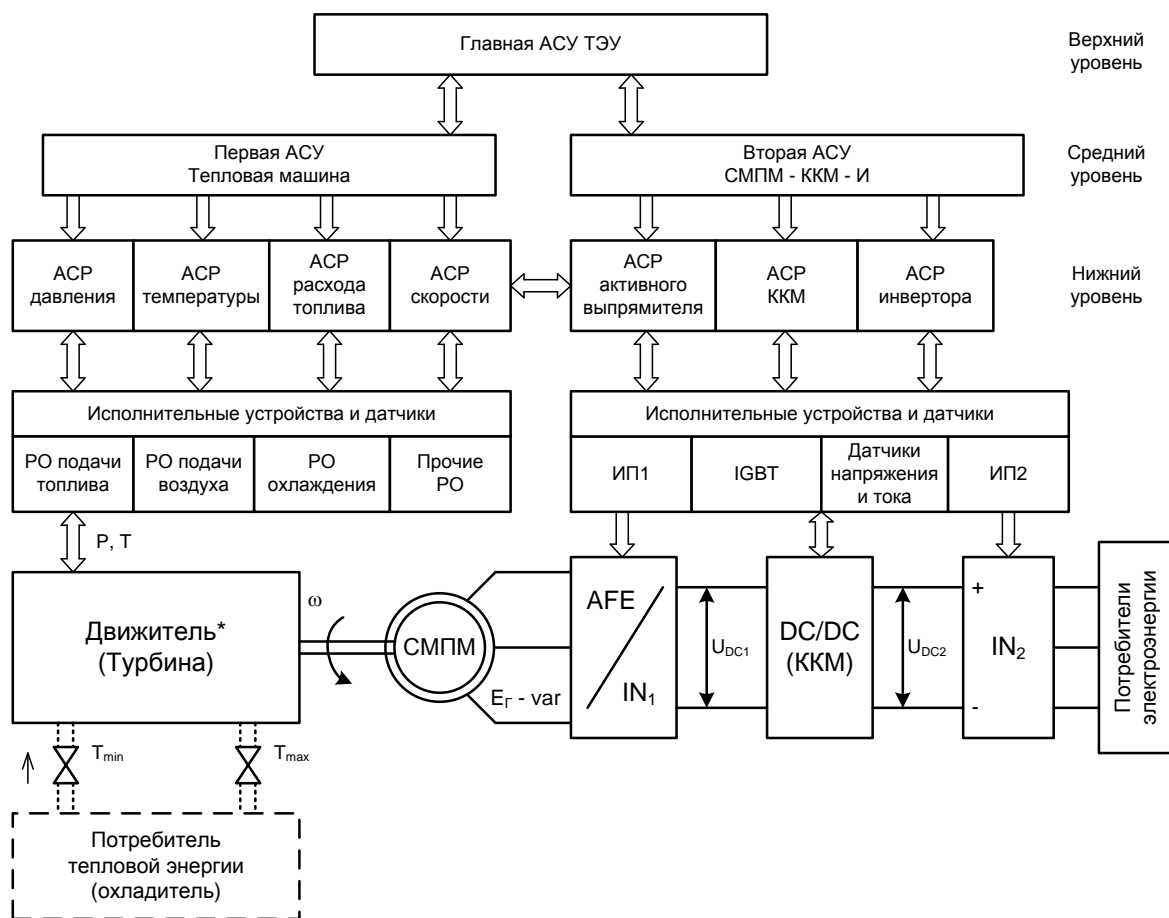


Рис. 2. Функциональная схема КГУМ

DC/DC (ККМ) осуществляет регулируемое преобразование постоянного напряжения в требуемое повышенное постоянное напряжение для питания автономного трехфазного инвертора с использованием ключей, работающих на повышенной частоте и применением обратных связей по напряжению или току в звене постоянного тока.

IN2 выполняет функции трехфазного инвертора, работающего в разомкнутом цикле управления, с формируемой на выходе частотой напряжения 50 Гц (3 x 380 В).

В качестве генератора в установке можно применять различные решения, но для автономных систем наиболее предпочтительным является использование СМПП, несмотря на их сравнительно высокую стоимость.

В докладе представлены результаты научных исследований с использованием имитационных моделей и натурального эксперимента на стенде (рис. 1) при работе вентильного двигателя с постоянными магнитами

(ВДПМ) в генераторном режиме, которые подтвердили возможность использования общепромышленных СМПМ в качестве стартер-генератора для автономной КГУМ [3].

В настоящее время магистрантами проводится комплекс научных исследований, включающий в свой состав: имитационное моделирование режимов работы КГУМ с использованием ККМ, разработка макетов отдельных узлов, алгоритмов управления отдельными блоками КГУМ.

Теоретические основы создания КГУМ изучаются в специальных дисциплинах магистерской подготовки: «Мобильные энергоустановки и электроагрегаты» и «Синхронные машины с постоянными магнитами в электротехнике и электроэнергетике».

