

ISSN 1999-9801



# АУЭС

АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ  
БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІНІҢ

# ХАБАРШЫСЫ



# ВЕСТНИК

Алматинского университета  
энергетики и связи

2(45)

2019

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК АЛМАТИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Издается с июня 2008 года

УЧРЕДИТЕЛЬ

Некоммерческое акционерное общество  
«Алматинский Университет Энергетики и Связи»

---

**Главный редактор** – Стояк В.В., канд. техн. наук, профессор

**Зам. главного редактора** – Жауыт А., доктор PhD

**Редакционная коллегия:**

Сагинтаева С.С., д-р экон. наук, канд. физ.- мат. наук, академик МАИН (Казахстан)

Гита Ревалде, доктор PhD, член-корреспондент Академии наук Латвии (Латвия)

Мустафин М.А., д-р техн. наук (Казахстан)

Анна Мутуле, доктор PhD (Латвия)

Авезова Н.Р., д-р, техн. наук (Узбекистан)

Обозов А.Д., д-р техн. наук (Киргизстан)

Франческо Сандоро, доктор PhD (Италия)

Орумбаев Р.К., д-р техн. наук (Казахстан)

Мунц В.А., д-р техн. наук (Россия)

Илиев И.К., д-р техн. наук (Болгария)

Галайко Дмитрий, доктор PhD, (Франция)

Потехин В.В., канд. техн. наук (Россия)

Туманбаева К.Х., канд. техн. наук (Казахстан)

Цветков В.Ю., д-р техн. наук (Беларусь)

Такая Инамори, доктор PhD (Япония)

Кузнецов А.А., д-р техн. наук (Россия)

Алипбаев К.А., доктор PhD (Казахстан)

Кабдушев Б.Ж., канд. истор. наук (Казахстан)

Махмутов С.К., канд. истор. наук (Казахстан)

---

Технический редактор казахского языка

Алмухаметова Г.С.

Технический редактор русского языка

Ефимова А.Н.

Технический редактор английского языка

Сергеева Л.Д.

---

С содержанием журнала можно ознакомиться на сайте <http://aues.kz>

Подписаться на журнал можно в редакции журнала и по объединенному каталогу Департамента почтовой связи, подписной индекс -74108.

---

**Адрес редакции:** 050013, г. Алматы, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи»

ул. Байтурсынулы, дом 126/1, офис А224

Тел.: 8 708 880 77 99

Е-mail: [vestnik@aues.kz](mailto:vestnik@aues.kz)

Ответственный секретарь: Шубебаева Д.А.

Тираж 200 экз.

«Вестник АУЭС», 2019

# **В Е С Т Н И К**

---

**АЛМАТИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ**

---

**№ 2(45)**

**2019**

---

**Научно-технический журнал  
Выходит 4 раза в год**

**Алматы**



## БАКАЛАВРИАТ

- 5B060200 - Информатика
- 5B070200 - Автоматизация и управление
- 5B070300 - Информационные системы
- 5B070400 - Вычислительная техника и программное обеспечение
- 5B071600 - Приборостроение
- 5B071700 - Теплоэнергетика
- 5B071800 - Электроэнергетика
- 5B071900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации
- 5B073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды
- 5B081200 - Энергообеспечение сельского хозяйства
- 5B074600 - Космическая техника и технологии
- 5B100200 - Системы информационной безопасности

## КОЛЛЕДЖ

- 0901000 - Электрооборудование электрических станций и сетей
- 0906000 - Теплоэнергетические установки тепловых энергетических станций

## ВОЕННАЯ КАФЕДРА

Министерство обороны РК выделяет квоту студентам АУЭС для получения специальности на военной кафедре, а также предлагает пройти курс «Молодого бойца».

## ЯЗЫКИ ОБУЧЕНИЯ



КАЗАХСКИЙ



РУССКИЙ



АНГЛИЙСКИЙ

## МАГИСТРАТУРА

- 6M070200 - Автоматизация и управление
- 6M071700 - Теплоэнергетика
- 6M071800 - Электроэнергетика
- 6M071900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации
- 6M070400 - Вычислительная техника и программное обеспечение
- 6M070300 - Информационные системы
- 6M073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды
- 6M071600 - Приборостроение

## ДОКТОРАНТУРА

- 6D071700 - Теплоэнергетика
- 6D071800 - Электроэнергетика
- 6D071900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации

- 1302000 - Автоматизация и управление
- 1304000 - Вычислительная техника и программное обеспечение
- 1305000 - Информационные системы
- 1306000 - Радиоэлектроника и связь

## ИНОГОРОДНИМ ПРЕДОСТАВЛЯЕТСЯ ОБЩЕЖИТИЕ

### НАШИ КОНТАКТЫ:

🏠 г.Алматы, ул.А.Байтурсынулы 126/1  
☎ +7 (727) 292 0303  
✉ aues1975@gmail.com



AUES University



@aues\_university



AUES University



Aues University

#АУЭС  
#АUES  
#АUPET  
#БУДНИАУЭС

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

**Волкова Ю.В., Мунц В.А., Чойнзонов Д.Б.**

Разработка тепловой схемы энергетической установки с газификатором угля и топливными элементами.....5

**Койлышов У.К., Бейсенбаева К.А.**

Решение одной граничной задачи для уравнения теплопроводности в области с подвижной границей.....14

**Орумбаев Р.К., Касимов А.С., Сейдалиева А.Б., Отынчиева М.Т.**

Исследование спиральных турбулизаторов для интенсификации конвективного теплообмена водогрейных котлов малой мощности.....20

**Асқарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Оспанова Ш.С., Қасымова К.А., Әділбек М.Н.**

Инновациялық технологияларды енгізудің перспективалары.....29

### ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

**Askaruly K., Azat S., Yeleuov M., Azamat T., Sarsembaeva B.**

The modern anode with high capacity for li-ion batteris.....36

**Қожамбердиев Қ.О., Бақыт Ғ.Б., Кылват М.**

Асинхронды қозғалтқышты жатық іске қосу сұлбаларына зерттеу жүргізу.....43

**Каирбеков Т.**

Связь между компонентами метрики пространства-времени с тензором электромагнитного поля.....50

**Дауменов Т.Д., Саурова К.С.**

Повышение мощности отражательного клистрона.....60

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Молдабеков М.М., Елубаев С.А., Сухенко А.С., Қаметқанова А.Б.**

Проектирование аппаратно-программного комплекса для тестирования системы ориентации беспилотных летательных аппаратов.....64

**Кулатай А.А., Джумадилова Ш.Г.**

Управление проектами в частных IT компаниях: проблемы и перспективы.....73

#### **АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ**

**Байбазаров М.Б.**

Задача управления линейной системы с минимальной энергией.....81

#### **ИННОВАЦИИ В ВЫСШЕМ ОБРАЗОВАНИИ**

##### **ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ НАУКИ**

**Саргизова А.Г.**

Вывод товара на международный рынок: обзор маркетинговых инструментов.....86

**Бапаев К.Б., Василина Г.К., Сламжанова С.С., Толеуова Б.Ж.**

О сильной устойчивости разностно-динамических систем в критическом случае при параметрических возмущениях и бифуркациях.....93

**Исмагулова М.Ш., Бедельбаева Г.Е., Беспалова И.В.**

Инновационные образовательные технологии в преподавании физики.....101

**Арзимбетова М.Б., Мырзақұл Ш.Р., Мырзақұл Т.Р.**

Симметрия Нётера в космологии  $f(R)$   
Хоравы-Лифшица.....107

**Рысмаганбетова А.К.**

Некоторые методологические аспекты разработки маркетинговой стратегии для учреждений сферы дополнительного образования.....116

#### **ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЯ**

**Gita Revalde**

Photonic devices for detection of volatile organic compounds in uv spectral region.....123

#### **ЮБИЛЯР**

**Дауменов Тлеухан Дауменович**.....129

## ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

ГРНТИ 44.31.35

Ю.В. Волкова, В.А. Мунц, Д.Б. Чойнзонов

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

### РАЗРАБОТКА ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С ГАЗИФИКАТОРОМ УГЛЯ И ТОПЛИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

**Аннотация.** В статье рассмотрен вариант тепловой схемы энергетической установки, которая в качестве топлива может использовать уголь, с его дальнейшей газификацией и преобразованием в электрическую энергию в батарее твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ). Схема включает газификатор угля с заторможенным циркулирующим псевдоожиженным слоем, батареи топливных элементов планарной конструкции с несущим анодом и вспомогательное оборудование такое как насосы, регенеративные подогреватели и др. Данная схема позволяет преобразовать уголь в электрическую энергию с КПД на уровне 40-45%. Уходящие газы разрабатываемой энергетической системы будут экологически безопасными за счет отсутствия NOx, SOx и сажи. В результате объединения технологий удалось исключить процесс очистки газа от смол после выходя их газификатора, что позволило повысить эффективность и снизить металлоёмкость разрабатываемого оборудования.

**Ключевые слова:** топливные элементы, твердооксидные топливные элементы, ТОТЭ, газификация, уголь, генераторный газ, газогенераторный газ.

Ископаемое топливо используется во всем мире в целях покрытия нужд энергетики и промышленности, традиционным методом использования топлива является его сжигание и получение тепловой энергии и электрической. С ростом экономики развитых стран их потребление будет только увеличиваться, что в условиях ограниченности ресурсов, может стать причиной конфронтации. Сжигание ископаемого топлива приводит к росту выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, что неблагоприятно сказывается на экологической ситуации во всем мире [1]. Потому многие страны на уровне государственных программ развивают безопасные для экологии энергетические технологии, одна из них — это технология топливных элементов (ТЭ) [2-6]. ТЭ являются электрохимическими устройствами, предназначенными для прямого преобразования химической энергии топлива в электрическую [1]. Низкотемпературные топливные элементы преимущественно работают на водороде, и для их работы в качестве катализатора необходимо использовать платину, поэтому для традиционной стационарной энергетики наиболее перспективны высокотемпературные твердооксидные топливные элементы, так как в качестве топлива в них можно использовать смесь водорода и оксида углерода, а окислителем может являться очищенный от пыли воздух. Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) являются высокотемпературными элементами, которые работают при температуре от 700-900°C, а качестве электролита используется керамический материал на основе диоксида циркония стабилизированного иттрием (YSZ, например,  $ZrO_2 + 8 \text{ mol.} \% Y_2O_3$ ). Преимущества элементов ТОТЭ позволяют использовать их в когенерационных циклах, значительно повышая эффективность и экологическую безопасность последнего. Исследователи ведущих университетов и компаний осуществляют научную работу в области создания эффективных тепловых схем и циклов на базе технологии ТОТЭ [8, 9]. Компания Wartsila начиная с 2000 года ведет разработки энергетических систем на ТОТЭ планарной конструкции единичной мощностью 20-

50кВт. В 2009 году компания разработала прототип установки, которая в качестве топлива использует биогаз следующего состава 40%CH<sub>4</sub>, 34%N<sub>2</sub>, 26% CO, сезонные изменения состава газа составляют ±15%. Электрический КПД такой системы находится на уровне 43%, а общая эффективность 73-76% [8].



Рисунок 1. Второе поколение энергетического модуля мощностью 20 кВт использующего в качестве топлива биогаз [8]

В качестве исходного сырья в тепловых схемах с высокотемпературными топливными элементами часто рассматривается уголь, так как он является самым распространенным видом ископаемого топлива, его запасы превышают запасы нефти и природного газа. Но при сжигании угля возникает ряд трудностей, таких как: зольный остаток, который необходимо удалять и утилизировать, образование оксидов серы и азота, а также других вредных соединений, поэтому для эффективного преобразования угля в газ или тепло создано значительное количество технологических процессов и схем. Начиная с прошлого века в мире разработаны схемы, в которых из угля можно получить горючий газ путем его газификации [17]. Технология газификации угля наиболее перспективная и экологически безопасная технология по сравнению с сжиганием угля [10, 17]. Наиболее изученными процессами высокотемпературной газификации угля являются: газификация смесью H<sub>2</sub>O и O<sub>2</sub>, диоксидом углерода, смесью воздуха и пара, водородом и воздушная газификация. В последнее время с развитием науки и техники разрабатываются новые способы получения генераторного газа, один из них описан авторами S. Chen и др. в публикации [12]. Это технология сверхкритической газификации угля, биомассы и органических отходов, суть которой в том, что при достижении сверхкритических параметров, вода начинает обладать достаточной плотностью, чтобы обеспечить значительную растворяющую способность и диффузию выше, чем жидкостях, но с более низкой вязкостью, что увеличивает массоперенос. В результате может быть создана однородная и быстрая реакционная среда для газификации [13, 14]. Не смотря на значительную потенциальную эффективность у данной технологии есть ряд технологических недостатков при внедрении, такие как сложность оборудования для достижения и поддержания сверхкритических параметров, необходимость сертификация оборудования (Ростехнадзор), необходимо большое количество воды.

Генераторный газ, получаемый в процессе газификации можно сжигать в котлах или камерах сгорания газовых турбин с получением тепла и электроэнергии, а можно преобразовать в синтез-газ, являющийся сырьем для получения моторных топлив,



различных удобрений, синтетического природного газа, водорода, метанола и др. Для достижения более эффективного использования топлива, продукты газификации можно использовать в ТОТЭ. Коллектив авторов под руководством А. Thallam Thattai и др. в работе [15] провели термодинамическое исследование по модернизации существующих станций в Нидерландах с учетом включения в схему генератора на ТОТЭ. Модернизация электростанций мощностью до 40 МВт в циклах парогазовых установок с газификацией угля и батареями ТОТЭ возможна без крупных модификаций заводов. Авторы показали, что за счет применения современных топливных элементов и внедрения частичного возвращения  $\text{CO}_2$  из уходящих газов в цикл, можно повысить эффективность системы на 9% и снизить выбросы углекислого газа на 45%.

В статье [16] выполнили сравнение двух новых систем когенерации на основе ТОТЭ. В качестве топлива используется либо синтез-газ из газификатора, либо биогаз из реактора анаэробного сбраживания. M Yari и др. определили, что в случае получения только электрической энергии схема с реактором анаэробного сбраживания и ТОТЭ более эффективна (40,14%), чем схема с газификатором (20,31%). Но при совместной выработке электрической и тепловой энергии КПД последней схемы будет составлять 58,75%, а в схеме с использованием генераторного газа КПД будет 51,05%. С другой стороны, авторы определили, что при использовании биогаза от технологии анаэробного газа более рентабельно, чем при использовании генераторного газа из газификатора. При выполнении данных расчетов авторы учитывали необходимость очистки генераторного газа из газификатора от смол, что однозначно оказывает значительное влияние на эффективность всего процесса.

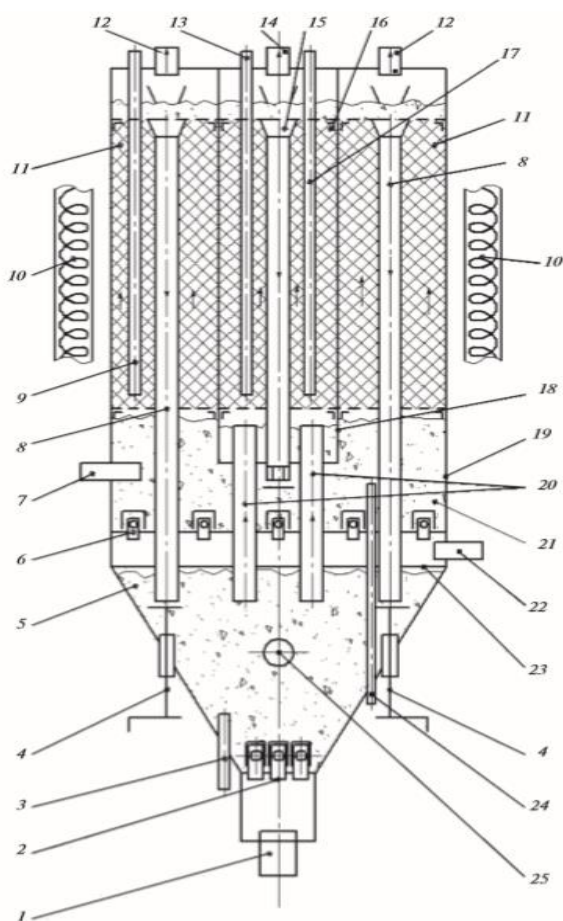
Таким образом, подтверждается актуальность использования синтез-газа и биогаза в когенерационных циклах с ТОТЭ и их высокая эффективность. Приведенные выше технологии весьма востребованы в наше время так как, традиционные методы использования топлива связаны с большими потерями его потенциала, совмещение процесса газификации и батарей на основе ТОТЭ позволяют сократить данный, что значительно уменьшает потери химической энергии топлива, за счет прямого преобразования в электричество.

Основные предпосылки к совмещению технологий газификации угля и твердооксидных топливных элементов:

- Для получения генераторного газа необходимо подведение теплоты к камере газификации, для данного процесса оптимально подходят уходящие из анодного канала газы, имеющие температуру на уровне  $800^\circ\text{C}$ .
- И для катодного канала топливных элементов, и для камеры газификации необходимо подведение очищенного от пыли воздуха.
- В твердооксидных топливных элементах планарной конструкции с несущим анодом, последний выполнен из никелевого кермета, что позволяет протекать в анодном канале реакции водяного газа (сдвига)  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$  и увеличивать количество водорода участвующего в реакции получения электрического тока.
- В твердооксидных топливных элементах возможно использовать не только чистый водород, но и смесь из  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ .
- При сжигании в камерах сгорания турбин или топках котла азот, которого в полученном газе 61,7%об, может создавать  $\text{NO}_x$  образующиеся в химических реакциях при горении. В ТОТЭ из-за того, что температура находится на уровне  $750\text{--}850^\circ\text{C}$ , (для образования  $\text{NO}_x$  этого недостаточно, необходимо от  $1100^\circ\text{C}$ ), позволяет энергетической

установке на базе ТОТЭ с газификацией угля быть безопасной для окружающей среды в сравнении с традиционными установками данного типа.