Основные задачи научных исследований магистрантов и аспирантов:

1. Проведение сравнительного анализа систем генерации электроэнергии и запуска различных типов КГУМ с переменной частотой вращения вала двигателя.

2. Разработка имитационных моделей генераторного и стартерного режимов работы электрической части КГУМ и исследование динамических процессов в технической системе на стенде-прототипе (мощность 1,5 кВт) (рис. 1).

3. Исследование режимов работы электрической части системы с использованием ККМ, включая исследование режима пуска с активным выпрямителем (AFE).

4. Комплектование, изготовление действующего макета КГУМ на мощность 10-15 кВт.

Список литературы

1. Хитров А. И., Хитров А. А. Автономная система энергоснабжения на основе двигателей с внешним подводом теплоты и возбуждением от постоянных магнитов. Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах: материалы XV Всероссийской конференции. Санкт-Петербург. Т. 2. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. — 133 с., с. 73-74.

2. Хитров А. И., Федотов И. М., Хитров А. А. Экспериментальный стенд для исследования режимов работы асинхронных и вентильных

двигателей современных электроприводов. Известия ТулГУ, Технические науки, Выпуск 3. Тула: Издательство ТулГУ, 2010, часть 4, с. 247-253.

3. Козярук А. Е., Хитров А. А. Автономная система энергоснабжения на базе роторно-лопастного двигателя с внешним подводом теплоты и вентиляционного двигателя с постоянными магнитами. Электротехника, № 12, 2011. с. 17-22.

4. Хитров А. И., Хитров А. А.. Энергетическая установка малой мощности с низкоскоростным движителем. Материалы международной научно-практической конференции 21 век: фундаментальная наука и технологии. 24-25 декабря 2012 г. Москва, с. 127-133.

Расчет однофазного замыкания на землю в системе с изолированной нейтралью

Шакиров М. А., Медведев К. А.

Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет

В случае короткого замыкания фазы на землю в системе с изолированной нейтралью в данной фазе вследствие наличия емкостной проводимости фаз системы относительно земли и друг друга появляется *ток короткого замыкания* (рис. 1). Этот случай работы ЛЭП представляет собой несимметричный режим. Для его анализа воспользуемся методом системных моделей [1, 2].

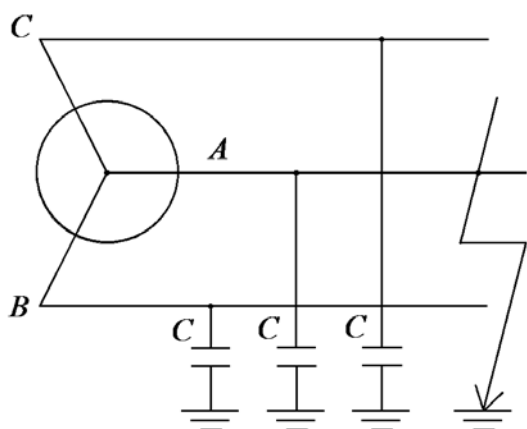


Рис. 1. Замыкания фазы на землю в системе с изолированной нейтралью

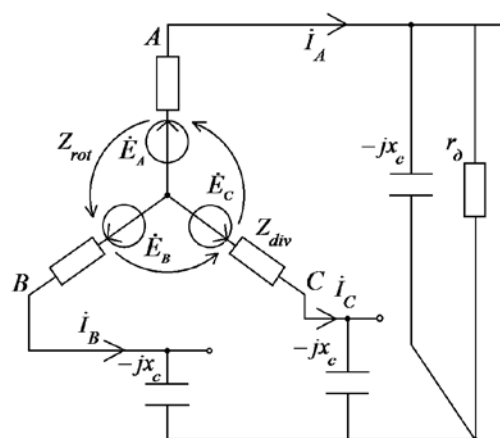


Рис. 2. Системная схема замещения цепи при замыкании фазы на землю

На рис. 1 показана принципиальная схема электрической сети, в которой произошло замыкание фазы A на землю. Источник представляет собой симметричную систему э. д. с. $(\dot{E}_A, a^2\dot{E}_A, a\dot{E}_A)$. Принимается, что распределенные вдоль линий фаз емкости сосредоточены в одном месте. Учитываются возникновения дуги в месте короткого замыкания в виде сопротивления r_∂ . Поскольку емкостные сопротивления элементов электрической сети x_c значительно превышают индуктивные и активные сопротивления, влиянием последних пренебрегаем. Схема замещения данной электрической цепи, в которой синхронный генератор представлен системой z -моделью, представлена на рис. 2. Составив необходимые уравнения по второму закону Кирхгофа, получаем следующую систему уравнений:

$$(Z_\partial^c + Z_{div})\dot{I}_A + Z_{rot}\dot{I}_B - (Z_{div} - jx_c)\dot{I}_B - Z_{rot}\dot{I}_C = \dot{E}_A - \dot{E}_B \quad (1)$$

$$(Z_\partial^c + Z_{div})\dot{I}_A + Z_{rot}\dot{I}_B - (Z_{div} - jx_c)\dot{I}_C - Z_{rot}\dot{I}_A = \dot{E}_A - \dot{E}_C$$