Чтобы создать максимально эффективную тепловую схему на базе двух технологий необходимо особое внимание уделить выбору газификатора. В большинстве случаев полученные генераторный газ содержит смолы, что требует внесения дополнительного узла очистки. Поэтому при разработке энергетической установки было принято решение использовать технологию газификации угля, которая была разработана и подробно описана в работе [10] А.М. Дубинина. Схема данного газификатора приведена на рис. 2.



1 – штуцер для ввода воздуха на горение; 2, 6 – беспровальная воздухораспределительная колпачковая решетка; 3 – штуцер для удаления золы и шлака; 4 – устройство (шибер) для регулирования расхода электрокорунда по опускным стоякам; 5, 21 – псевдоожиженный слой; 7 – штуцер для ввода угля в камеру газификации; 8 – опускной стояк; 9 – трубка для замера температуры по высоте камеры газификации; 10 – тепловая изоляция; 11 – сферическая насадка в камере газификации; 12 – штуцер для выхода продуктов газификации; 13 – трубка для замера температуры по высоте камеры сгорания; 14 – штуцер для выхода продуктов сгорания; 15 – опускной стояк в камере сгорания; 16 – сферическая насадка в камере сгорания; 17 – устройство для забора проб продуктов газификации по высоте; 18 – внутренняя реторта; 19 – наружная реторта; 20 – подъемные стояки; 22 – штуцер для ввода воздуха на газификацию; 23 – перегородка; 24 – штуцер для вывода золы; 25 – штуцер для ввода угля в камеру сгорания.

Рисунок 2. Экспериментальная установка для воздушной газификации углей в заторможенном циркуляционном псевдоожиженном слое:

Работа данного газификатора осуществляется следующим образом. Инертная сферическая насадка помещена в реторту. Во внутренней реторте 18 производилось

сжигание угольной пыли, для подвода необходимого количества теплоты. В кольцевом зазоре между ретортами 18 и 19 проходил процесс воздушной газификации угля. Для осуществления циркуляции электрокорунда предусмотрены опускные стояки 8 и 15. Для протекания эндотермической реакции в камере газификации 11, в псевдооживленный слой 21 по стояку 15 подавался нагретый электрокорунд, подогретый в камере 16, после чего, охлажденный, по стояку 8 возвращался в псевдооживленный слой 5 в камеру сгорания для повторного нагрева. Устойчивая циркуляция частиц между камерами осуществлялась за счет разности гидравлических сопротивлений заторможенного насадкой циркуляционного слоя и столба электрокорунда в стояках 8 и 15. Подвод угля в камеру сгорания осуществлялся по штуцеру 25, а воздуха по штуцеру 1. Удаление продуктов сгорания производилось по штуцеру 14. Уголь в камеру газификации поступал по штуцеру 7, воздух по штуцеру 22.

В ходе экспериментов, было установлено, что при расходе угля и воздуха в камеру сгорания 4,4 кг/ч и 22 м<sup>3</sup>/ч. И при расходе угля и воздуха в камеру газификации 24 кг/ч и 34,9 м<sup>3</sup>/ч в продуктах газификации отсутствовали смолы, а уносимые из камеры сгорания частицы фракции 150–200 мкм имели сухую беззольную массу ~10%, во фракции 40–80 мкм ~15%.

Уходящие из анодного канала газы содержат небольшое количество горючих компонентов, таких как СО и Н<sub>2</sub>, кроме того, они имеют температуру на уровне 750–800°С, и их можно каталитически дожечь, чтобы поддержать эндотермические реакции при получении генераторного газа. Так как используемом газификаторе с заторможенным циркуляционным слоем присутствует камера сгорания, то было принято решение направить уходящие из ТОТЭ газы во внутреннюю реторту 18, где ранее осуществлялось сжигание угольной пыли, которая будет заполнена катализатором на основе алюминия.

Основываясь на опыте использования батарей ТОТЭ с несущим анодом и газификатора, была разработана схема энергетической установки, использующая в качестве топлива уголь. Схема данной установки представлена на рис. 2.

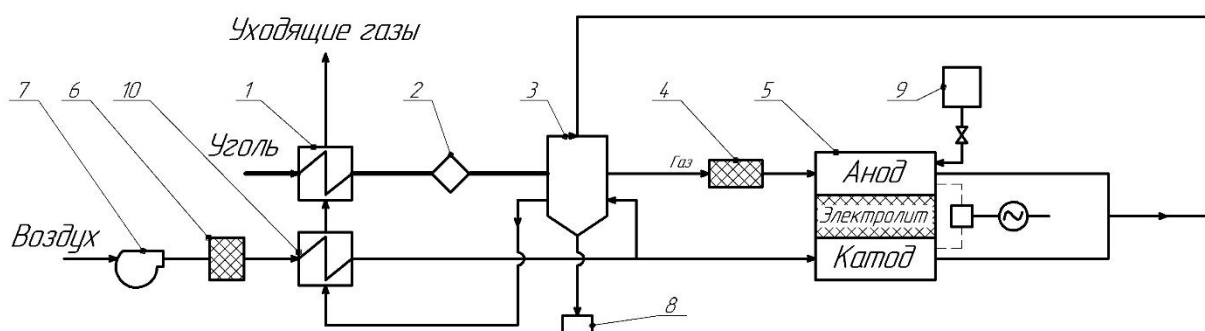


Рисунок 3. Схема энергетической установки на угле с газификатором с заторможенным псевдооживленным слоем и батареями твердооксидных топливных элементов: 1-устройство для осушки поступающего угля, 2- измельчитель угля, 3- газификатор, 4- механический фильтр, 5- батарея ТОТЭ, 6- воздушный механический фильтр, 7- воздуходувка, 8- золоуловитель, 9- баллоны с защитной смесью (95% Ag/5% H<sub>2</sub>), 10- теплообменник для подогрева поступающего в катодный канал воздуха.

В предлагаемой схеме уголь поступает в обогреваемую камеру 1 для удаления влаги, а затем попадает в измельчитель 2 для размола в нужную фракцию, пригодную для газификации. Полученный генераторный газ проходит через механический фильтр 4 и попадает в анодный канал топливной батареи 5. Предварительно очищенный от пыли в механическом фильтре 6 воздух подается при помощи воздуходувки 7 на подогрев в теплообменник 10, после чего разделяется на два потока, один из которых подается в газификатор, а второй в катодный канал. Уходящие из ТОТЭ продукты электрохимических реакций направляются в камеру сгорания газификатора, где все не прореагировавшие компоненты каталитически дожигаются, после окисления уходящие газы отправляются на подогрев входящего воздуха и осушку угля.

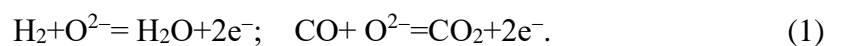
В таблице 1 представлен состав генераторного газа в зависимости от температуры в газификаторе [10].

Таблица 1. Состав сухого продукта газификации на высоте 1 м в зависимости от температуры [10]

Температура, °С	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	H <sub>2</sub>
760	10,90%	4,80%	65,80%	0,80%	12,20%	5,50%
825	7,70%	3,10%	61,70%	1,20%	19,50%	6,80%
875	7%	2,60%	60,80%	0,90%	22,50%	6,20%
900	4,50%	2,10%	59,80%	0,40%	26%	7,20%

Исходя из полученных экспериментальных данных, можно произвести расчеты для определения мощности батареи ТОТЭ.

В твердооксидными топливном элементе на аноде адсорбированная и каталитически активированная молекула топлива, например, H<sub>2</sub> или CO, взаимодействует с ионом кислорода, поступающим через электролит из катодного канала, в результате чего образуются молекулы H<sub>2</sub>O или CO<sub>2</sub> и появляются свободные электроны [1]



Так как топливные элементы обычно работают в изобарно-изотермических условиях, то расчет ЭДС выполняется исходя из того, что для этих условий максимально возможная работа, которая может быть получена в системе при обратимом протекании химической реакции, равна уменьшению свободной энергии Гиббса. В этом случае для расчета ЭДС элемента в зависимости от парциальных давлений реагирующих газов и продуктов реакции обычно используют следующую формулу

$$E_3 = E^0 - \frac{RT}{n_3 F} \sum \ln p_{\kappa}^{\nu_{\kappa}}, \quad (2)$$

где  $E_3^0$  – стандартная ЭДС элемента для токообразующих реакций [1];

$p_{\kappa}$  – парциальные давления компонентов смеси;  $\nu_{\kappa}$  – стехиометрический коэффициент компонента в реакции: положительные для образующихся компонентов, отрицательные у

расходуемых;  $T$  – абсолютная температура, К;  $R = 8,314$  Дж/(моль·К);  $n_3$  – число электронов, участвующих в данной реакции, например,  $n_3 = 2$  в реакции.

Исходя их кинетики реакций, конструкций электродов и экспериментальных данных определено, что основной вклад в ЭДС ТОТЭ вносит реакция окисления водорода, а присутствующий в синтез-газе СО вносит в ЭДС элемента порядка 3% [1]. На рис. 3 приведена зависимость ЭДС ТОТЭ от температуры в газификаторе для случая в котором ЭДС получается только от реакции водорода и в случае участия СО. Из графика видно, что ЭДС единичного элемента снижается с повышением температуры.

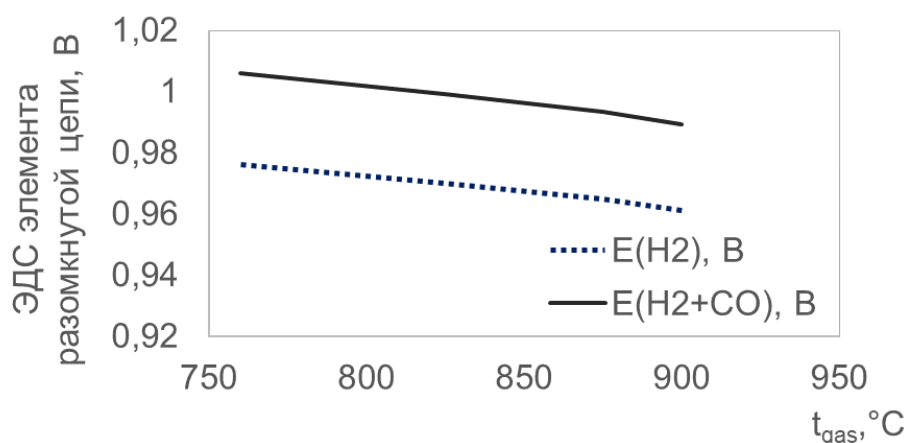


Рисунок 4. Зависимость ЭДС от температуры на выходе из газификатора

Мощность полученная от электрохимического генератора на основе ТОТЭ зависит от количества соединенных элементов и батарей, а также от силы тока и возникающих потерь. Предварительная оценка мощности была выполнена для существующих и испытанных в ООО «УПК» батарей ТОТЭ планарной конструкции с несущим никелевым анодом [18] исходя из следующих параметров: две топливные батареи в каждой из которых по 40 единичных элементов. Параметры силы тока определены из экспериментальных данных с учетом технических характеристик оборудования. На рисунке 4 представлена располагаемая электрическая мощность (без учета активационных, концентрационных и омических потерь), которую можно получить от топливных батарей с учетом концентраций горючих компонентов в генераторном газе.

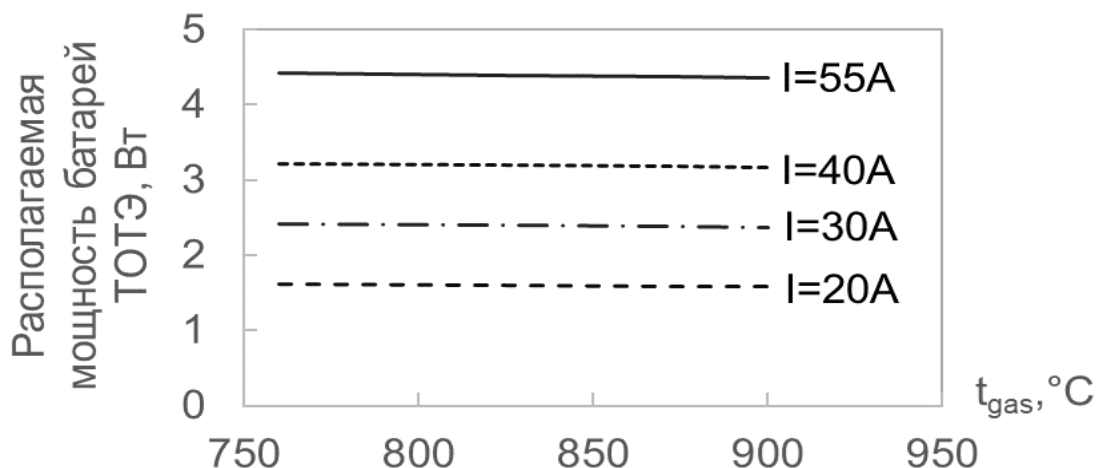


Рисунок 5. Мощность без учета потерь в зависимости температуры на выходе из газификатора

Из графика видно, что при температурном диапазоне от 750 до 900°C состав генераторного газа не вносит существенных изменений в мощность батарей ТОТЭ. Это позволяет осуществлять регулирование работы газификатора в достаточно большом температурном диапазоне.

#### Выводы

В результате анализа характеристик технологий газификации угля и твердооксидных топливных элементов есть было выявлено несколько существенных аспектов позволяющих успешно соединить их в единой тепловой схеме с высокой эффективностью и безопасностью.

Использование в тепловой схеме с ТОТЭ газификатора с псевдооживленным заторможенным кипящим слоем дает возможность исключить модуль очистки генераторного газа от смол, что повышает эффективность энергетической системы и делает ее более надежной.

Использование уходящих из ТОТЭ продуктов в реакции в камере сжигания газификатора снижает расход угля и поддерживает протекание эндотермических реакций в зоне газификации.

Анализ изменения ЭДС в зависимости от состава полученного генераторного газа в диапазоне от температур от 750 до 900°C показал не существенное влияние данного параметра на располагаемую мощность электрохимического генератора в указанном диапазоне температур, что позволяет использовать большее количество режимов управления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баскаков А.П., Волкова Ю.В. физико-химические основы тепловых процессов (учебное пособие) издательство Теплотехник, Москва, 2014. 173 С.
2. Kenji H. Current status of national SOFC Projects in Japan // ECS Trans. 2013. Vol. 57(1). Pp. 3–10.
3. Vora S. D. SECA Program overview and status // ECS Trans. 2013. Vol. 57(1). Pp. 11–19.
4. Status of the Solid Oxide Fuel Cell Development at Topsoe Fuel Cell A/S and DTU Energy Conversion / N. Christiansen [et al.] // ECS Trans. 2013. Vol. 57(1). Pp. 43–52.
5. Overview on the Jülich SOFC Development Status / L. Blum [et al.] // ECS Trans. 2013. Pp. 28–33.

6. Wang Sh., Zhan Z., Wen T. Introduction of Solid Oxide Fuel Cell Research in SICCAS // ECS Trans. 2013. Vol. 57(1). Pp. 35–41.
7. A. Thallam Thattai, V. Oldenbroek, L. Schoenmakers, T. Woudstra, P.V. Aravind. Towards retrofitting integrated gasification combined cycle (IGCC) power plants with solid oxide fuel cells (SOFC) and CO<sub>2</sub> capture – A thermodynamic case study. Applied Thermal Engineering 114 (2017) 170–185
8. A comparative study of two SOFC based cogeneration systems fed by municipal solid waste by means of either the gasifier or digester
9. Jerri Laine. Status of the solid oxide fuel cell system development at Wärtsilä 29.10.2008 2008 Fuel Cell Seminar. Phoenix
10. А. М. Дубинин, С. П. Маврин. Оптимальные параметры воздушной газификации углей в газогенераторе с заторможенным циркуляционным псевдооживленным слоем. Химия твердого топлива, 2016, № 3, С. 40–46
11. Sergey Chekryzhov, “Kütusetööstuse Protsessid”, Loeng 6. Vk ttü-2014
12. Zhewen Chen, Lin Gao, Xiaosong Zhang, Wei Han, Sheng Li. High-efficiency power generation system with integrated supercritical water gasification of coal/ Volume 159, 15 September 2018, Pages 810-816
13. P.T. Williams, J. Onwudili, Subcritical and supercritical water gasification of cellulose, starch, glucose, and biomass waste, Energy & Fuels 20 (2006)1259–1265.
14. Y. Matsumura, T. Minowa, B. Potic, S.R.A. Kersten, W. Prins, W.P.M. van Swaaij, B. van de Beld, D.C. Elliott, G.G. Neuenschwander, A. Kruse, M.J. Antal, Biomassgasification in near- and super-critical water: status and prospects, Biomass & Bioenergy 29 (2005) 269–292
15. A.Thallam Thattai, V.Oldenbroek, L.Schoenmakers, T.Woudstra, P.V.Aravind. Towards retrofitting integrated gasification combined cycle (IGCC) power plants with solid oxide fuel cells (SOFC) and CO<sub>2</sub>capture – A thermodynamic case study, Applied Thermal Engineering Volume 114, 5 March 2017, Pages 170-185
16. Mortaza Yari , Ali Saberi Mehr, Seyed Mohammad, Seyed Mahmoudi, Massimo Santarelli, A comparative study of two SOFC based cogeneration systems fed by municipal solid waste by means of either the gasifier or digester, Energy 114 (2016) 586-602
17. A.A.P.Susastriawan, Harwin Saptoadi, Purnomo. Small-scale downdraft gasifiers for biomass gasification: A review / Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 76, September 2017, Pages 989-1003
18. Сайт ООО «Уральская производственная компания», резидент фонда Сколково // [www.uicpro.ru](http://www.uicpro.ru). Актуальность на 20.09.2018 года.

**Abstract.** The paper includes a variant of the thermal scheme of the power plant, which can use coal as a fuel, with its further gasification and conversion into electrical energy in a solid oxide fuel cell (SOFC) stacks. The thermal scheme includes a coal gasifier with an inhibited circulating fluidized bed (ICFB), stacks of planar solid oxide fuel cells with a bearing anode and auxiliary equipment such as pumps, regenerative heaters, etc. This scheme allows conversion of coal into electrical energy with an efficiency of 40-45%. The exhaust gases of the developed power system will be environmentally friendly due to the absence of NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> and soot. As a result of the technologies combination, it was possible to exclude from the process the gas cleaning from tar after gasifier, which allowed to increase the efficiency and reduce the metal capacity of the developed equipment.

**Keywords:** fuel cells, solid oxide fuel cells, SOFC, gasification, coal, generator gas, a thermal scheme.

ГРНТИ 27.31.15

У.К.Койлышов<sup>1</sup>, К.А.Бейсенбаева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>Казахская академия транспорта и коммуникации им. Тынышпаева, Алматы, Казахстан

E-mail: koylyshov@mail.ru

## РЕШЕНИЕ ОДНОЙ ГРАНИЧНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ОБЛАСТИ С ПОДВИЖНОЙ ГРАНИЦЕЙ

**Аннотация.** Краевые задачи для уравнений теплопроводности в областях с движущейся границей принципиально отличны от классических. Вследствие зависимости размера области от времени, к этому типу задач в общем случае не применимы методы разделения переменных и интегральных преобразований, так как оставаясь в рамках классических методов математической физики, не удастся согласовать решение уравнения теплопроводности с движением границы области теплопереноса.

Решение этой проблемы являлось предметом исследования многих отечественных и зарубежных математиков.[ 1-7] Большое число работ посвящены краевым задачам в невырождающихся областях, в них рассматривались вопросы существования классических решений методом тепловых потенциалов для уравнений параболического типа.

Когда область вырождается в начальный момент времени, то метод последовательных приближений решения интегральных уравнений невозможно применить. Так как при вырождении области интегральные операторы становятся особыми, то есть, при их воздействии на постоянную и стремлении верхнего предела к нулю, они не стремятся к нулю. Интегральные уравнения такого рода было получено в работе [8], при изучении теплового поля жидких контактных мостиков и найдено асимптотическое решение, которое можно использовать для решения практических задач.

Данная работа посвящена исследованию одной граничной задачи для уравнения теплопроводности в области, вырождающейся в начальный момент времени, когда граница движется по линейному закону.

Получен явный вид решения данной задачи, впоследствии которого можно применять для численного решения.

**Ключевые слова:** уравнения теплопроводности, граничная задача, подвижная граница, вырождающейся область, явное решение.

Рассматривается следующая задача: требуется найти функцию  $u(x, t)$  в области  $D(0 < x < \alpha t, t > 0)$ , где  $\alpha > 0$ , удовлетворяющее уравнению:

$$u_t = a^2 u_{xx}, (x, t) \in D = \{(x, t), 0 < x < \alpha t, 0 < t < T\}, \quad (1)$$

граничным условиям:

$$u(0, t) = \varphi(t), \quad u(\alpha t, t) = \psi(t), \quad (0 < t < T), \quad (2)$$



Для решения задачи (1)-(2) введем новую неизвестную функцию  $v(x_1, t_1)$  следующим

$$\text{образом: } u(x, t) = v(x_1, t_1) \frac{e^{-\frac{x^2}{4a^2t}}}{\sqrt{t}} \quad (3)$$

где  $x_1 = \frac{x}{at}, t_1 = -\frac{1}{t}$ . Преобразование (3) называется преобразованием Аппеля [9].

Тогда задача (1)-(2) переходит к следующей задаче без начальных условий: требуется

найти функцию  $v(x_1, t_1)$  в области  $D_1 (0 < x_1 < l, t_1 > -\infty)$ , удовлетворяющее уравнению:

$$\frac{\partial v}{\partial t_1} = \frac{\partial^2 v}{\partial x_1^2}, (x_1, t_1) \in D_1 = \left\{ (x_1, t_1), 0 < x_1 < l, -\infty < t_1 < -\frac{1}{T} \right\} \quad (4)$$

и граничным условиям:

$$v(0, t_1) = \varphi_1(t_1), \quad v(l, t_1) = \psi_1(t_1), \quad (5)$$

$$\text{где } l = \frac{\alpha}{a}, \varphi_1(t_1) = \varphi\left(-\frac{1}{t_1}\right) \frac{1}{\sqrt{-t_1}}, \quad \psi_1(t_1) = \psi\left(-\frac{1}{t_1}\right) \frac{1}{\sqrt{-t_1}} e^{-\frac{l^2}{4t_1}},$$

Задачу без начальных условий (4)-(5) решим методом А.Н.Тихонова [10], т.е. при  $t = t_0$  зададим начальное условие:

$$v(x_1, t_1) \Big|_{t=t_0} = f(x, t_0), \quad (6)$$

Таким образом, сначала решим задачу (4)-(5), с начальным условием (6), затем устремляя  $t_0 \rightarrow -\infty$ , получим решение задачи без начальных данных (4)-(5). Решение задачи

(4)-(5), (6) обозначим через  $v(x_1, t_1, t_0)$ .

Решение задачи (4)-(5), (6) имеет следующий вид:

$$v(x_1, t_1, t_0) = 2 \int_{t_0}^t \frac{\partial G(x_1, \xi, t_1 - \tau_1)}{\partial \xi} \Big|_{\xi=0} \varphi_1(\tau_1) d\tau_1 + \\ + 2 \int_{t_0}^t \frac{\partial G(x_1, \xi, t_1 - \tau_1)}{\partial \xi} \Big|_{\xi=l} \psi_1(\tau_1) d\tau_1 + \int_0^l G(x_1, \xi, t_1 - t_0) f(\xi, t_0) d\xi,$$

Если предположим, что функция  $f(x, t_0)$ , ограниченная функция, то несложно показать, что

$$\lim_{t_0 \rightarrow -\infty} \int_0^l G(x_1, \xi, t_1 - t_0) f(\xi, t_0) d\xi = 0,$$

Тогда получим

$$v(x_1, t_1) = \int_{-\infty}^{t_1} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \frac{x_1 + 2nl}{\sqrt{\pi}(t_1 - \tau_1)^{\frac{3}{2}}} e^{-\frac{(x_1 + 2nl)^2}{4(t_1 - \tau_1)}} \varphi_1(\tau_1) d\tau_1 +$$

$$+ \int_{-\infty}^{t_1} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \frac{x_1 + (2n-1)l}{\sqrt{\pi}(t_1 - \tau_1)^{\frac{3}{2}}} e^{-\frac{(x_1 + (2n-1)l)^2}{4(t_1 - \tau_1)}} \psi_1(\tau_1) d\tau_1,$$

Переходя обратно к первоначальным переменным  $x, t$  и после несложных преобразований, из формулы (3) получим решение первоначальной задачи (1)-(2) в следующем виде:

$$u(x, t) = -4a^2 \int_0^t \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \frac{\partial G(x + 2n\alpha t, t - \tau)}{\partial x} e^{\frac{cn(x + \alpha t)}{a^2}} \varphi(\tau) d\tau -$$

$$- 4a^2 \int_0^t \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \frac{\partial G(x + (2n-1)\alpha t, t - \tau)}{\partial x} e^{\frac{2(2n-1)\alpha x + (2n-1)^2 \alpha^2 t + \alpha^2 \tau}{4a^2}} \psi(\tau) d\tau,$$

где  $G(x, t) = \frac{1}{2a\sqrt{\pi t}} e^{-\frac{x^2}{4a^2 t}}$  – фундаментальное решение уравнения теплопроводности.

Нетрудно проверить, что полученное решение удовлетворяет уравнению (1) и граничным условиям (2). Аналогичным образом можно найти решение следующей граничной задачи:

требуется найти функцию

$u(x, t)$  в области  $D(0 < x < \alpha t, t > 0)$ , где  $\alpha > 0$ , удовлетворяющее уравнению:

$$u_t = a^2 u_{xx}, (x, t) \in D = \{(x, t), 0 < x < \alpha t, 0 < t < T\}, \quad (7)$$

граничным условиям:

$$u_x(0, t) = \varphi(t), \quad u(\alpha t, t) = \psi(t), \quad (0 < t < T), \quad (8)$$

Решение задачи (7)-(8) имеет вид:

$$u(x, t) = -4a^2 \int_0^t \sum_{n=-\infty}^{+\infty} (-1)^n G(x + 2n\alpha t, t - \tau) e^{\frac{cn(x + \alpha t)}{a^2}} \varphi(\tau) d\tau -$$

$$- 4a^2 \int_0^t \sum_{n=-\infty}^{+\infty} (-1)^n \frac{\partial G(x + (2n-1)\alpha t, t - \tau)}{\partial x} e^{\frac{2(2n-1)\alpha x + (2n-1)^2 \alpha^2 t + \alpha^2 \tau}{4a^2}} \psi(\tau) d\tau;$$

где  $G(x, t) = \frac{1}{2a\sqrt{\pi t}} e^{-\frac{x^2}{4a^2 t}}$  – фундаментальное решение уравнения теплопроводности.

Аналогичным образом можно проверить, что полученное решение удовлетворяет уравнению (7) и граничным условиям (8).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gevrey M. Sur les equations aux derives partielles du type parabolique. J. Math.Pures et Appl. 1913. Vol. 9. №4. P.305-471.
2. Petrovsky I.G. Zur ersten Randwertaufgabe der Wärmeleitungsgleichungen. Compos. Math. 1935. Vol.1 №3. P.383-419.
3. Камынин Л.И. О решении IV и V краевых задач для одномерного параболического уравнения второго порядка в криволинейной области // Журн.вычисл.математики и мат.физики.-1969.-Т.9.№3.-С.558-572.
4. Михайлов В.П. Теорема существования и единственности решения одной задачи для параболического уравнения в области с особыми точками на границе. Труды МИАН СССР. 1967. Т.91. с.47-58.
5. Кондратьев В.А. Краевые задачи для параболических уравнений в замкнутых областях. Тр. Моск. Мат. Общества. 1966. Т.15. с.400-451.
6. Ким Е.И.,Кавокин А.А. Решение в малом задачи с нелинейным граничным условием для уравнения теплопроводности в расширяющейся области. Изв. АН КазССР. Сер. физ-мат. 1977. №1. С. 41-46.
7. Ким Е.И., Койлышов У.К. Решение задачи теории теплопроводности с разрывным коэффициентом и вырождающимися подвижными границами // Изв.АН КазССР.Сер.физ.-мат.-1984.-№3.-С.35-39.
8. Харин С.Н. Тепловые процессы в электрических контактах и связанные с ними сингулярные интегральные уравнения. Дисс. канд.физ-мат. наук. Алма-Ата, 1968. 131 с.
9. Miller W.Jr. Symmetry and Separation of variables. University of Wisconsin Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1977. 342 p.
10. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики.- М.:Наука,1977.-736с.

### REFERENCES

1. Gevrey M. Sur les equations aux derives partielles du type parabolique. J. Math.Pures et Appl. 1913. Vol. 9. №4. P.305-471.
2. Petrovsky I.G. Zur ersten Randwertaufgabe der Wärmeleitungsgleichungen. Compos. Math. 1935. Vol.1 №3. P.383-419.
3. Kamynin L.I. About IV and V solutions a one-dimensional boundary value problems for second order parabolic equation in a curvilinear region. Journal Calculated. Math. and Math.Physik.-1969. E.9.-№3.-S.558-572. (russian)
4. Mikhailov V.P. The existence and uniqueness theorem for solving a single problem for a parabolic equation in a domain with singular points on the boundary Proceedings MIAN UdSSR . 1967. E.91. p.47-58. (russian)
5. Kondratyev V.A. Boundary value problems for parabolic equations in closed domains. Works of the Moscow Mathematical Society. 1966. E.15. p.400-451. (russian)

6. Kim E.I., Kavokin A.A. Solution in a small problem with a nonlinear boundary condition for the heat equation in an expanding domain. *Izv.AN Kaz.SSR.-Ser.phys.-math.* 1977. №1. p. 41-46. (russian)
7. Kim E.I., Koilyshov U.K. Solution of the of heat conduction with a discontinuous coefficient and degenerate moving boundaries. *Izv.AN Kaz.SSR.-Ser.phys.-math.-1984. №3.-* p.35-39. (russian)
8. Kharin S.N. Thermal processes in electrical contacts and associated singular integral equations. dissertation of the candidate of physical and mathematical sciences. Almaty, 1968. 131 p. (russian)
9. Miller W.Jr. Symmetry and Separation of variables. University of Wisconsin Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1977. 342 p.
10. Tikhonov A.N. and Samarskii A.A. Equations of Mathematical Physics. M. Science, 1977. 736 p. (russian)

## **ЖЫЛУӨТКІЗГІШТІК ТЕНДЕУ ҮШІН ШЕКАРАСЫ ҚОЗҒАЛМАЛЫ ОБЛЫСТА БІР ШЕТТІК ЕСЕПТІҢ ШЕШІМІ**

**Ү.Қ.Қойлышов<sup>1</sup>, К.А.Бейсенбаева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> аль-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан,

<sup>2</sup> М.Тынышпаев атындағы Қазақ Көлік және Коммуникациялар Академиясы,

Алматы, Қазақстан

E-mail: koylyshov@mail.ru

**Аннотация.** Шекарасы қозғалмалы облыстағы параболалық типті теңдеулер үшін шекаралық есептер әдеттегі классикалық есептерден айтарлықтай ерекшеленеді. Облыстың өлшемі уақытқа тәуелді болғандықтан бұл типтегі есептерге жалпы жағдайда Фурьенің айнымалыларды жіктеу және интегралдық түрлендіру әдістерін қолдануға болмайды, себебі математикалық физиканың классикалық әдістерін қолдансақ, жылуөткізгіш теңдеудің шешімі жылутасымалдау облысының шекарасының қозғалысымен келіспейді. Бұл мәселенің шешімі көптеген отандық және шетелдік математиктердің зерттеу объектісі болып табылды.[1-8] Шекарасы қозғалмалы облыстағы жылуөткізгіш есептер көптеген авторлардың жұмыстарында қарастырылған.

Көптеген жұмыстар азғындалмаған облыстағы шекаралық есептерге арналған, оларда жылуөткізгіш теңдеу үшін жылу потенциалдар әдісі арқылы классикалық шешімнің бар болу сұрағы қарастырылған. Облыс азғындалған жағдайда тізбектеп жуықтау әдісі интегралдық теңдеудің шешімін табуға жарамайды. Мұндай типтегі интегралдық теңдеу сұйық контактілі жылу өрістерін зерттеу барысында [8] жұмыста алынған және онда практикалық есептердің шешімі ретінде қарастыруға болатын асимптотикалық шешімі табылған.

Берілген жұмыс шекарасы сызықты заң бойынша қозғалатын, бастапқы уақыт моментінде азғындалатын облыста жылуөткізгіштік теңдеу үшін бір шекаралық есептің шешімін зерттеуге арналған. Қойылған есептің сандық әдіспен шешуге қолдануға болатын айқын шешімі табылған.

**Кілттік сөздер:** жылуөткізгіш теңдеу, шекаралық есеп, қозғалмалы шекара, азғындалатын облыс, айқын шешім.

## THE SOLUTION OF ONE BOUNDARY PROBLEM FOR THE HEAT EQUATION IN A REGION WITH A MOVING BOUNDARY

U.K.Koylyshov<sup>1</sup>, K.A.Beisenabeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup> Kazakh Academy of Transport and Communications, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [koylyshov@mail.ru](mailto:koylyshov@mail.ru)

**Abstract.** Boundary-value problems for parabolic equations in domains with moving boundaries are fundamentally different from the classical parabolic equations.

Due to the dependence of the region size on time, the methods of separation of variables and integral transformations are not applicable to this type of problems in general case, since remaining within the framework of classical methods of mathematical physics, it is not possible to coordinate the solution of the heat conduction equation with the motion of the boundary of the heat transfer region.

The solving this problem has been the subject of research of many domestic and foreign mathematicians. These include work [1-8].

A large number of works are devoted to boundary-value problems in non-degenerate domains;

They considered the existence of classical solutions by the method of thermal potentials for both the heat conduction equation and for more general parabolic equations.

But if the region degenerates at the initial moment of time, then the method of successive approximations for solving integral equations cannot be applied. Since at the degeneration of the domain integral operators become special, that is, when they affect the constant and the upper limit tends to zero, they do not tend to zero.

Integral equations of this kind were obtained in [8], the study of the thermal field of liquid contact bridges and an asymptotic solution was found that can be used to solve practical problems.

This paper is devoted to the study of the first boundary value problem for the heat conduction equation with a discontinuous coefficient in the domain that degenerates at the initial moment of time when the boundary moves by linear law.

An explicit form of the solution of this problem is obtained, afterwards that can be applied for a numerical approximations.