где $Z_\partial^c = \frac{r_\partial(-jx_c)}{r_\partial - jx_c}$ — эквивалентное сопротивление в месте короткого замыкания. Учитывая, что сумма токов фаз равна нулю, введем замену $\dot{I}_C = -\dot{I}_A - \dot{I}_B$, после чего система уравнений (1) примет вид:

$$(Z_\partial^c + Z_{div} + Z_{rot})\dot{I}_A + (2Z_{rot} - Z_{div} + jx_c)\dot{I}_B = \dot{E}_A - \dot{E}_B \quad (2)$$

$$(Z_\partial^c + 2Z_{div} - jx_c - Z_{rot})\dot{I}_A + (Z_{div} - jx_c + Z_{rot})\dot{I}_B = \dot{E}_A - \dot{E}_C$$

Принимая во внимание [2], что

$$Z_{div} = \frac{(1-a^2)Z_1 + (1-a)Z_2}{3}, \quad Z_{rot} = \frac{(a-a^2)(Z_1 - Z_2)}{3},$$

вместо (2) получаем:

$$-(a^2Z_1 + aZ_2 - Z_\partial^c)\dot{I}_A + (aZ_1 + a^2Z_2 + jx_c)\dot{I}_B = \dot{E}_A - \dot{E}_B \quad (3)$$

$$(Z_1 + Z_2 + Z_\partial^c - jx_c)\dot{I}_A - (a^2Z_1 + aZ_2 + jx_c)\dot{I}_B = \dot{E}_A - \dot{E}_C$$

Определитель Δ этой системы равен:

$$\Delta = \begin{vmatrix} -(a^2Z_1 + aZ_2 - Z_\partial^c) & aZ_1 + a^2Z_2 + jx_c \\ Z_1 + Z_2 + Z_\partial^c - jx_c & -(a^2Z_1 + aZ_2 + jx_c) \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Путем арифметических преобразований получаем:

$$\Delta = 3Z_1Z_2 - j2x_c(Z_1 + Z_2) + Z_\delta^c(Z_1 + Z_2 - j2x_c) - x_c^2 \quad (5)$$

Представив правые части (3) в виде

$$\dot{E}_A - \dot{E}_B = (1 - a^2)\dot{E}_A; \quad \dot{E}_A - \dot{E}_C = (1 - a)\dot{E}_A,$$

для тока A -фазы можем записать:

$$\dot{I}_A = \frac{\begin{vmatrix} (1 - a^2)\dot{E}_A & aZ_1 + a^2Z_2 + jx_c \\ (1 - a)\dot{E}_A & -(a^2Z_1 + aZ_2 + jx_c) \end{vmatrix}}{\Delta} = 3 \frac{Z_2 - jx_c}{\Delta} \dot{E}_A \quad (6)$$

Аналогично находим ток B -фазы:

$$\dot{I}_B = \frac{\begin{vmatrix} -(a^2Z_1 + aZ_2 - Z_\delta^c) & (1 - a^2)\dot{E}_A \\ Z_1 + Z_2 + Z_\delta^c - jx_c & (1 - a)\dot{E}_A \end{vmatrix}}{\Delta}; \quad (7)$$

$$\dot{I}_B = \frac{3a^2Z_2 + (a^2 - a)Z_\delta^c + j(1 - a^2)x_c}{\Delta} \dot{E}_A.$$

Учитывая, что ток C -фазы $\dot{I}_C = -\dot{I}_A - \dot{I}_B$, получаем следующее выражение:

$$\dot{I}_C = -\frac{(-3a)Z_2 + (a^2 - a)Z_\delta^c - j(1 - a^2)x_c}{\Delta} \dot{E}_A. \quad (8)$$

Выводы

1. Показано, что благодаря своей простоте метод решения сложной проблемы, по существу, оказывается доступным студентам, знакомых с расчетом схем, содержащих зависимые источники напряжения.

2. По-видимому, впервые представлено аналитическое решение задачи однофазного замыкания на землю в системе с изолированной нейтралью.

Список литературы

1. Шакиров М. А. Теоретические основы электротехники. Новые идеи и принципы. Схемоанализ и диакоптика. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2001.
2. Шакиров М. А. Практикум по ТОЭ, часть 1. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2006.

Расчет однофазного замыкания на землю в системе с изолированной нейтралью

Шакиров М. А., Медведев К. А.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

В случае короткого замыкания фазы на землю в системе с изолированной нейтралью в данной фазе вследствие наличия емкостной проводимости фаз системы относительно земли и друг друга появляется ток короткого замыкания (рис. 1). Этот случай работы ЛЭП представляет собой несимметричный режим. Для его анализа воспользуемся методом системных моделей [1, 2].

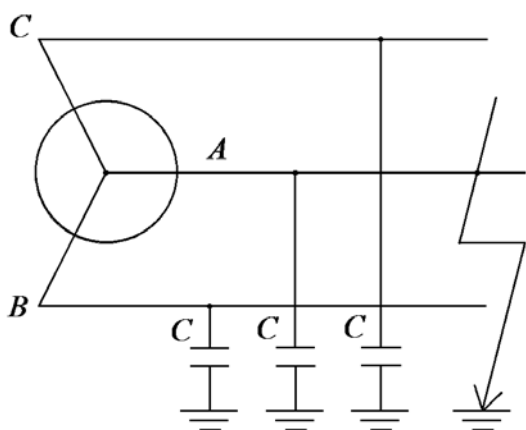


Рис. 1. Замыкания фазы на землю в системе с изолированной нейтралью

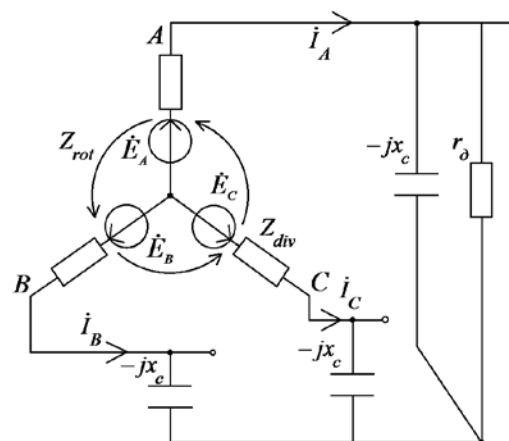


Рис. 2. Системная схема замещения цепи при замыкании фазы на землю

На рис. 1 показана принципиальная схема электрической сети, в которой произошло замыкание фазы A на землю. Источник представляет собой симметричную систему э. д. с. $(\dot{E}_A, a^2\dot{E}_A, a\dot{E}_A)$. Принимается, что распределенные вдоль линий фаз емкости сосредоточены в одном месте. Учитывается возникновение дуги в месте короткого замыкания в виде сопротивления r_0 . Поскольку емкостные сопротивления элементов электрической сети x_c значительно превышают индуктивные и активные сопротивления, влиянием последних пренебрегаем. Схема замещения данной электрической цепи, в которой синхронный генератор представлен

системной z-моделью, представлена на рис. 2. Составив необходимые уравнения по второму закону Кирхгофа, получаем следующую систему уравнений:

$$(Z_{\partial}^c + Z_{div})\dot{I}_A + Z_{rot}\dot{I}_B - (Z_{div} - jx_c)\dot{I}_B - Z_{rot}\dot{I}_C = \dot{E}_A - \dot{E}_B \quad (1)$$

$$(Z_{\partial}^c + Z_{div})\dot{I}_A + Z_{rot}\dot{I}_B - (Z_{div} - jx_c)\dot{I}_C - Z_{rot}\dot{I}_A = \dot{E}_A - \dot{E}_C$$

где $Z_{\partial}^c = \frac{r_{\partial}(-jx_c)}{r_{\partial} - jx_c}$ — эквивалентное сопротивление в месте короткого замыкания. Учитывая, что сумма токов фаз равна нулю, введем замену $\dot{I}_C = -\dot{I}_A - \dot{I}_B$, после чего система уравнений (1) примет вид:

$$(Z_{\partial}^c + Z_{div} + Z_{rot})\dot{I}_A + (2Z_{rot} - Z_{div} + jx_c)\dot{I}_B = \dot{E}_A - \dot{E}_B \quad (2)$$

$$(Z_{\partial}^c + 2Z_{div} - jx_c - Z_{rot})\dot{I}_A + (Z_{div} - jx_c + Z_{rot})\dot{I}_B = \dot{E}_A - \dot{E}_C$$

Принимая во внимание [2], что

$$Z_{div} = \frac{(1-a^2)Z_1 + (1-a)Z_2}{3}, \quad Z_{rot} = \frac{(a-a^2)(Z_1 - Z_2)}{3},$$

вместо (2) получаем:

$$-(a^2Z_1 + aZ_2 - Z_{\partial}^c)\dot{I}_A + (aZ_1 + a^2Z_2 + jx_c)\dot{I}_B = \dot{E}_A - \dot{E}_B \quad (3)$$

$$(Z_1 + Z_2 + Z_{\partial}^c - jx_c)\dot{I}_A - (a^2Z_1 + aZ_2 + jx_c)\dot{I}_B = \dot{E}_A - \dot{E}_C$$

Определитель Δ этой системы равен:

$$\Delta = \begin{vmatrix} -(a^2Z_1 + aZ_2 - Z_{\partial}^c) & aZ_1 + a^2Z_2 + jx_c \\ Z_1 + Z_2 + Z_{\partial}^c - jx_c & -(a^2Z_1 + aZ_2 + jx_c) \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Путем арифметических преобразований получаем:

$$\Delta = 3Z_1Z_2 - j2x_c(Z_1 + Z_2) + Z_{\partial}^c(Z_1 + Z_2 - j2x_c) - x_c^2 \quad (5)$$