**Keywords.** Heat equations, boundary problem, moving border, region degenerates, explicit solution

МРНТИ 44.31.35

**Орумбаев Р.К., Касимов А.С., Сейдалиева А.Б., Отынчиева М.Т.**

Некоммерческое АО «Алматинский университет энергетики и связи»,  
г.Алматы, Казахстан  
[orumbaevrk@mail.ru](mailto:orumbaevrk@mail.ru)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПИРАЛЬНЫХ ТУРБУЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

**Аннотация.** В работе представлены результаты испытаний по исследованию конструктивных решений интенсификации теплообмена в конвективной части водогрейных котлов малой мощности серии КВа, позволяющие повысить их эффективность. Представлены сравнительные экспериментальные результаты эффективного использования различных видов турбулизаторов в конвективной части на котлах серии КВа-400, КВа-500 и ВВ-400.

**Ключевые слова:** водогрейный котел, интенсификация теплообмена, витые и спиралевидные турбулизаторы.

### **Введение**

На сегодняшний день в Республике Казахстан существует явная потребность в автономных источниках теплоснабжения, ввиду политики развития городов и округов, фактического состояния централизованных источников выработки тепловой энергии и с учетом современной тенденции к снижению экологической нагрузки, использованию высокоэффективного и экологичного топлива (природный газ и дизельное топливо) [1].

В этой связи современный рынок энергетического машиностроения стремительно развивает спектр предлагаемой продукции, при этом превознося в качестве основных показателей – эффективность и экологические параметры. Так, следуя современным целям и задачам, на ведущем предприятии малого энергомашиностроения, ТОО «Казкотлосервис», ведется внедрение в производство новых эффективных водогрейных котлов серии КВа, конструкции которых учитывают все современные аспекты и рыночные вызовы.

Совместно с кафедрой ТЭУ Некоммерческого АО «АУЭС» на специализированной испытательной площадке ТОО «Казкотлосервис» были проведены межведомственные теплотехнические испытания с целью исследования способов интенсификации теплообмена в конвективной части водогрейных котлов серии КВа. В качестве объекта исследования выступили витые и спиралевидные вставки.

### **Методы и материалы**

Известно, что конвективные поверхности нагрева водогрейных котлов являются одними из наиболее металлоемких технических устройств. Будучи замыкающими поверхностями нагрева котла, конвективные поверхности определяют полноту утилизации тепла продуктов сгорания в котлах. Одновременно с этим они подвержены процессам низкотемпературной, а для водогрейных котлов и высокотемпературной коррозии, в результате чего существенно снижается межремонтный период и увеличиваются затраты металла на замену конвективных поверхностей нагрева [1,2]. Это обусловлено во многом низкой тепловой эффективностью топочных экранов котлов. В зависимости от вида сжигаемого топлива топочные экраны воспринимают 40 - 50 % от полного количества теплоты, получаемой рабочей средой в котле. Средний

эксплуатационный КПД водогрейных котлов в Республике Казахстан (РК) не превышает 88-89 % [2].

Повышение эффективности работы водогрейных котлов можно добиться увеличением восприятия радиационных поверхностей нагрева за счет применения двухцветных экранов и конвективных поверхностей нагрева за счет применения мембранных панелей, а для жаротрубных котлов – применением турбулизаторов различной конструкции в жаровых трубах.

На специализированной испытательной площадке ТОО «Казкотлосервис» были проведены теплотехнические испытания на трех котлах типа КВа-400 (с реверсной топкой), КВа-500 (с двухцветным экраном) и ВВ-400 (аналог зарубежного котла). Конструкция КВа-500, как модернизированного котла типа КВа-400 представлена на рис.1

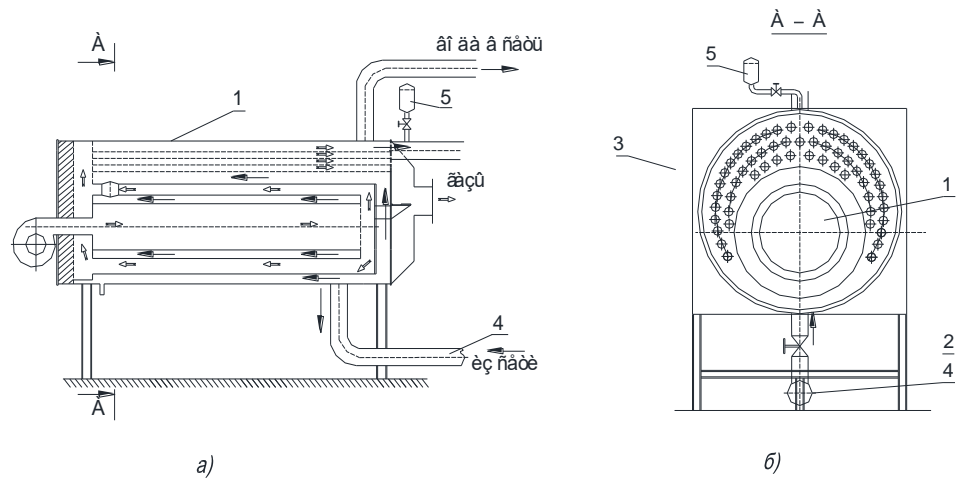


Рисунок 1 – Основные сечения котла КВа-500 с двухцветной топкой

(1 – двухцветная камера горения, 2 – жаровые трубы, 3 – внешний корпус котла, 4 – патрубок подвода воды, 5 – взрывной клапан)

В водогрейных котлах КВа-400, КВа-500 разработанных и изготовленных ТОО «Казкотлосервис», а также в котле ВВ-400 использованы новые конструктивные решения [3], а именно: для интенсификации конвективного теплообмена дополнительно в котле серии КВа внутри всех продольных жаровых конвективных труб устанавливаются излучатели – витые ленточные вставки и вставки спиралевидного типа из стальной проволоки, по рис.2 и рис.3.



Рисунок 2 – общий вид витых ленточных вставок, установленных в котел КВа-500



Рисунок 3 – процесс вставки спиралевидных вставок из стальной проволоки в жаровые трубы котла ВВ-400

Испытания проводились на трех котлах с переменным подключением к водяному контуру. Испытания проводились при работе котлов на дизельном топливе. При проведении испытаний поддерживались максимально идентичные условия проведения эксперимента; а также стабилизировался и поддерживался сравнительно одинаковый режим работы котла, без форсирования.

В таблице 1 приведены подробные расчетные характеристики стальных водогрейных котлов с жаровыми трубами КВа-400; КВа-500 с витыми ленточными вставками и ВВ-400 с пружинными винтовыми вставками, при работе на дизельном топливе. Сравнение расчетных характеристик с результатами теплотехнических испытаний водогрейных котлов КВа-400, КВа-500 и ВВ-400 показывает практическое совпадение расчетных параметров с результатами испытаний.



Таблица 1 - Расчетные сравнительные параметры водогрейных котлов КВа-400, КВа-500 и ВВ-400.

Наименование показателя	КВа-400	КВа-500	ВВ-400
1.Тепловая мощность, МВт	367,28	0,471	0,423(0,423)
2.Объем топки котла $V_t$ , м <sup>3</sup>	0,224	0,275	0,332
3.Общая поверхность нагрева, м <sup>2</sup>	12,59	14,82	13,34
4.Расход дизельного топлива, кг/ч	36,75	43,5	35,1
5.Расход воды через котел, т/ч	18,37	32,5	41,06
6. КПД котла: д. т. газ. анализ и разн. вставки	<b>88,6/88,6/87,6</b>	<b>88,49</b>	<b>89/88,4/93,4</b>
7.Число конвективных труб, n (шт)	38 (57×3,5)	38(57×3,5)	33 (48×4)
9.Радиационная поверхность, м <sup>2</sup>	2,246	2,679	2,55
10.Сечение для газов в конвек. м <sup>2</sup>	0,0745	0,0745	0,0414
11.Скорость газов в конвект. м/с	9,6	10,6	13,11
12.Коэфф.теплоотдачи, ккал/(м <sup>2</sup> ×°С)	26,4	28,2	36,8
13.Коэфф.теплопередачи,ккал/м <sup>2</sup> °С	32,9	33,5	39,3
14.Тепловое напряж. конв. ккал/м <sup>2</sup>	16844	18583	17711
15.Тепловое напряж. объема вт/м <sup>3</sup>	1,66×10 <sup>6</sup>	1,6×10 <sup>6</sup>	1,38×10 <sup>6</sup>
16.Отнош. поверх. к мощн, $\Sigma H / N$ , м <sup>2</sup> /МВт	34,3	31,46	31,5

В ходе проведенных испытаний было показано, что спиралевидные вставки из проволоки диаметром 6 мм в трубы с внутренним диаметром 40 мм имеют качественный эффект на повышение эффективности работы котла. В то же время, ленточные завихрители также дают эффект и отличаются большей стабильностью режимов работы котла. Однако, если стабильность режима при работе с ленточными завихрителями была определена ранее [4], то больший интерес представляют процессы интенсификации за счет вставки спиралевидных завихрителей. На основе полученных данных были проведены расчеты (сравнительные) для канала с спиралевидными вставками.

Фактически для каналов с большой абсолютной шероховатостью, свыше 1,3 мм, как следует из [5,6], исключается зависимость от числа Re. Практически на основе многочисленных экспериментов подтверждается правомочность режима автомодельности для больших чисел Re [5].

Из экспериментальных данных по статическому давлению на входе и выходе определим коэффициент гидравлического сопротивления для нашего эксперимента с трубой внутренним диаметром  $D = 40$  мм и спиралевидной вставкой из стальной проволоки диаметром 6 мм. Для нашего случая абсолютная шероховатость для трубы со спиралевидной вставкой составит  $k = 6$  мм, а относительная шероховатость составит  $D/k = 6,66$ . Полученные методом интерполяции коэффициенты  $C_2$  с использованием номограмм и графика [5] позволяют определить коэффициент сопротивления  $\zeta$ , которое с учетом логарифмирования будет иметь значение:  $\lg(1000\zeta) = 1,099$ , при числе  $Re = 10^4$  (для условий при испытаниях), с которого начинается автомодельный режим для труб с однородной шероховатостью [5].

Сравнение расчетного коэффициента гидравлического сопротивления 1,099 для спиралевидной вставки с шагом навивки  $l/D \approx 1,5$  и  $D/k = 6,66$ , показывает превышение его в **1,37** раза значение  $\lg(1000 \times \zeta) = 0,799$ , полученное для относительной однородной зернистой шероховатости  $1 - D/k = 30$ . Этот факт объясняется периодическим отрывом потока по всему периметру внутри трубы из-за спиралевидной проволоочной вставки и коррелирует с экспериментальными данными работ по изучению турбулентности [7, 8].

В то же время, определение коэффициента гидравлического сопротивления  $\zeta$  по формулам из [5,7] при отношении  $k/D = 0,15$  (обратная величина  $9 - D/k = 6,66$ ) и равномерной зернистой шероховатости приводит к величине  $\zeta = 0,022$ , что превышает значение  $\zeta = 0,0125$ , определенное по интерполяционной методике [5]. Это превышение коэффициента гидравлического сопротивления объясняется тем, что при равномерной зернистой шероховатости с  $k/d = 0,15$  (или  $D/k = 6,66$ ) по всему внутреннему периметру трубы на всей высоте  $k = 6,0$  мм пограничного слоя эта часть потока практически затормаживается и воздействует на ядро потока. Поэтому поток в целом испытывает большее гидравлическое сопротивление при равномерной зернистой шероховатости  $k/d = 0,15$ , а коэффициент гидравлического сопротивления равен  $\zeta = 0,022$ . Для спиралевидной вставки с диаметром проволоки  $d = 6$  мм. и с шагом навивки  $l/D = 1,5$  коэффициент гидравлического сопротивления, определенный по методике [5] составил  $\zeta = 0,0125$ . Коэффициент гидравлического сопротивления достаточно удовлетворительно совпадает с экспериментальными данными на реальных котлах и объясняется тем, что в пограничном слое высотой с диаметр проволоки  $d = 6$  мм внутри трубы практически остается свободное пространство для движения вихрей и части закрученного потока. Т.е. это пространство, в отличие от равномерной зернистой шероховатости, свободно и заполнено частью закрученной текущей среды и коэффициент гидравлического сопротивления  $\zeta = 0,0125$  выше точек  $1 - D/k = 30$ , с величиной абсолютных выступов шероховатости  $k = 1,33$ . Так как в данном случае ядро потока «разгружено» и часть закрученного потока перераспределяется в пространстве до внутренней стенки трубы не занятом проволокой диаметром 6 мм в виде спирали с шагом  $l/D = 1,5$ .

Результаты теплотехнических испытаний водогрейного котла ВВ-400 с конвективными трубами с внутренним диаметром 40 мм и спиралевидными вставками из проволоки диаметром 6 мм показали, что из холодного состояния водогрейный котел не удавалось запустить даже с имеющимся запасом напора автоматизированной горелки из-за большого аэродинамического сопротивления всей конвективной части. Полученные авторами и подтвержденные экспериментом расчетные данные по коэффициенту гидравлического (аэродинамического) сопротивления  $\lg(1000 \times \zeta) = 1,099$  прямых конвективных труб с внутренним диаметром 40 мм со спиралевидными вставками соответствуют скоростям потока газов в пределах 14 – 16 м/с со средней температурой газов порядка 400 - 500 °С и числами Рейнольдса в пределах от 6000 до 12000 или  $\lg Re$  от 3,8 до 4,0. Полученный в теплотехнических испытаниях котлов ВВ-400 и КВа-400 небольшой диапазон по числу Рейнольдса объясняется сравнительными испытаниями в строго ограниченном и выдержанном режиме в пределах заданной тепловой

производительности сравниваемых котлов и выполнения условий идентичности по газовому составу уходящих газов на всех исследуемых котлах.

При испытаниях водогрейного котла ВВ-400 все замеры производились только при одном геометрическом параметре спиралевидной вставки, а именно диаметр проволоки в спирали составил 6 мм, шаг навивки проволоки в спирали составил  $l/D \approx 1,5$ . В то время когда из предыдущих исследований [3] шаг навивки в спирали  $l/D$  имеет максимум по тепловой эффективности  $P_z$ , особенно при  $l/D = 3$ .

При этом учитывая аналогию Рейнольдса для развитого турбулентного режима течения в прямой трубе с большой абсолютной шероховатостью  $k = 6$  мм и известной величине коэффициента гидравлического сопротивления  $\zeta = 0,0125$ , представляется возможным получить зависимость числа Стантона  $St$ , т.е. оценить порядок коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  в комплексе из критериев  $Nu$ ,  $Re$  и  $St$ .

В данной модели за основу принималось отрывное течение по всему периметру внутреннего диаметра трубы, а также закрутка части отрывного потока находящегося в пределах за диаметром проволоки спиралевидной вставки и практически играющего основную роль как в основном вкладе в гидравлическое сопротивление, так и во вкладе в интенсификацию теплообмена. В пользу такого положения говорит факт существенного превышения толщины периодически проводимой по всему периметру отрывной области на всей длине трубы над толщиной зоны внешней области пограничного слоя, толщина которой составляет примерно  $3/4$  общей толщины всего пограничного слоя на стенке трубы [8].

Методика расчета коэффициента гидравлического сопротивления  $\zeta$  и коэффициента теплоотдачи  $St$  ( $\alpha$ ) в трубе с витой ленточной вставкой с разным углом закрутки основывается на экспериментальных работах [9] и [10]. Математическая модель и методика расчета основана на логарифмическом распределении профиля скорости для закрученного потока с поперечным сечением в форме полукруга. Результаты расчеты по модели сравниваются с экспериментальными результатами в определенном диапазоне числа Рейнольдса, температуры и разных углов закрутки витой ленточной вставки.

Результаты сравнения расчетных коэффициентов гидравлического сопротивления  $\zeta$  с экспериментальными результатами полученными в широком диапазоне по числу Рейнольдса, показывают удовлетворительное совпадение в пределах  $\pm 10$  % для исследованного угла закрутки спирали.

### **Выводы**

Отличительными особенностями зарубежных котлов являются современные системы автоматики. Однако сложным становится сервисное обслуживание и ремонт такого зарубежного оборудования из-за отсутствия доступных запасных частей к таким автономным системам, которые поставляются за отдельное финансирование. Это проявляется особенно существенно в период отопительного сезона, когда быстрая замена или ремонт котельного агрегата с автоматизированной горелкой могут стать проблемными (дорогостоящими). Поэтому наряду с высокой эффективностью,

автономностью следует учитывать показатель надежности и ремонтпригодности оборудования. Остальные технические параметры зарубежных образцов водогрейных котлов не представляют большого интереса. Длительная эксплуатация котлов серии КВа показывает простоту в их обслуживании, надежность и высокий уровень тепловой эффективности двухсветного экрана, с возможностью варьирования конструктивной схемой котла для эксплуатации при сжигании разных видов топлива.

Выполненный в работе анализ тепловых расчетов водогрейных котлов КВа-400; КВа-500 и ВВ-400 с исследованием коэффициента теплоотдачи при продольном течении в трубе с спиралевидными пружинного типа вставками, коэффициента теплопередачи, теплового напряжения объема топки с двухсветным экраном, теплового напряжения конвективной поверхности с ленточными витыми вставками, отношений поверхностей нагрева конвективной  $N_k$  и радиационной  $N_r$  по сравнению с тепловой производительностью  $N$  каждого из водогрейных котлов позволяет раскрыть механизм высокой тепловой эффективности, как двухсветных экранов, так и конвективных труб с витыми спиралевидными и витыми ленточными вставками.