Представив правые части (3) в виде:

$$\dot{E}_A - \dot{E}_B = (1 - a^2)\dot{E}_A; \quad \dot{E}_A - \dot{E}_C = (1 - a)\dot{E}_A,$$

для тока A -фазы можем записать:

$$\dot{I}_A = \frac{\begin{vmatrix} (1 - a^2)\dot{E}_A & aZ_1 + a^2Z_2 + jx_c \\ (1 - a)\dot{E}_A & -(a^2Z_1 + aZ_2 + jx_c) \end{vmatrix}}{\Delta} = 3 \frac{Z_2 - jx_c}{\Delta} \dot{E}_A \quad (6)$$

Аналогично находим ток B -фазы:

$$\dot{I}_B = \frac{\begin{vmatrix} -(a^2Z_1 + aZ_2 - Z_\Delta^c) & (1 - a^2)\dot{E}_A \\ Z_1 + Z_2 + Z_\Delta^c - jx_c & (1 - a)\dot{E}_A \end{vmatrix}}{\Delta}; \quad (7)$$

$$\dot{I}_B = \frac{3a^2Z_2 + (a^2 - a)Z_\Delta^c + j(1 - a^2)x_c}{\Delta} \dot{E}_A.$$

Учитывая, что ток C -фазы $\dot{I}_C = -\dot{I}_A - \dot{I}_B$, получаем следующее выражение:

$$\dot{I}_C = -\frac{(-3a)Z_2 + (a^2 - a)Z_\Delta^c - j(1 - a^2)x_c}{\Delta} \dot{E}_A. \quad (8)$$

Выводы:

1. Показано, что благодаря своей простоте метод решения сложной проблемы, по существу, оказывается доступным студентам, знакомых с расчетом схем, содержащих зависимые источники напряжения.

2. По-видимому, впервые представлено аналитическое решение задачи однофазного замыкания на землю в системе с изолированной нейтралью.

Список литературы

1. Шакиров М. А. Теоретические основы электротехники. Новые идеи и принципы. Схемоанализ и диакоптика. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2001.
2. Шакиров М. А. Практикум по ТОЭ, часть 1. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2006.

Формализация естественного языка — пути и перспективы

Шумков А. А.

*Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»*

Система языка включает в себя элементы, составные части которых со времен Аристотеля интуитивно выявлены, но не обобщены никакими формально-логическими структурами, которые могли бы четко описать производство и упорядочение этих элементов. Органичная совокупность таких структур должна являть собою формально-логическую модель системы (или систематизации) единиц языка, где любое лексическое и грамматическое явление получает толкование согласно одной и той же систематизирующей концепции. Такая формально-логическая модель охватывает все уровни (ярусы) языка и представляет лексические и грамматические единицы в соответствующих образах. Тем самым, мы не воспринимаем глагол или существительное как независимые единицы, а обнаруживаем их в образах разного уровня, например, словарном или языковом [1]. В таком рассмотрении важно поставить вопрос о размерности той или иной единицы, что придаст модели математической точности. Подчеркнем, что размерность применяется здесь для толкования исключительно лингвистических понятий и категорий, а аппарат формальной логики применяется лишь для корректного оперирования ими [2].

Фактически, речь идет о разработке формально-логической модели, учитывающей размерность моделируемых объектов, что не ново для моделирования в целом, но представляет неоспоримую научную новизну в отношении естественного языка. В системе естественного языка уровни традиционно различают (фонемный, морфемный, лексемный, тагмемный), но попыток определить размерность объектов, находящихся на этих уровнях, не предпринималось. Мы же предполагаем разработать формально-логическую модель систематизации лексико-грамматических единиц в своего рода стереометрическом масштабе, позволяющим сопоставить лингвистические объекты с точкою, отрезком, квадратом, кубом и т. д. Актуальность нашего исследования состоит, соответственно, в том, что мы

следуем информационной парадигме, доминирующей в современном обществе, и в том, что разрабатываемая модель включает в себя гораздо больше лингвистических явлений, чем все прежние модели языка. Более того, наша модель не ограничивается применением лишь логико-математического анализа; мы имеем склонность объяснять полученные результаты с физической точки зрения, отыскивая соответствия между лингвистическими и физическими законами. Даже если наши умозаключения будут иметь метафизический характер, мы способны защитить их строгостью формальной логики, что сделает их ценными для применения в компьютерной лингвистике при алгоритмизации процессов, происходящих в естественном языке.

Для охвата как можно большего числа лингвистических явлений мы включаем в рассмотрение, как предложения, так и тексты. При этом у нас есть основания предполагать, что физические законы управляют человеком наиболее ограничительно при образовании предложения; в тексте же задается своего рода тоника, подобная тонике музыкальной, с которой все остальные ступени также находятся в физическом (ладовом) соотношении, но способы упорядочения этих ступеней основываются в большей степени на законах психофизиологических. Основная ступень — тоника в музыкальном тексте или тема в языковом тексте — притягивает к себе остальные ступени, принуждая тексты закончиться на ее частоте, иначе пропадет ощущение состоятельности текста. Мы считаем, что предположение о корреляции тоника и темы является весьма перспективным для понимания специфики музыкальной и языковой композиции.