В ходе испытаний были получены значимые положительные результаты по снижению температуры уходящих газов от 280 °С до 180 °С, при работе котлов КВа-400 и ВВ-400 на дизельном топливе со спиралевидными вставками. Но при этом, перед растопкой котла ВВ-400 потребовалось изъять все спиралевидные вставки из всех конвективных труб для возможности запуска котла и его прогрева.

Полученные новые экспериментальные результаты в испытательном центре ТОО «Казкотлосервис» будут использованы для проведения дальнейших исследований способов интенсификации теплообмена, и способствуют продолжению работ по построению математической модели течения среды в каналах с различными вставками, что позволит оптимизировать конструктивные решения и развить эффективность котлов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повышение эффективности и надежности газомазутных водогрейных котлов систем теплоснабжения. Монография /Орумбаев Р.К., Кибарин А.А., Коробков М.С., Ходанова Т.В.// Алматы: АУЭС, 2017.

2. Дукенбаев К.Д. Энергетика Казахстана и пути ее интеграции в мировую экономику. - Алматы: Гылым, 1996. -530 с.

3. Котельное оборудование [Официальный веб-сайт компании ТОО «Казкотлосервис»] // <http://kazkotloservis.kz> (дата обращения 10.06.2019г.)

4. R. Orumbaev, A. Volkov, V. Sergeev, A. Kibarin, T. Khodanova, M. Korobkov. Experimental and Model Researches of Hot-Water kVA Boilers of Heat Power up to 3.15 MW with Coaxial Double-Height Furnace Screen, Proceedings of The 7th International Conference & Workshop REMOO-2017, 10-12 May 2017, Venice/ Italy “Energy for Tomorrow”,- Get it Published, Germany, 2017, pp.28-38.

5. Рейнольдс А. Дж. Турбулентные течения в инженерных приложениях: Пер. с англ. – М.: Энергия, 1979. – 408 с., ил.

6. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – Изд. 5-е перераб. И доп. – М.: Атомиздат, 1979. 416 с.

7. И.О. Хинце. Турбулентность ее механизм и теория. Под редакцией Г.Н. Абрамовича. М., Гос. издательство физико-математической литературы. 1963. 680 с.
8. Скотт, Уэбб. Теоретическая модель для расчета коэффициента трения при турбулентном течении в канале с внутренними ребрами // Теплопередача, №3, 1981, с.19 - 26.
9. Красникова О.К. Показатели эффективности конвективных теплообменных поверхностей, Сб. докладов на 3-ей Всесоюзной научно-технической конференции «Криогенная техника -82», 1983 г., с. 13-19.
10. Исследование эффективности теплообмена при вынужденной конвекции в зависимости от формы канала, его характерного размера и свойств теплоносителя. Отчет НИР. №01840010493. О.К. Красникова. М., 1986 г. 128 с.

#### LIST OF REFERENCES

1. Povy`shenie e`ffektivnosti i nadezhnosti gazomazutny`x vodogrejnny`x kotlov sistem teplosnabzheniya. Monography /Orumbayev R.K., Kibarin A.A., Korobkov M.S., Khodanova T.V. // Almaty: AUPET, 2017.
2. Dukenbaev K.D. E`nergetika Kazaxstana i puti ee integracii v mirovuyu e`konomiku. - Almaty: Gy`ly`m, 1996. -530 p.
3. Boiler equipment [official website of «Kaztkotloservis» LLP] // <http://kaztkotloservis.kz> (date of reference: 10.06.2019г.)
4. R. Orumbaev, A. Volkov, V. Sergeev, A. Kibarin, T. Khodanova, M. Korobkov. Experimental and Model Researches of Hot-Water kVA Boilers of Heat Power up to 3.15 MW with Coaxial Double-Height Furnace Screen, Proceedings of The 7th International Conference & Workshop REMOO-2017, 10-12 May 2017, Venice/ Italy “Energy for Tomorrow”,- Get it Published, Germany, 2017, pp.28-38.
5. Reynolds, A.J. Turbulent flows in engineering: translated from Eng. – Moscow: E`nergiya, 1979. – 408 p., il.
6. Kutateladze S.S. Osnovy` teorii teploobmena. – Rev. and enl. Ed. 5 – Moscow.: Atomizdat, 1979. 416 p.
7. I.O. Xince. Turbulentnost` ee mexanizm i teoriya. Pod redakciej G.N. Abramovicha. M., Gos. izdatel`stvo fiziko-matematicheskoy literatury`. 1963. 680 p.
8. Skott, Ue`bb. Teoreticheskaya model` dlya rascheta koe`fficienta treniya pri turbulentnom techenii v kanale s vnutrennimi rebrami // Teploperedacha, №3, 1981, с.19 - 26.
9. Krasnikova O.K. Pokazateli e`ffektivnosti konvektivny`x teploobmenny`x poverxnostej, Sb. dokladov na 3-ey Vsesoyuznoj nauchno-texnicheskoy konferencii «Kriogennaya texnika -82», 1983, pp. 13-19.
10. Issledovanie e`ffektivnosti teploobmena pri vy`nuzhdennoj konvekcii v zavisimosti ot formy` kanala, ego xarakternogo razmera i svojstv teplonositelya. Research report. №01840010493. O.K. Krasnikova. M., 1986, 128 p.

**ТӨМЕНГІ ҚУАТТЫ СУ ЖЫЛЫТҚЫШ ҚАЗАНДАРДА КОНВЕКТИВТІ  
ЖЫЛУАЛМАСУДЫ ҚАРҚЫНДАТУҒА АРНАЛҒАН СПИРАЛЬДІ  
ТУРБУЛИЗАТОРЛАРДЫ ЗЕРТТЕУ**

**Орумбаев Р.К., Касимов А.С., Сейдалиева А.Б., Отынчиева М.Т.**

Коммерциялық емес АҚ «Алматы энергетика және байланыс университеті», Алматы,  
Қазақстан

orumbaevrk@mail.ru

*Аңдатпа.* Жұмыста тиімділікті жоғарлатуға мүмкіндік беретін, КВа сериялы төменгі қуатты су жылытқыш қазандардың конвективті бөлігіндегі жылуалмасуды қарқындалтуға арналған құрылымдық шешімдерді зерттеу бойынша сынау нәтижелері көрсетілген. КВа-400, КВа-500 және ВВ-400 сериялы қазандардың конвективті бөлігінде турбулизаторлардың бірнеше түрін тиімді қолданудың салыстырмалы тәжірибелік нәтижелері көрсетілген.

*Түйінді сөздер:* су жылытатын қазан, жылу алмасуды қарқындалту, оралған және спиральды турбулизаторлар.

**STUDY OF USING OF SPIRAL SWIRLER DEVICES FOR INTENSIFICATION OF  
CONVECTIVE HEAT TRANSFER IN HOT-WATER BOILERS OF SMALL  
CAPACITY**

**Orumbayev R.K., Kassimov A.S. , Seydalieva A.B. , Otunchieva M.T.**

Non-profit JSC «Almaty university of power engineering and telecommunication», Almaty,  
Kazakhstan

orumbaevrk@mail.ru

*Annotation.* The paper presents the results of tests on the study of design solutions of heat transfer intensification in the convective part of small capacity water boilers of the KVA series, allowing to increase their efficiency. The comparative experimental results of the effective use of different types of swirler devices in the convective part of the boilers KVA-400, KVA-500 and BB-400 series are presented.

*Keywords:* hot-water boiler, heat transfer intensification, twisted and spiral swirler devices

ӘОЖ 636

А.С. Асқарова<sup>1</sup>, С.А. Болегенова<sup>2</sup>, С.А.Болегенова<sup>3</sup>,  
Ш.С. Оспанова<sup>4</sup>, К.АҚасымова<sup>5</sup>, М.Н.Әділбек<sup>5</sup>

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

## ИННОВАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ЕНГІЗУДІҢ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

**Аңдатпа.** Жұмыста жылу энергетикасының маңыздылығы мен негізгі мәселелері айқындалды. Осы мәселелерді шешуде жылуэнергетикалық қазандық жабдықтарын өндірушілер үшін инновациялық даму міндетін орындау алға тартылды. Қазақстан Республикасының энергетикалық саласына экономикалық тұрғыдан талдау жүргізілді. Электр энергетикасы саласын дамытудың 2030 жылға дейінгі бағдарламасында электр энергиясын өндіру саласындағы энергияны үнемдеу саясатының бағыттары анықталды. Қазақстан Республикасында көмір өнеркәсібін дамыту жөніндегі іс-шаралар жоспары бойынша жасалып жатқан жұмыс барысы қарастырылды және статистикасы келтірілді. Қазақстанның көмірмен жұмыс істейтін жылу электр станцияларындағы негізгі шығын көздері сарапталып, жаңа инновациялық технологияларды енгізудің маңыздылығы айқындалды. Соған орай, ұсынылған техникалық шешімдерге сүйене отырып, тікелей электр тогының плазмотроны, қуат көзі (басқару блогымен тристор түрлендіргіші) және электротермохимиялық отын дайындау камерасынан тұратын жаңа энергетикалық жабдықтар әзірленді және өндірілді.

**Түйінді сөздер:** жану, жылу энергетикасы, электр энергетикасы, инновация, перспектива, технология.

Жылу энергетикасы әлемдік энергетиканың жетекші саласы болып табылады және ел экономикасының прогрессивті және тұрақты дамуына айтарлықтай әсер етеді. Жабдықтардың физикалық және моральдық тозуы, жылыту беттерінде даттардың қалыптасуы, жеткіліксіз оқшаулау, жылу режимінің бұзылуы, қазандықтарда экономайзерлердің болмауы, түтін шығардың тығыздалмауы, жылыту жүйелерінің төмен тиімділігі, қолданыстағы жанарғылардың жеткіліксіз пайдалану көрсеткіштерінің дұрыс болмауы, толық емес немесе уақтылы түзету жүргізілмеген оңтайлы жылу сұлбалары мен шешімдердің жоқтығы - осы факторлардың барлығы конструкцияланбаған қазандықтардың сипаттамасы. Жаңа қазандықтар пайдалануға берілсе де, қазіргі қазандықтардың 55% нақты және моральдық шаршаған деуге болады [1].

Осы мәселелерді шешуде жылуэнергетикалық қазандық жабдықтарын өндірушілер үшін инновациялық даму міндетін орындау алға тартылады.

Жылу энергиясының инновациялық дамуы мынадай негізгі міндеттерді шешу қажеттілігімен анықталады:

- электрмен жабдықтаудың тиімділігін арттыру және энергия шектеулерін төмендету;

- жылу электр станцияларының қоршаған ортаға теріс әсерін төмендету;
- өнеркәсіптік қауіпсіздікті қамтамасыз ету;
- еңбек өнімділігін арттыру және еңбек жағдайларын жақсарту;

- қолданыстағы өндіріс алаңдарын, тиісінше, иеленетін жер учаскелерін тиімдірек жабдықтарды орнату арқылы пайдалану тиімділігін арттыру;

- жөндеу жұмыстарының құнын төмендету.

2020 жылға дейін жылу және энергетика саласындағы техникалық саясаттың негізгі бағыттары қазіргі заманғы технологияларды және заманауи озық технологияларды енгізумен техникалық қайта жарақтандыру және қайта құру болып табылады [2].

Бұл салада екі негізгі қызмет топтары жүзеге асырылуы тиіс:

- жабдықты жаңғырту;

- ескірген және ескірген жабдықты ауыстыру арқылы техникалық қайта жарақтандыру құру.

Жабдықтарды жаңғыртуға келесілер кіреді:

- қуат блогының жылу схемасын жетілдіру;
- турбиналық қондырғыны жетілдіру;
- қазандық зауытының тиімділігін арттыру;
- қосалқы жабдықты жетілдіру.

Тозған және ескірген жабдықты ауыстыру арқылы техникалық қайта жарактандыру мен қайта құруды жүзеге асыру кезінде қолданыстағы конденсатын және жылыту жабдығын ауыстыру үшін мынадай негізгі талаптар сақталуы тиіс:

Газ майымен жұмыс істейтін жылу электр станциялары үшін:

- тиімділігі > 38% болатын 70/300 МВт сыйымдылығы бар жоғары тиімді газ турбиналарын енгізу негізінде 55/60% тиімділігі бар екілік типті ССGT;

- GTU - СНР.

Көмір электр станциялары үшін:

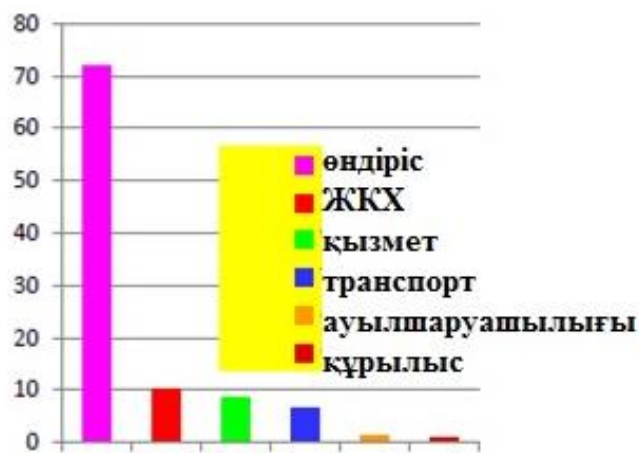
- Тікелей будың суперкритикалық параметрлері үшін қуат қондырғыларын енгізу ( $P_0 = 30/32$  МПа;  $t_0 = 600/620$  °С), тиімділігі = 45/47%;

- 90% тиімділігі бар ОКС-мен 200/300 МВт қазандықтарды енгізу;

- БГҚ-ны ҚҚҚ-мен (қысыммен қайнатылған қабат) немесе көмір газдандыруымен енгізу [3].

Қазақстан экономикасының негізі өте қуатты энергетикалық салалар болып табылады. Елдің жалпы энергия тұтынуында түрлі салалардың энергияны тұтыну құрылымы 1 суретте көрсетілген.

Энергия - бастапқы энергия көздерінің негізгі тұтынушысы. Жалпы бастапқы энергия тұтынудың 40 ÷ 50% электр және жылу энергиясын өндіруге жұмсалады.



1 сурет. Елдің жалпы электртұтытудағы үлесі, %

Электр энергиясының негізгі тұтынушысы - бұл энергетика саласының ең қарқынды тау-кен металлургия өнеркәсібі саласы.

1 сурет көрсеткендей, Қазақстанның өнеркәсібі энергияны көп қажет ететін өнеркәсіп болып табылады. Өнеркәсіптің, оның ішінде электр энергиясының үлесі елдің электр энергиясының 3/4 бөлігін құрайды.

Республиканың өнеркәсіптік кәсіпорындарының көпшілігінде ескірген технологиялар қолданылып, айтарлықтай дәрежелі киім тозығы бар жабдықтарды пайдаланатындығын атап өту керек. Бүкіл елде энергияны нақты тұтыну Еуропалық Одаққа қарағанда үш есе артық. Бұл дегеніміз, республика ЖІӨ бірлігіне үш есе көп энергия қажет. Сондықтан жабдықты жаңғыртудың қажеті зор, себебі ескірген жабдықтар мен ескі технологиялар - энергия шығындарының бір көзі болып табылады. Электр және жылу энергиясын тиімсіз және тиімсіз пайдалану оның ЖЭО-да, ГРЭС-де және сәйкесінше экологиялық жағдайдың нашарлауына әсер етеді [4].



Қазақстан Республикасының Индустрия және жаңа технологиялар министрлігі 2020 жылға дейін еліміздің көмір өнеркәсібін дамытуға 4,14 млрд. АҚШ долларын инвестициялауды көздеп отыр. Министрліктің мәліметінше, инвестициялар еліміздің көмір өндіруін 2020 жылға қарай 145 млн тоннаға дейін ұлғайтуға бағытталатын болады.

1 кестеде халықтың 2030 жылға қарай 20% -ға өсуі қазіргі деңгейде болады, ал ЖІӨ екі есеге артады. Сондай-ақ, өнеркәсіптік емес өндіріс көлеміне өнеркәсіптік тұтынудың 53% өсуі және өнеркәсіптік емес сектордың тек 37% ғана өнеркәсіптік тұтынудың өнеркәсіптік тұтынуға қатынасы 2,25-тен 2-ге дейін төмендейді. - бүкіл халық үшін индустриалды энергияны тұтыну халыққа (13% -ға) ұлғаяды, алайда қызығушылықпен айта кету керек, барлық тұрғын аудан үшін (м2) тұтыну көлемі, бұл адамға 13%. Бұл ЖІӨ-нің 1000 доллары үшін жыл сайынғы тұтыну көлемінің артуымен бірге, 2030 жылға қарай тиімділікті арттырудың маңыздылығын білдіреді.

1 кесте. Қазақстанда жылу энергиясын пайдаланудың нақты көрсеткіштері [5]

Indicators	2000	2010	2020	2030
Халық, млн адам	14,9	15,7	18,2	19,2
ЖІӨ, \$ млрд	18,3	41,3	70,0	85,0
Жалпы жылуды пайдалану (миллион ГДж), оның ішінде:	630,3	797,9	1003	1137
Өнеркәсіптік	143,3	245,3	334,4	376,2
Өнеркәсіптік емес	486,9	552,6	668,8	760,7
Арнайы өнеркәсіптік емес жылу:				
ГДж/ж халыққа	32,7	35,2	38,8	39,7
ГДж/ж м <sup>2</sup>	2,0	1,84	1,67	1,5
ГДж/ж адам басына	67,7	79,4	91,9	104,5
Құны, ГДж/ж \$1000 ЖІӨ шаққанда	34,4	19,3	14,3	12,7
Бір адамға тән жылуды пайдалану, ГДж/ж	43,5	50,9	55,1	190

Қазақстанның көмірмен жұмыс істейтін жылу электр станцияларында қатты отынның 15 түрі (көмір және қоңыр көмір) өртелді. Олардың негізгі түрлері - Екібастұз көмірі - 75,3, Қарағанды - 8,6, Борлинский - 7,3, Куу - Чекинский - 4,1 және Кузнецкий - 2,9% ЖЭО зауытында өртенген. Бұл көмірлердің жылу сипаттамалары әртүрлі: күл мөлшері 10-дан 48% дейін, ылғалдылығы 5-тен 37% -ке дейін, ұшпа шығу 22-дан 48,5% -ке дейін, ал жанудың жылу мөлшері 3100-ден 5465 ккал / кг-ға дейін өзгереді.

Республикадағы көмірмен жұмыс істейтін электр станциялары шамамен 26 млн. қазба отыны, оның ішінде 2 млн. газ мазутының, оның нақты мазут 1.08 миллион тонна стандартты отын болып табылады. Осылайша, Қазақстандағы көмірлі қазандықтардағы мазуттың орташа тұтыну көлемі жалпы отын шығынын 4,2% құрайды. Көмірленген электр станцияларының отын тұтынуын бөлуді талдау нақты станциялардағы үлесі олар үшін отынның жалпы тұтынуының 0,42-ден 34,4%-на дейін өзгеріп отырды.

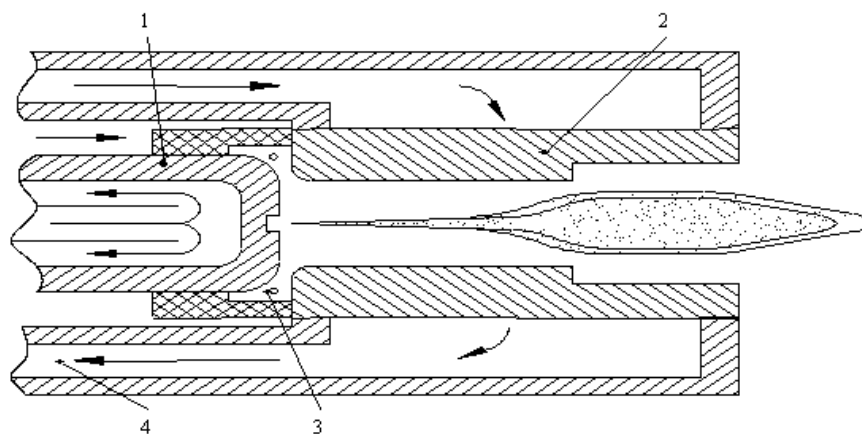
Жылытқыш қазандықтарды мұнайға жатпайтын технологияға көшіру және шойынды көмір алауына назар аудара отырып, тапшыландырылған мазутты үнемдеуге қосымша, экономикалық факторлар жаңа технологиямен мазутпен ауыстырылатын жылу майы мен көмірге бағаның арақатынасымен анықталады. Соңғы жылдардағы энергия бағасының өсу үрдісі Екібастұз көмірінің құнын мысалында оңай байқалады. Ресей ғылым академиясының Энергетикалық зерттеулер институтының бағалауы бойынша, Қазақстанда отын бағасы арта бермек.

Энергетикалық жүйелердің қазіргі заманғы дамуы пульверирленген жылу электр станцияларында (ЖЭС) жетілмеген мазутты пайдалануды азайту және сапасы барлық жерде төмендейтін қатты отындардың кеңеюімен сипатталады, бұл қатты отындардың реактивтілігінің төмендеуіне, қазандықтардың пештерінде жануы мен күйіп кетуіне алып келеді.

Төмен сапалы көмірлерді жағу кезінде мазутты тұтынуды азайтудың белгілі әдістері көмірмен жұмыс істейтін жылу электр станцияларында сұйылтылған отынды тұтынуды айтарлықтай төмендету мәселесін, әсіресе кейбір жағдайларда доминантты болып табылатын мұнай құятын қазандықтар кезеңінде шешпейді.

Жоғарыда айтылғандардан, ЖЭС-да қазандықтарды мұнайсыз жылытуға түбегейлі жаңа плазмалық технологияларды жасау және іске асыру қатты жанармай қондырғыларының техникалық және экономикалық көрсеткіштерін арттыратын ғылыми-техникалық мәселе болып табылады.

Ұсынылған техникалық шешімдерге сүйене отырып, тікелей электр тогының плазмотроны (2 сурет), қуат көзі (басқару блогымен тристор түрлендіргіші) және электротермохимиялық отын дайындау камерасынан тұратын жаңа энергетикалық жабдықтар (3 сурет) әзірленді және өндірілді.



1 - катод; 2 - анод; 3 - сақина айналатын плазмалық ауа; 4 – корпус

2 сурет. Тәжірибелік плазмотронның сызбасы



1 - қыздырғыштар; 2 - негізгі қыздырғыш; 3 - плазмалық шамдарды электрмен қамтамасыз ету жүйесі; жабдықтау жүйелері: 4 - көмір шаңы, 5 - қайталама ауа, 6 - сығылған ауа, 7 - салқындатқыш су; Өлшеу қондырғылары: 8 - плазмотрондарда ток пен кернеу, 9 - плазмалық ауа ағынының қысымы, 10 салқындатқыш су, 11 – көмір алау температурасы

3 сурет. Тәжірибелік өндірістік қондырғының схемасы

Жасалған плазмалық-энергетикалық қондырғы Өскемен ЖЭО қазандықтарында Кузнецк, Қарағанды және Шұбаркөл көмірлерін өртеп жіберді. Белгілі ЖЭС зауытында плазма майсыз желілерін индустриалды дамыту нәтижесінде алынған тәжірибелік тәжірибе Өскемен ЖЭО-ның басқа да энергетикалық қондырғыларында (BKZ-320 және TPE-430A (500)) қолданылуы мүмкін.

Теориялық есептеулер мен ұқсастық критерийлерінде жинақталған эксперименталды деректердің нәтижелері 500 кВт дейінгі қуаты бар плазматрмен электр плитасы бар және Қазақстанның басқа энергетикалық жүйелерінің ЖЭС-терінде плазмалық технологияларды тарату арқылы СРБ параметрлерін есептеу үшін пайдаланылуы мүмкін [6].

Технологиялық бақылаудың тиімділігін арттырудың бір әдісі - бұл модельді алдын-ала бақылау әдісі (MPC не МАБ). Модельдік болжамды басқару реттелетін және бақылау айнымалыларына қатысты шектеулер болған жағдайда, айнымалы параметрлерге ие көп өлшемді жүйелер мен жүйелерді қоса алғанда, түрлі жүйелердің басқару тапсырмалары бойынша операциялық өнімділікті жақсартуға мүмкіндік береді. MPC технологиясы бастапқыда өңдеу өнеркәсібі үшін әзірленген.

Қазіргі уақытта жылу энергиясындағы процестерді басқару саласында MPC алгоритмдерінің өнеркәсіптік сенімді нұсқаларын қамтамасыз ететін бірқатар коммерциялық пакеттер бар. Олардың ішінде Honeywell (AES - Advanced Energy Solutions), MathWorks (Model Predictive Control Toolbox), EUTech Scientific Engineering (EUcontrol).

Шешімді қолданудың артықшылықтары:

- жану процестерін 1-4% оңтайландыру арқылы қазандықтардың тиімділігін арттыру;
- жанармайдың нақты шығынын 0,25-3,5%-ға төмендету;
- жөндеу шығындарын 3-7% төмендету;
- NO<sub>x</sub> шығарындыларын 8-40%-ға төмендету;
- күлдегі күлдің көмірінің үлесін 1-5%-ға дейін азайту;
- отын сапасының өзгеру режимдерін тиімді тұрақтандыру;
- өндірістің жалпы тиімділігін 2-3%-ға арттыру;

- сыйымдылықты арттыру мүмкіндігі.
- Жобаның негізгі кезеңдері:
- технологиялық ақпарат жинау;
  - техникалық-экономикалық аудит;
  - процестің математикалық моделін құру;
  - модельді ұстау;
  - бақылаудың және қадағаланудың зерттелуі;
  - оңтайландыру критерилерін қалыптастыру және бекіту (ТСК есептеу әдісі);
  - процестің жұмыс істеуі мен басқару стратегияларын әзірлеуге қойылатын талаптарды қалыптастыру;
  - реттеушіні және байқаушыны жобалау;
  - озық менеджмент жүйесін орнату;
  - ОЭС негізіндегі өнімділік сипаттамаларының мониторингі және оңтайландыру нәтижелерін растау;
  - жобаны қолдау [7].

Технологиялық инновациялар жаңа жетілдірілген өнім немесе қызмет түрі, жаңа технологиялық үдеріс немесе практикада пайдаланылатын қызметтерді беру тәсілі ретінде көрсетілген инновацияның соңғы нәтижесін қамтиды. Біздің еліміздің экономикалық саясатында экономикалық секторларды әртараптандыру, шикізатты тиімді пайдалану арқылы өндіріс пен шикізат секторының дамуын теңдестіру және бәсекеге қабілетті экспортқа бағдарланған жоғары өнімді өнімдерді өндіруді жеделдету және сервистік бағытталған ұзақ мерзімді кезеңге көшу үшін жағдай жасау арқылы басымдықтар: экономика. Осы міндеттерді іске асыру Қазақстан Республикасының индустриялық-инновациялық дамуының мемлекеттік бағдарламасында маңызды болып табылады [8].

### **ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ (REFERENCES)**

1. Baxter J., Bian Z., Chen G. Nanoscale design to enable the revolution in renewable energy// *Energy and Environmental Science*. - 2009. Vol. - 2. P. 559–588.
2. Sabrassov Y., Kerimray A., Tokmurzin D., Tosato G., de Miglio R. Electricity and heating system in Kazakhstan: exploring energy efficiency improvement paths // *Energy Policy* – 2013; - P. 431-444.
3. Leithner, R., Müller H. CFD studies for boilers // *Second M.I.T. Conference on Computational Fluid and Solid Mechanics – Cambridge, 2003*. - P.172.
4. Askarova A., Bekmuhamet A., Bolegenova S., Maximov V., Beketayeva M., Ospanova Sh. Influence degree of turbulence on heat-and-mass transfer in the combustion chamber // *16<sup>th</sup> International Symp. on Appl. Laser Techniques to Fluid Mechanics*. – Lisbon, Portugal, 2012. – P. 1-8.
5. Wang S., Faghri A., Bergman T. L. A comparison study of sensible and latent thermal energy storage systems for concentrating solar energy power applications// *Numerical Heat Transfer - Part A*. 2012. – Vol. 61. – P. 890–871.
6. Weimar W. W. Solar thermal chemical processing challenges and commercial path forward// *Current Opinion in Chemical Engineering*. – 2012. – Vol. 1. – P. 211–217.
7. A. Isekeshv. Communication of Ministry of Industry and New Technology Kazakhstan’s energy policy, renewable energy sources and energy efficiency// *International Astana Economic Forum – Astana – 2012*.
8. National concept transition to green economy up to 2050// *Decree of the President of the Republic of Kazakhstan dated February 20 – 2013*.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Аскарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Оспанова Ш.С., Касымова К.А.**

*Аннотация.* В работе были определены основные проблемы и значимость теплоэнергетики. В решении этих проблем было решено выполнение задачи инновационного развития для производителей теплоэнергетического котельного оборудования. Проведен экономический анализ энергетической отрасли Республики Казахстан. В программе развития электроэнергетической отрасли до 2030 года определены направления политики энергосбережения в сфере производства электроэнергии. Рассмотрен и приведена статистика проводимой работы по плану мероприятий по развитию угольной промышленности в Республике Казахстан. Проанализированы основные источники потерь на угольных электростанциях Казахстана и определены важность внедрения новых инновационных технологий. В связи с этим, исходя из представленных технических решений, разработано и произведено новое энергетическое оборудование, состоящее из плазматрона прямого электрического тока, источника питания (преобразователя тристора с блоком управления) и электротермохимической камеры подготовки топлива.

**Ключевые слова:** горения, теплоэнергетика, электроэнергетика, инновация, перспектива, технология.

## **PROSPECTS OF INTRODUCTION OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES**

**A. Askarova, S. Bolegenova, S. Bolegenova, Sh. Ospanova, K. Kassymova**

*Annotation.* The paper identified the main problems and importance of heat power engineering. In solving these problems, it was decided to perform the task of innovative development for manufacturers of thermal power boiler equipment. The economic analysis of the energy industry of the Republic of Kazakhstan. The program of development of the electric power industry until 2030 defines the directions of energy saving policy in the field of electricity production. The statistics of the work carried out on the action plan for the development of the coal industry in the Republic of Kazakhstan is considered and given. The main sources of losses in coal-fired power plants of Kazakhstan are analyzed and the importance of the introduction of new innovative technologies is determined. In this regard, based on the presented technical solutions, new energy equipment consisting of a direct electric current plasma torch, a power source (a tristor Converter with a control unit) and an electrothermochemical fuel preparation chamber has been developed and manufactured.

**Key words:** combustion, heat power, electricity, innovation, perspective, technology.

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

CSCSTI: 29.01

**K. Askaruly<sup>1</sup>, S. Azat<sup>2,3</sup>, M. Yeleuov<sup>1,2</sup>, T. Azamat<sup>2</sup>, B. Sarsembaeva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>The Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

### THE MODERN ANODE WITH HIGH CAPACITY FOR LI-ION BATTERIES

**Abstract.** Today, more and more manufacturers prefer to produce Li-Ion-batteries with a graphite negative electrode, since they are able to provide a higher load current and less heat during charging-discharging than other batteries. The theoretical capacity of carbon materials (~370 mA·h/g) is inferior to the capacity of silicon about 10 times and due to its theoretically specific capacity of ~ 3500 mA·h/g for the Li<sub>15</sub>Si<sub>4</sub> phase at room temperature. However, conventional Si-anodes are still limited in practical applications, since Si exhibits a strong change in volume (~300%) during lithiation and *delithiation*. And in this article we describe review about correlation between the microstructural parameters and the electrochemical properties of conventional and new types of materials for Li-ion batteries. The basic scientific theory can contribute to the further development of Li-ion batteries for consumer electronics, multimedia technologies, and future hybrid and electric vehicles.

**Key words:** Li-ion batteries, capacity, charge/discharge, electrode, electrolyte.

#### Introduction

An ideal battery of energy still does not exist, in different areas for each type of electronics and devices and specific solutions there was a certain specificity of the use of power sources, as well as technological preferences. The type of battery is determined by the materials used. The following are distinguished: Cn-Po, NiCd, NiMH, La-Ft, Li-Ion (3.2-4.2 V), Li-Co (3.6 V), LiCoO<sub>2</sub>, Li-Po (3.7 V), Li-Ft, Li-Mn - (3.6 V), etc. [1,2] Technologies are constantly evolving, and Li-ion has replaced traditional NiCd and NiMH batteries. With approximately the same weight of one element, they have a greater capacity than the batteries discussed above (exceeding NiCd by 4-5, and NiMH by 3-4 times), and give a higher voltage on one element. The name "lithium-ion" batteries were obtained because metallic lithium in the system is absent, and the electric current in the external circuit is provided by the transfer of lithium ions from the anode to the cathode (most often LiCoO<sub>2</sub>, LiNiO<sub>2</sub>, LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) [3]. Along with the rapid technological progress, the demand for electrical products with energy-efficient lithium-ion batteries, such as electric vehicles Metals and energy storage devices, has increased. But the performance of batteries is mainly determined by the performance of three main components: the cathode, the anode and the electrolyte. The capacity of the cathodes has already reached the theoretical limit, and much effort for further improvement is directed to alternative materials such as Si-based, instead of for existing graphite-based anodes [4].

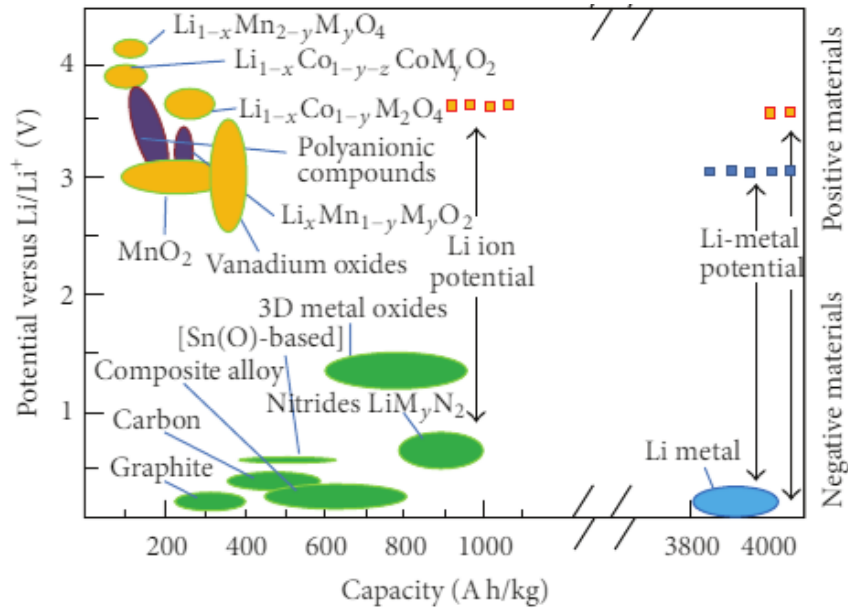


Figure – 1. Comparing some anode materials [5]

When choosing a particular type of battery from a consumer point of view, the following characteristics [6] are taken into account: Capacity, (Ampere/hour); voltage, (volt); allowable depth of discharge (%); Service life, (years); Operating temperature range, (°C); Self-discharge, (%); Dimensions, (mm); Weight, (kg); Charge current, (A).