Задачи, решаемые в рамках исследования, сводятся к следующим:

- разработка формально-логической модели систематизации лексико-грамматических единиц естественного языка;
- определение размерности образов лексико-грамматической единицы, находящихся на различных языковых уровнях;
- сведение разноразмерных образов лексико-грамматических единиц в обобщенную стереометрическую матрицу;

- интерпретация стереометрического характера модели с применением математических и физических категорий;
- интерпретация физического характера модели с применением семиотических категорий; объяснение и подтверждение квантованности знака;
- выявление взаимодействия лексического и грамматического значений в рамках формальной семантики;
- определение «степени семиотичности» языка и музыки, включение речи в рассмотрение взаимоотношений языка и музыки;
- уточнение понятия «текст» в лингвистическом и семиотическом ключе.

В результате исследования будет составлен список мер по совершенствованию информационного обеспечения систем машинной обработки языка и речи. В частности, мы планируем:

- разработать критерии оценки эффективности информационного обеспечения систем машинной обработки языка и речи;
- представить прототипы семантических матриц-маркеров, облегчающих машинную обработку предложений и текстов при решении задач автоматического перевода и информационного поиска.

Планируемые результаты вполне соответствуют мировому уровню и могут быть использованы для разработки систем машинной обработки естественного языка. Мы также надеемся, что теоретическая ценность исследования обусловлена новым взглядом на устройство языка и речи.

Список литературы

1. Антоненко А. А., Шумков А. А. Формально-логическая модель главных членов предложения в германских и романских языках. — СПб.: изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009.
2. Степаненко И. С. Появление составных главных членов предложения в свете теории двухчастности // Актуальные проблемы современной лингвистики: Матер. Второй межвузовской науч.-практ. конф., СПб., 16-17 апреля 2013 г. — СПб.: изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013.

УКАЗАТЕЛЬ УЧАСТНИКОВ КОНФЕРЕНЦИИ

СЕКЦИЯ 3

Научные исследования в специальных дисциплинах.....4

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ РЕАКЦИИ РАСТВОРЕНИЯ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ С ОБРАЗОВАНИЕМ ОСАДКОВ ИХ ГИДРОКСИДОВ
АВРАМЕНКО А. Г., КУРУШКИН М. В., КОРНЕЕВ В. Р. 4

УНИКАЛЬНОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ НАНОЧАСТИЦ В МНОГОМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
БЕЗРУКОВА А. Г., ВЛАСОВА О. Л. 7

МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖЕСТКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ АДРОНОВ И ЛЕПТОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ С АТОМНЫМИ ЯДРАМИ
БЕРДНИКОВ Я. А., ГОЛОВИН А. В., ИВАНОВ А. Е., СУЕТИН Д. П. 10

ИЗМЕРЕНИЕ СВОЙСТВ ЛЕГКИХ АДРОНОВ, РОЖДАЮЩИХСЯ В $SU+AU$ СТОЛКНОВЕНИЯХ ПРИ ЭНЕРГИИ 200 ГЭВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ «ФЕНИКС»
БЕРДНИКОВ Я. А., КОТОВ Д. О., САФОНОВ А. С., ИВАНИЩЕВ Д. А., РЯБОВ В. Г., РЯБОВ Ю. Г. 13

РОЖДЕНИЕ ЛЕГКИХ АДРОНОВ В $U + U$ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ЭНЕРГИИ 192 ГЭВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ «ФЕНИКС» НА КОЛЛАЙДЕРЕ RHIC
БЕРДНИКОВ А. Я., КОТОВ Д. О., САФОНОВ А. С., ИВАНИЩЕВ Д. А., РЯБОВ В. Г., РЯБОВ Ю. Г. 15

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЯДЕРНОЙ СРЕДЫ НА ПРОЦЕССЫ РОЖДЕНИЯ ЛЕПТОННЫХ ПАР В АДРОН-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ПОМОЩИ ГЕНЕРАТОРА HARDPING
БЕРДНИКОВ А. Я., СУЕТИН Д. П. 18

ПОЛИКОДОВОСТЬ В СОВРЕМЕННЫХ МЕДИЦИНСКИХ НАУЧНЫХ ТЕКСТАХ
БОГДАНОВА Н. В., ШАЛТЫКО Л. Г., ПЯТНИЦКИЙ А. Н. 20

АДАПТИВНОСТЬ СЕКЦИЙ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ И ИХ РЕЖИМЫ РАБОТЫ
БУЕВИЧ В. В., ГАБОВ В. В., ЗАДКОВ Д. А., КАБАНОВ О. В. 23