The advantages of Li-ion batteries are not only higher capacity, but also the ability to work with a high load current [7]. In addition, unlike nickel metal hydride batteries, Li-ion batteries lack a so-called memory effect. However, specialized batteries are quite expensive, and finding the right battery for sale is still much more difficult than standard-format batteries.

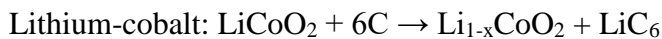
*Advantages*

- High energy density - potential for yet higher capacities.
- Does not need prolonged priming when new. One regular charge is all that's needed.
- Relatively low self-discharge - self-discharge is less than half that of nickel-based batteries.
- Low Maintenance - no periodic discharge is needed; there is no memory.
- Specialty cells can provide very high current to applications such as power tools.

*Limitations*

- Requires protection circuit to maintain voltage and current within safe limits.
- Subject to aging, even if not in use - storage in a cool place at 40% charge reduces the aging effect.
- Transportation restrictions - shipment of larger quantities may be subject to regulatory control. This restriction does not apply to personal carry-on batteries.
- Expensive to manufacture - about 40 percent higher in cost than nickel-cadmium.
- Not fully mature - metals and chemicals are changing on a continuing basis.

*Electrochemical circuits of lithium-ion batteries:*



In the process of charging the battery, lithium cations, which have the highest negative potential compared to any other metals (-3.045 V relative to the standard hydrogen electrode) and the smallest ion size, move and effectively reversibly intercalate into the anode material.

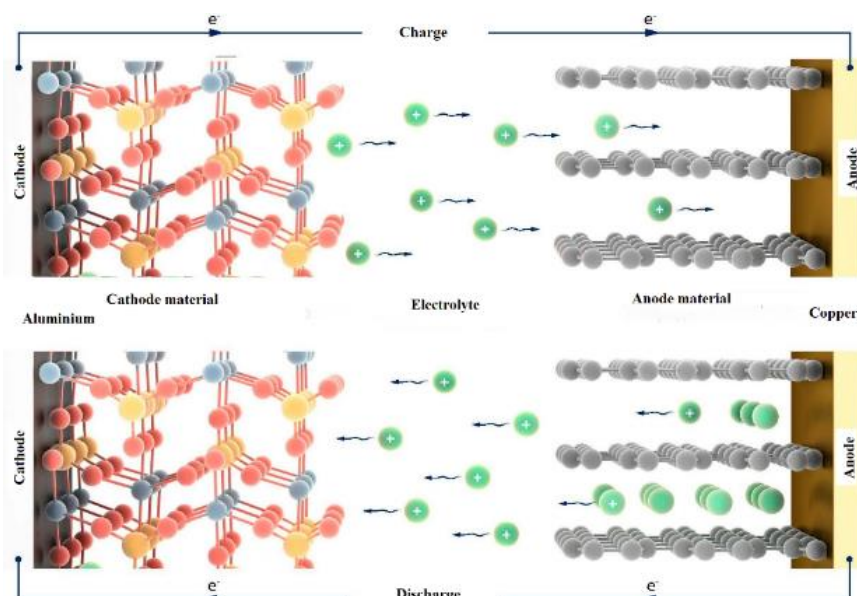


Figure – 2. Process of charging and discharging the battery

Due to the nanostructure of the cathode material in the process of discharging the battery, lithium ions are able to intercalate reversibly effectively into the crystal lattice of this dielectric to a depth of ~50 nm. This cathode structure provides high battery efficiency and over ~3000 charge-discharge cycles.

Chemistry	Voltage	Energy Density	Working Temp.	Cycle Life	Safety	Environmental	Cost based on cycle life x wh of SLA
LiFePO <sub>4</sub>	3.2V	>120 wh/kg	-0-60 °C	>2000	Safe	<b>Good</b>	0.15-0.25 lower than SLA
Lead acid	2.0V	> 35wh/kg	-20 - 40°C	>200	Safe	Not good	1
NiCd	1.2V	> 40wh/kg	-20 - 50 °C	>1000	Safe	Bad	0.7
NiMH	1.2V	>80 wh/kg	-20 - 50 °C	>500	Safe	<b>Good</b>	1.2-1.4
LiMn <sub>x</sub> Ni <sub>y</sub> Co <sub>z</sub> O <sub>2</sub>	3.7V	>160 wh/kg	-20 - 40 °C	>500	Unsafe without PCB or PCM, better than LiCo	OK	1.5-2.0
LiCoO <sub>2</sub>	3.7V	>200 wh/kg	-20 - 60 °C	> 500	Unsafe without PCB or PCM	OK	1.5-2.0

Table – 1. Some types of batteries and characteristics [8]

*Lithium-ion batteries based on silica anodes*

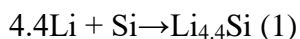


There are three types of Li-Ion cells on the market today, based on the chemistry of cathode materials. Among the cell, Li-ion LiCoO<sub>2</sub> types have the highest energy density and most of them use the most popular cell in the market. LiFePO<sub>4</sub> and LiMnNiO<sub>4</sub> cells are still in development.

Active anode materials	Theoretical capacity (mAh/g)	Advantage	Common problems
Insertion/de-insertion materials			
A. Carbonaceous			
a. Hard carbons	200-600	➤ Good working potential	❖ Low coulombic efficiency
b. CNTS	1116	➤ Low cost	❖ High voltage hysteresis
c. Graphene	780/1116	➤ Good safety	❖ High irreversible capacity
B. Titanium oxides			
a. LiTi <sub>4</sub> O <sub>5</sub>	330	➤ Extreme safety	❖ Very low capacity
b. TiO <sub>2</sub>	175	➤ Good cycle life	❖ Low energy density
		➤ Low cost	
		➤ High power capability	
Alloy/de-alloy materials			
a. Silicon	4212	➤ Higher specific capacities	❖ Large irreversible capacity
b. Germanium	1624	➤ High energy density	❖ Huge capacity fading
c. Tin	993	➤ Good safety	❖ Poor cycling
d. Antimony	660		
e. Tin oxide	790		
f. SiO	1600		
Conversion materials			
a. Metal oxides(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , CoO, Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , Mn <sub>x</sub> O <sub>y</sub> , Cu <sub>2</sub> O/CuO, NiO, C <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , RuO <sub>2</sub> , MoO <sub>2</sub> /MoO <sub>3</sub> etc.)	500e1200	➤ High capacity	❖ Low coulombic efficiency
		➤ High energy	❖ Unstable SEI formation
		➤ Low cost	❖ Large potential hysteresis
		➤ Environmentally compatibility	❖ Poor cycle life
b. Metal phosphides/sulfides/nitrides (MX <sub>y</sub> ; M ¼Fe, Mn, Ni, Cu, Co etc. and X ¼P, S, N)	500e1800	➤ High specific capacity	❖ Poor capacity retention
		➤ Low operation potential and Low polarization than counter oxides	❖ Short cycle life
			❖ High cost of production

Table – 2. Most common anode materials used for lithium-ion batteries

Especially silicon-based anode material has the highest theoretical capacity (~4200 mAh/g, table 2) than other materials but silicon-based anode materials usually suffer from large volume change during the charge and discharge process, leading to subsequent pulverization of silicon, loss of electric contact, and continuous side reactions [9]. Their advantages and disadvantages are compared with emphasis on synthesis difficulties, electrochemical stability, faradaic performance and security issues. At the moment, researchers are trying to solve such problems. The alloy forming reaction between ‘Si’ and ‘Li’ takes place when 4.4 atoms of Li combine with one atom of Si which is represented by the equation:



The volume increase of the product is 3.7 times that of the reactants.

Jin-Young So, Sang-Hyun Moon and etc. [0], to improve battery capacity and capacity retention they use laser patterning method for spontaneous formation of a multiscale structure on the Cu surface and in this multiscale structure was doped Si using RF-magnetron sputtering. The electrochemical properties of the Si electrodes were evaluated using coin-type cells. Results shows the laser irradiation also increase the battery capacity to 3763 mAh g<sup>-1</sup>, which was 2814 mAh g<sup>-1</sup> higher than the capacity of the battery prepared with the bare Cu current-collector (396.52% improvement).

#### *Lithium-ion batteries based on graphite anodes*

Nowadays, lithium-ion technologies employ various forms of graphite or graphitized carbon for the negative electrodes. Attempts are being made to achieve in practicality, and then to further exceed graphite’s specific capacity (372 mAh g<sup>-1</sup>).

On graphite, at the very first charge, a protective layer of decomposed electrolyte, called the SEI (Solid Electrolyte Interface), is formed. The exact mechanism of its formation and composition has not yet been fully studied, but it is known that without this unique passivating layer, the electrolyte would continue to decompose at the anode, the electrode would collapse, and the battery would become unusable. Thus, the first working anode based on carbon materials appeared, which was put on sale as part of lithium-ion batteries in the 1990s.

The stoichiometry of the formed interlayer carbon compounds corresponds to interstitial compounds of type XC<sub>24</sub>, XC<sub>18</sub>, XC<sub>12</sub>, XC<sub>6</sub>, where X is an implanted atom (Li). For example, XC<sub>18</sub> means that the three aromatic carbon rings have one atom of the implanted substance. Besides their excellent mechanical and electrical properties, they also provide high surface area to anchor the active materials directly. In this way, the direct and strong attachment of active materials onto the carbon substrates not only improves the charge transfer process, but also maintains the structural integrity under physical deformations

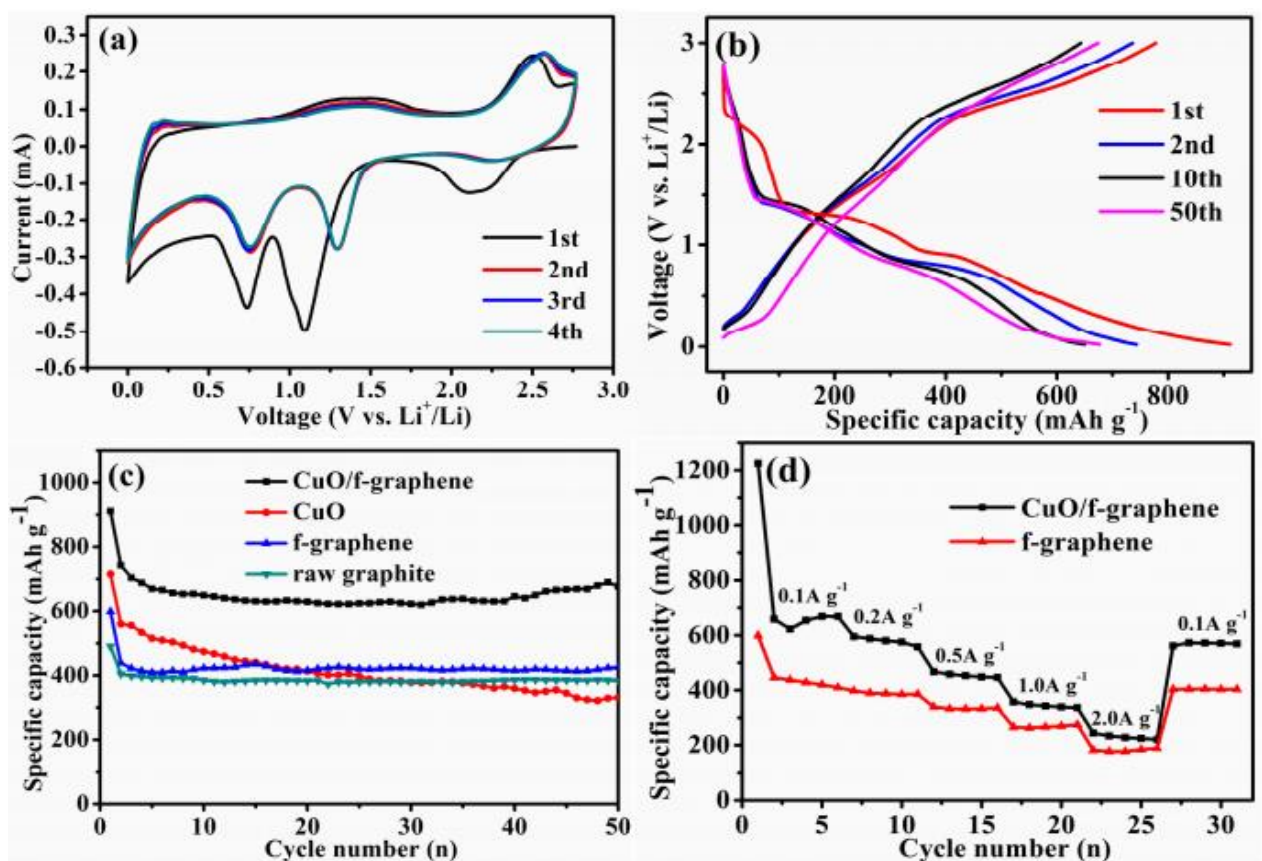


Figure – 4. Shows the cycle performance of raw graphite, pure CuO, the f-graphene and the CuO/f-graphene composite at the current density of 100 mA g<sup>-1</sup> (battery test example) [11].

Currently, carbon based materials from 0.1–10 μm are the choice for lithium storage in Li-ion batteries. Nanotubes confer a high mobility to ion exchange processes, a fundamental for dynamic response of batteries based on lithium intercalation. For instance, recent experimental results have shown that it is possible to charge single wall carbon nanotubes up to one lithium for every three carbons and higher [12]. Lithium capacities of crude material have been determined experimentally to exceed 600 mAh/g [13].

### Conclusion

Regardless of the type of cathode and anode for each lithium-ion battery, there are such problems as overheating and overcooling, overcharging and too deep discharge, as well as the problem of internal short circuit. However Lithium-ion batteries have the highest energy density among all types of batteries. The properties of lithium-ion batteries largely depend on the materials from which the cathode and anode are made, depending on the type of materials used, there are several types of lithium-ion batteries, differing in their characteristics. For each type of lithium-ion battery, there are modes of operation that can cause the battery to ignite, the most common causes of ignition being — overheating, overcooling, overcharging and deep discharge. The main internal mechanisms that lead to the ignition of batteries are the deposition of lithium on the anode and the formation of lithium dendrites from the cathode to the anode, as well as the interaction of the anode material with the electrolyte, the result of which is the release of gas.

### REFERENCES

1. Bouwmeester, H. J., & Gellings, P. J. (1997). *The CRC handbook of solid state electrochemistry* (No. 544.6 CRC).
2. [https://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion)
3. Madian M., Eychmüller A., Giebeler L. Current advances in TiO<sub>2</sub>-based nanostructure electrodes for high performance lithium ion batteries //Batteries. – 2018. – Т. 4. – №. 1. – С. 7.
4. Shen P. K. et al. *Electrochemical energy: advanced materials and technologies*. – CRC Press, 2016.
5. Liu, Yu & Yang, Yefeng. (2016). Recent Progress of TiO<sub>2</sub> -Based Anodes for Li Ion Batteries. *Journal of Nanomaterials*. 2016. 1-15. 10.1155/2016/8123652.
6. Zhang Y. et al. Parameters Identification and Sensitive Characteristics Analysis for Lithium-Ion Batteries of Electric Vehicles //Energies. – 2017. – Т. 11. – №. 1. – С. 19.
7. Deng D. Li-ion batteries: basics, progress, and challenges //Energy Science & Engineering. – 2015. – Т. 3. – №. 5. – С. 385-418.
8. <https://www.batteryspace.com/LiFePO4/LiFeMnPO4-Batteries.aspx>
9. Kun Feng, Matthew Li, Wenwen Liu, Ali Ghorbani Kashkooli, Xingcheng Xiao, Mei Cai, and Zhongwei Chen. Silicon-Based Anodes for Lithium-Ion Batteries: From Fundamentals to Practical Application. *Small* 2018, 1702737. [doi.org/10.1002/sml.201702737](https://doi.org/10.1002/sml.201702737)
10. Jin-Young So, Sang-Hyun Moon, Min-Cheol Kim, Si-Jin Kim, Sang-Beom Han, Chan-Ho Lee, Ji-Eun Kim, Hyun-Jee Kim, Joonha Jun, Ki-Young Song, Kyung-Won Park and Won-Gyu Bae. Stress Dispersed Cu Metal Anode by Laser Multiscale Patterning for Lithium-Ion Batteries with High Capacity. *Metals* 2018, 8, 410; doi:10.3390/met8060410
11. Zhang, J., Wang, B., Zhou, J., Xia, R., Chu, Y., & Huang, J. (2017). Preparation of advanced CuO nanowires/functionalized graphene composite anode material for lithium ion batteries. *Materials*, 10(1), 72.
12. Meunier, Vincent & Kephart, Jeremy & Roland, Christopher & Bernholc, J. (2002). Ab Initio Investigations of Lithium Diffusion in Carbon Nanotube Systems. *Physical review letters*. 88. 075506. 10.1103/PhysRevLett.88.075506.
13. Yang, Z., Wu, H. Q., & Simard, B. (2002). Charge–discharge characteristics of raw acid-oxidized carbon nanotubes. *Electrochemistry communications*, 4(7), 574-578.