ВЛИЯНИЕ НАСТРОЙКИ РАБОЧЕЙ ТОЧКИ ПО ДАВЛЕНИЮ НА ДИНАМИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА
БУНДУР М. С., ПЕЛЕВИН Н. А., ПРОКОПЕНКО В. А. 28

| | |
|---|-----------|
| ВЛИЯНИЕ РАДИАЛЬНОГО СМЕЩЕНИЯ ОСИ ШПИНДЕЛЯ НА ДИНАМИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА <i>БУНДУР М. С., ПЕЛЕВИН Н. А., ПРОКОПЕНКО В. А.</i> | 30 |
| СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ВИНТОВЫХ СВАЙ С УЧЕТОМ ИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ <i>ВАЛИЕВ Ш. Н., ГОРБУЛИН М. Г.</i> | 31 |
| ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ МИКРООБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ДИФРАКТОМЕТРИИ <i>ВАСИЛЬЕВА Е. Н., СОЛОВЬЕВ И. В.</i> | 43 |
| ИМПЕДАНСНАЯ РАДИОСПЕКТРОСКОПИЯ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ПЛЕНОК <i>ВЕЛИЧКО Е. Н., ЧЕРЕМИСКИНА А. В., ЗЕЗИНА Т. И., ЦЫБИН О. Ю.</i> | 50 |
| РОЛЬ НЕКОММЕРЧЕСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ В СТАНОВЛЕНИИ ГРАЖДАНСКОГО ОБЩЕСТВА В РОССИИ <i>ВОЛКОВА А. Н.</i> | 53 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МУЛЬТИПРОТОКОЛЬНОЙ СЕТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ОБЛАЧНОЙ СРЕДОЙ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ КОРОТКИХ ЭКСТРЕННЫХ СООБЩЕНИЙ <i>ГЛАЗУНОВ В. В., КУРОЧКИН М. А.</i> | 55 |
| ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСНОЙ ЭХОГРАФИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ МЯГКОТКАННЫХ ОПУХОЛЕЙ, ПРОИСХОДЯЩИХ ИЗ ЖИРОВОЙ ТКАНИ <i>ГРЫЗУНОВ В. В., ЗАЙЦЕВ А. Н.</i> | 60 |
| СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ <i>ГРЫЗУНОВ В. В., КЛИМЕНТЬЕВ П. Ю., ТАМЫШЕВ И. С.</i> | 63 |
| УЯЗВИМОСТЬ ПОВЕДЕНЧЕСКОГО ПАТТЕРНА ЛИЧНОСТИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ КОПИНГ-СТРАТЕГИЙ <i>ГРЫЗУНОВА И. В., ГРЫЗУНОВ В. В.</i> | 65 |
| РАЗРАБОТКА МЕТОДА СИНТЕЗА ПОВЕРХНОСТНО-МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗА С ПОМОЩЬЮ АРЕНДИАЗОНИЙ ТОЗИЛАТОВ <i>ГУСЕЛЬНИКОВА О. А.</i> | 70 |
| ТЕРМОДИНАМИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА ИЗ ОКСИДОВ ВОДОРОДОМ И УГЛЕРОДОМ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА ВЮСТИТА <i>ДЕМИДОВ А. И., МАРКЕЛОВ И. А.</i> | 72 |

| | |
|--|-----|
| МЕЖДУНАРОДНО-ПРАВОВОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И КОРОЛЕВСТВА ИСПАНИИ | |
| <i>ДОЛГОПОЛОВА Т. А., СЧЕТКОВ В. Н.</i> | 75 |
| ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУР В ЧАСТИЦАХ СЛАНЦА НА ОПИСАНИЕ ИХ ТЕРМОЛИЗА | |
| <i>ЗАХАРОВ В. Ю., ЩЕЛКУНОВА П. И.</i> | 80 |
| ВЕКТОР ПОЙНТИНГА В СИЛОВОМ ТРАНСФОРМАТОРЕ С ТОНКИМИ ОБМОТКАМИ | |
| <i>КИРИЛЛОВА М. С.</i> | 83 |
| АНАЛИТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ НА КООРДИНАТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКЦИОННЫМ МЕТОДОМ | |
| <i>КОЗЛОВ В. Н.</i> | 85 |
| МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ СОВМЕСТНОГО ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕТОКОВ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПО ЛИНИЯМ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ | |
| <i>КОЗЛОВ В. Н., РЯБОВ Г. А.</i> | 89 |
| ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЛОКОННО- ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ В КАЧЕСТВЕ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ | |
| <i>КОСТРОВ А. А., СЕМЕНОВ А. Е.</i> | 94 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ СОЛЕЙ ДИАЗОНИЯ С ФЕНИЛАЦЕТИЛЕНОМ | |
| <i>КРАХАЛЕВА Н. В., МОРОЗОВА М. А.</i> | 96 |
| СОЗДАНИЕ АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ И ДОРОЖНЫХ ЗНАКОВ ДЛЯ СИСТЕМ АКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ | |
| <i>МАЙОРЧИК А. В., БОЛСУНОВСКАЯ М. В.</i> | 98 |
| ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ТЕСТИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ | |
| <i>МАМУТОВА О. В., ФИЛИППОВ А. С.</i> | 103 |
| ДОСТОВЕРНОСТЬ СИСТЕМНЫХ МОДЕЛЕЙ ШАКИРОВА М. А. ДЛЯ РАСЧЕТА НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ ЛЭП | |
| <i>МЕДВЕДЕВ К. А.</i> | 106 |
| НЕРАЗМЫВАЮЩАЯ СКОРОСТЬ ПОТОКА ДЛЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ СЫПУЧИХ ГРУНТОВ | |
| <i>МИХАЛЕВ М. А., ПЕТРОВА Е. А., ШИЛОВ С. О.</i> | 109 |

| | |
|---|-----|
| АДДИТИВНОЕ И МУЛЬТИПЛИКАТИВНОЕ УДВОЕНИЕ В АВТОНОМНЫХ УРАВНЕНИЯХ | |
| <i>ПЕТРИЧЕНКО М. Р.</i> | 112 |
| ПОИСК КРИТЕРИЕВ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕДИНЕННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ ПРОИЗВОЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ | |
| <i>ПОПОВ М. Г., ЗАХАРОВА Е. В.</i> | 118 |
| АНАЛИЗ СИСТЕМ ПОСТРОЕНИЯ БАЗ ДАННЫХ BORLAND DATABASE ENGINE И ABSOLUTE DATABASE | |
| <i>РОМАНОВА Е. П.</i> | 122 |
| МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ ФОТОПЕРИОДИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РАСТЕНИЙ КОРОТКОГО ДНЯ | |
| <i>РОМАНОВА О. И., КОШКИН В. А.</i> | 125 |
| ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В СИЛОВОМ ТРАНСФОРМАТОРЕ С ТОНКИМИ ОБМОТКАМИ | |
| <i>РОСТОВСКАЯ О. И.</i> | 128 |
| МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСОВ ОХЛАЖДЕНИЯ КОНДЕНСАТОРОВ НА АЭС | |
| <i>СЕРОВ А. Е., НИКИФОРОВА А. П.</i> | 131 |
| РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЫДАЧИ В ЭНЕРГОСИСТЕМУ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА АЭС | |
| <i>СЕРОВ А. Е., НИКИФОРОВА А. П.</i> | 132 |
| ДЕСЯТЬ ЗАПОВЕДЕЙ КОЗА НОСТРА | |
| <i>СНЕТКОВ В. Н., САВЕЛЬЕВА А. П.</i> | 136 |
| ВЫВОД УРАВНЕНИЯ ИЗОБАРНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ В ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ЕГО В РАСЧЕТАХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ | |
| <i>ФЕДОРОВ С. В.</i> | 140 |
| ВЫВОД УРАВНЕНИЯ ЭНТРОПИИ КАК ФУНКЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ С УЧЕТОМ СТАТИСТИЧЕСКИХ И КВАНТОВО МЕХАНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ | |
| <i>ФЕДОРОВ С. В.</i> | 160 |
| ПРИМЕНЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПО ДЛИНЕ К АНАЛИЗУ РАЗЛИЧНЫХ ЗОН ТРЕНИЯ | |
| <i>ФЕДОРОВ С. В.</i> | 192 |

| | |
|--|-----|
| СНИЖЕНИЕ ШУМА, ВОЗНИКАЮЩЕГО ПРИ ТОРМОЖЕНИИ ОТЦЕПОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ | |
| <i>ФЕДЯЕВ В. Л., АБЗАЛОВ В. Р., СТЕПИН А. В., СЕМЕНОВ А. Е.</i> | 203 |
| РЕКЛАМА КАК ГЕНЕРАТОР СОЦИАЛЬНЫХ СТЕРЕОТИПОВ | |
| <i>ХАРИТОНОВ М. В.</i> | 205 |
| НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ОБУЧЕНИИ МАГИСТРАНТОВ В РАМКАХ НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ 13.04.02 «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА» В ПСКОВСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ | |
| <i>ХИТРОВ А. И., ХИТРОВ А. А.</i> | 208 |
| РАСЧЕТ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СИСТЕМЕ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ | |
| <i>ШАКИРОВ М. А., МЕДВЕДЕВ К. А.</i> | 212 |
| РАСЧЕТ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СИСТЕМЕ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ | |
| <i>ШАКИРОВ М. А., МЕДВЕДЕВ К. А.</i> | 215 |
| ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА — ПУТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ | |
| <i>ШУМКОВ А. А.</i> | 218 |

ВЫСОКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ
В НАЦИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
УНИВЕРСИТЕТАХ

*Материалы Международной
научно-методической конференции*

5 -7 июня 2014 года

Том 3

Научные исследования
в специальных дисциплинах

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 вузов России СПбГПУ,
в Цифровом типографском центре Издательства Политехнического университета.

195251, Санкт-Петербург, Политехническая, 29.

Тел.: (812) 294-21-65

Тел./факс: (812) 294-21-65