## СОВРЕМЕННЫЙ АНОД С ВЫСОКОЙ ЕМКОСТЬЮ ДЛЯ ЛИТИЙ - ИОННЫХ БАТАРЕЙ

К. Аскарулы<sup>1</sup>, С. Азат<sup>2,3</sup>, М. Елеуов<sup>1,2</sup>, Т. Азамат<sup>2</sup>, Б. Сарсембаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Институт проблем горения, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup> Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

**Аннотация.** Сегодня все больше и больше производителей предпочитают выпускать литий-ионные аккумуляторы с графитовым отрицательным электродом, поскольку они способны обеспечить более высокий ток нагрузки и меньше тепла во время зарядки-разрядки, чем другие батареи. Теоретическая емкость углеродных материалов ( $\sim 370 \text{ мА} \cdot \text{ч} / \text{г}$ ) уступает емкости кремния примерно в 10 раз и обусловлена теоретически удельной емкостью  $\sim 3500 \text{ мА} \cdot \text{ч} / \text{г}$  для фазы  $\text{Li}_{15}\text{Si}_4$  при комнатной температуре. Однако обычные Si-аноды по-прежнему ограничены в практических применениях, поскольку Si демонстрирует сильное изменение объема ( $\sim 300\%$ ) во время заряд и разряд. И в этой статье мы описываем обзор о корреляции между микроструктурными параметрами и электрохимическими свойствами обычных и новых типов материалов для литий-ионных батарей. Основная научная теория может способствовать дальнейшему развитию литий-ионных аккумуляторов для бытовой электроники, мультимедийных технологий и будущих гибридных и электрических транспортных средств.

**Ключевые слова:** литий-ионные аккумуляторы, емкость, заряд/разряд, электрод, электролит.

## ЛИТИЙ – ИОНДЫ БАТАРЕЯЛАРҒА АРНАЛҒАН СИЙЫМДЫЛЫҒЫ ЖОҒАРЫ ЗАМАНАУИ АНОД

Қ. Асқарұлы<sup>1</sup>, С. Азат<sup>2,3</sup>, М. Елеуов<sup>1,2</sup>, Т. Азамат<sup>2</sup>, Б. Сарсембаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup> Жану проблемаларының институты, Алматы, Қазақстан

<sup>3</sup> Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

**Аннотация.** Бүгінгі таңда, өндірушілердің көбі Li-Ion-аккумуляторларын теріс электродын графиттен өндіргісі келеді, өйткені олар басқа аккумуляторларға қарағанда зарядтау кезінде зарядтау кезінде жоғары жүктемелік ток пен аз қызуды қамтамасыз ете алады. Дегенмен көміртекті материалдардың теориялық сыйымдылығы ( $\sim 370 \text{ мА} \cdot \text{сағ} / \text{г}$ ) кремнийдің сыйымдылығынан 10 есе төмен және бөлме температурасында  $\text{Li}_{15}\text{Si}_4$  фазасы үшін оның теориялық сыйымдылығы  $\sim 3500 \text{ мА} \cdot \text{с} / \text{г}$ . Қазіргі Si-анодтар практикалық қолдануда әлі де шектеулі, себебі Si ( $\text{SiO}$ ) -те заряд және разряд кезінде көлемді өзгерісті көрсетеді ( $\sim 300\%$ ). Осы мақалада литий-иондық аккумуляторлар үшін әдеттегі және жаңа материалдардың микроструктуралық параметрлері мен электрохимиялық қасиеттері арасындағы байланыс туралы шолуды сипаттайды. Негізгі ғылыми теория тұтынушылар электроникасына, мультимедиялық технологияларға және болашақ гибридік және электромобильдерге арналған литий - ионды батареяларын одан әрі дамытуға ықпал ете алады.

**Түйінді сөздер:** литий-ионды батареялар, сыйымдылық, заряд/разряд, электрод, электролит.

ӘОЖ.621.313.333:658.562

Қ.О. Қожамбердиев, Ғ.Б. Бақыт, М. Кылват

М. Тынышбаев атындағы Қазақ көлік және коммуникациялар академиясы

## АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ ЖАТЫҚ ІСКЕ ҚОСУ СҰЛБАЛАРЫНА ЗЕРТТЕУ ЖҮРГІЗУ

**Андамна.** Бұл мақалада қуаты үлкен жоғары вольтті асинхронды қозғалтқыштарды жатық іске қосу тәсілдері қарастырылған. Жекелей алғанда, векторлық-импульстік басқару мен кернеу реттегіштердің негізіндегі жатық іске қосу құрылғылары қарастырылып отыр. Бүгінгі таңда қымбат тұратын жиіліктік іске қосуға жалғыз ғана альтернатива болып жұмсақ іске қосу жүйелерін қолдану табылады. Сондықтан өнеркәсіптік кәсіпорындардың энергетика қызметтері үшін өзекті мәселе асинхронды қозғалтқыштар үшін іске қосудың өз бойында жиіліктік іске қосудың жақсы техникалық сипаттамаларын және жұмсақ іске қосу жүйелерінің төмен құнын үйлестірген альтернативалы тәсілін іздестіру және енгізу болып табылады. Векторлық-импульстік басқару принципін іске асыру және кернеуді жоғары жиілікті импульстік модуляцияның көмегімен ретке келтіру техникалық тұрғыдан алғанда айтарлықтай күрделі міндеттер болып табылады.

**Түйінді сөздер:** асинхронды қозғалтқыш, жатық іске қосу, сұлба, жартылай өткізгіш аспаптар.

Қазіргі кезде өнеркәсіптік кәсіпорындарда электр қозғалтқыштарды іске қосу мәселесін бірнеше тәсілмен шешеді:

жұмсақ іске қосуды пайдалану;

асинхронды іске қосу;

жиіліктік іске қосу.

Қосылған қоздыру орамасы бар қозғалтқыштарды тоқтың айтарлықтай лақтырылуларына, жатық іске қосуды жүргізуге мүмкіндік беретін жалғыз тәсіл жиіліктік іске қосу болып табылады. Алайда, бұл тәсілді техникалық іске асыру жиілікті түрлендіргіштердің, әсіресе жоғары вольтті түрлендіргіштердің жоғары құнымен қиынға соғады. Қорек көзінің (түзеткіш-инвертор) құндық және салмақ-габариттік көрсеткіштері нақты синхронды қозғалтқыш осыған қатысатын технологиялық процесті шектеу жағынан ғана экономикалық тұрғыдан ақталуы мүмкін.

Бүгінгі таңда қымбат тұратын жиіліктік іске қосуға жалғыз ғана альтернатива болып жұмсақ іске қосу жүйелерін қолдану табылады. Электр қозғалтқышты жатық (соққысыз, жұмсақ) іске қосудың артықшылықтары мыналардан тұрады:

желіге тікелей қосу әдісімен іске қосу кезінде пайда болатын механикалық электрмагниттік және гидравликалық соққылы жүктемелерге жол берілмейтіндіктен, агрегаттардың жұмысының сенімділігі артады;

іске қосу тогы белгіленген шектеумен жатық артады;

электр қозғалтқыштарды іс жүзінде шектеусіз іске қосу және тоқтату санын іске асыру мүмкіндігі пайда болады;

үлкен жеке қуаты бар электр қозғалтқыштарды қуаты шектеулі газ-турбиналы және дизельді электрстанцияларынан іске қосу мүмкіндігі қамтамасыз етіледі;

агрегаттардың қызмет ету мерзімі мен жөндеуаралық аралықтардың ұзақтығы көбейеді;

қозғалтқышты іске қосу режимінде желідеші кернеудің терең отырып қалуларына жол берілмейді және желіге қосылған басқа электр қуатын пайдаланушыларды электрмен жабдықтаудың сенімділігі артады.

Бүгінгі таңда қозғалтқыштарды жатық іске қосу өшірілген қоздыру орамасымен бәрінен жиі жүргізіледі, бұл кезде іске қосудың барлық тәсілдері пайдаланылады. Ең кең таралған тәсіл болып әртүрлі кернеуді реттегіштердің көмегімен статордағы кернеуді жатық арттыру табылады. Бұл тәсілдердің негізгі кемшілігі іске қосу сәтінің айтарлықтай төмендеуі болып табылады. Онымен қоса, айналудың синхрондының маңайындағы жиілігіне жеткен және қоздыру орамасын қосқан кезде, желімен синхрондандыруда қиындықтар туындайды.

Сондықтан өнеркәсіптік кәсіпорындардың энергетика қызметтері үшін өзекті мәселе асинхронды қозғалтқыштар үшін іске қосудың өз бойында жиіліктік іске қосудың жақсы техникалық сипаттамаларын және жұмсақ іске қосу жүйелерінің төмен құнын үйлестірген альтернативалы тәсілін іздестіру және енгізу болып табылады.

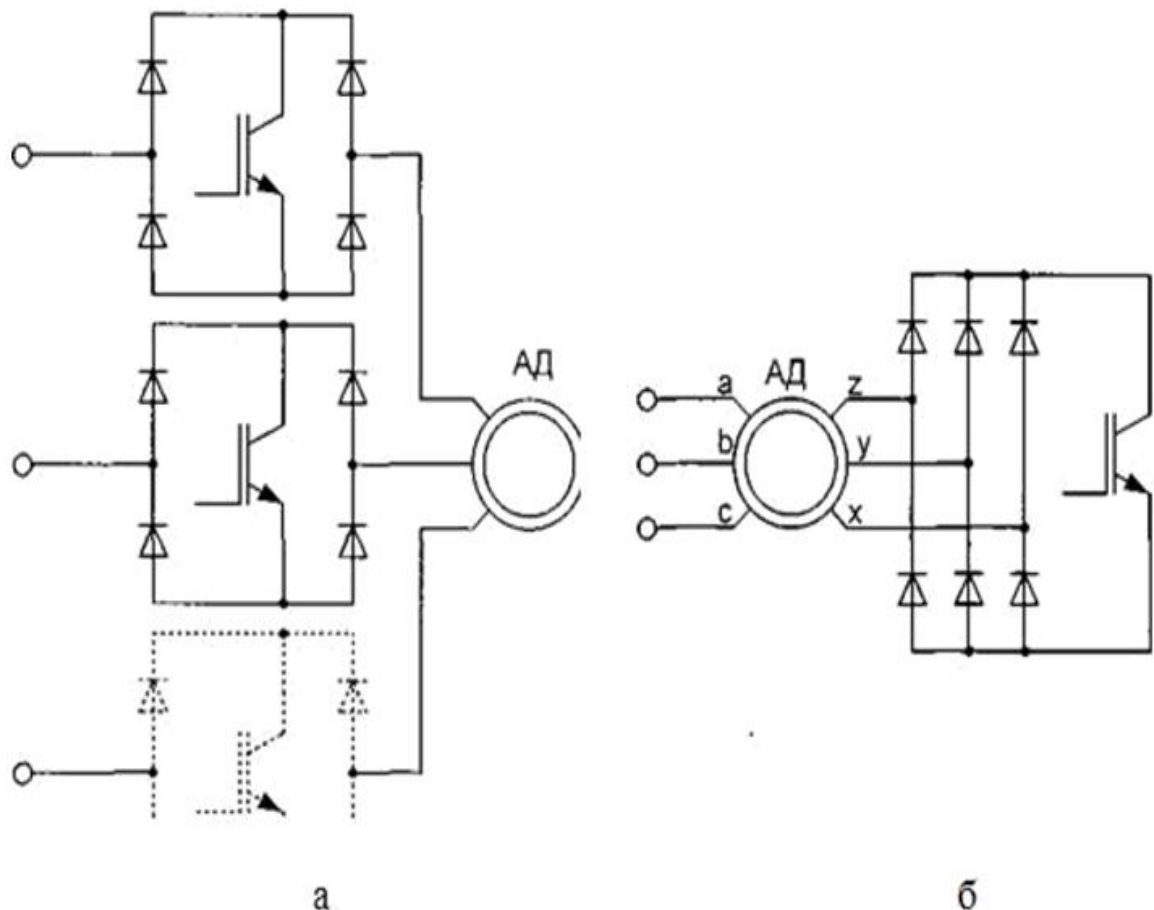
Есептеу техникасының және жартылай өткізгіш техниканың дамуымен, айнымалы ток машиналарының ағымдағы координаталарын санаудың әртүрлі кеңістіктік өстерінде бақылау және басқару мүмкіндігі пайда болды. Бұл электр қозғалтқышты басқарудың салыстырмалы қымбат тұрмайтын базадағы күрделі алгоритмдерін іске асыратын интеллектуалдық жүйелерін жасауға мүмкіндік береді.

Іске қосу сәтін арттыру (токтың лақтырылулары болмаған кезде) электр жетек үшін маңызды міндеттердің бірі болып табылады. Осы міндетті шешуге амалдардың бірі іске қосу кезінде қозғалтқыш орташа сәтін арттыру үшін айнымалы таңбалы сәттің оң жартылай толқындарын пайдалану болып табылады. Бұл әдістің мәнісі келесіден тұрады. Қозғалмайтын электр жетекті желіге қосқан кезде сәттің екі құрамдас бөлігінің –негізгі (мәжбүрлі) және айнымалы таңбалы құрамдас бөлігінің пайда болуына алып келетін өтпелі процесс пайда болады, әрі сәттің өтпелі құрамдас бөлігінің амплитудалық мәндері, негізгі сәттің мәнінен бірнеше есе асып түсетін мәндерге ие болуы мүмкін. Егер статордың барлық фазаларын желіге қосуды бір мезгілде, қысқа уақытқа, оң таңбаның өтпелі сәтінің пайда болуын қамтамасыз ететін белгілі бір бастапқы жағдайлары кезінде жүргізсе, ал роторды желіден өтпелі сәт теріс болғанға дейін өшірсе, онда өтпелі (оң) сәт негізгі сәтпен жиынтықталады және орташа сәтті статордың тоғын арттырусыз көбейтеді. Векторлық-импульстік іске қосу [1] деген атау алған осы принципті іске асыру әрекеттері айтарлықтай баяғыда жасалған болатын. Алайда, толығымен басқарылатын жоғары вольтті жартылай өткізгіш күштік беретін аспаптардың және АҚ бастапқы электрмагниттік шарттарын есептеу бойынша үлкен есептеу жұмысын нақты уақыт режимінде орынлап шығуға қабілетті басқару жүйелерінің болмауы осы тәсілді практикалық іске асыруды қиындатып келді. Сондықтан қуатты қозғалтқыштарды векторлық-импульстік басқару тәсілінің негізінде қарапайым техникалық құралдармен шешу міндеті өзекті міндет болып табылады.

Векторлық-импульстік басқару принципін іске асыру және кернеуді жоғары жиілікті импульстік модуляцияның көмегімен ретке келтіру техникалық тұрғыдан алғанда айтарлықтай күрделі міндеттер болып табылады. Статор орамасының барлық фазалары тек желіге бір мезгілде қосылуға ғана емес, одан бір мезгілде ажыратылуға да тиіс, бұл орамалардың коммутациясы үшін толығымен басқарылатын күштік аспаптарының қолданылуын талап етеді. Дәстүрлі тиристорлы схемалар, осы әдісті іске асыру үшін пайдаланыла алғанымен де, басқаруға және коммутацияға үлкен шығындардың пайда болуына алып келеді. Орамаларды бір мезгілде қосу және ажырату мәселесі толығымен басқарылатын тиристорлар - GCT, IGCT және күштік беретін транзисторлар IGBT секілді қазіргі заманғы күштік беретін жартылай өткізгіш аспаптардың көмегімен ғана оңай шешіле алады [2]. Алайда, бұл компоненттердің жоғары құны олардың санын барынша қысқартатын коммутация схемаларын іздестіруді талап етеді. Күштік схемасын таңдап алумен қатар, векторлық-импульстік басқаруды іске асырған кезде өзіне күштік кілттерін коммутациялық асқын кернеулерден қорғауды, транзисторларды тізбектей қосудың

есебінен немесе трансформаторлық схемалардың көмегімен жатық іске қосудың жоғары вольтті құрылғыларды құру мүмкіндігін, ротордың және статордың ағын іліністері векторларының қалыптарын есептеу және күштік кілттерін басқару алгоритмдерін жасауды қосатын міндеттердің тағы бір қатарын шешу қажет болады.

Әдебиеттерде транзисторлардағы айнымалы токтың күштік кілттерінің бірнеше нұсқасы кездеседі [3-4]. Құрамдастырылған іске қосу жүйесіне қатысты алғанда, кілт АҚ (асинхронды қозғалтқыш) барлық фазаларының желіге бір мезгілде қосылуын және ажыратылуын қамтамасыз етуге тиіс. 1, а суретте көрсетілген схемада әр фазада диодты-транзисторлы кілт бар. Әрі әрбір кілтте транзистор диод көпірінің бір диагоналіне, ал жүктеме – басқа диагоналіне транзистор арқылы ток әрқашан бір бағытта өтетіндей, ал жүктеме арқылы айнымалы ток өтетіндей етіп қосылған. Екі кілт те (толық фазалы емес сызбанұсқа) статордың орамаларының бір мезгілде қосылуын және ажыратылуын қамтамасыз ететіндіктен, «С» фазасында кілт міндетті болып табылмайды. Толық фазалы емес сызбанұсқада кілттердің бірі ойылған кезде, қозғалтқыштың екі фазасы желіге тікелей қосылған болып шығатындықтан, қосымша кілт апаттық оқиғалар жағдайында қозғалтқышты толығырақ қорғау үшін қолданылуы мүмкін.



1 сурет –АҚ құрамдастырылған іске қосу құрылғысының күштік беру схемасының нұсқалары

Picture 1- AM it is a variant of the power transfer scheme of the combined starting device.

Күштік схемасының ең қарапайым нұсқаларының бірі айнымалы токтың үш фазалы жүктемесін үш фазалы диодты көпірдің айнымалы тогының жағында қосылған күштік транзисторымен коммутациялау тәсілінің негізінде алынуы мүмкін (1, б сурет). Бұл кезде

асинхронды қозғалтқыштың статорының орамалары линиялық сымды үзуге қосылады, яғни оларда фазалардың (a, b, c) басталулары да, аяқталулары да (x, y, z) қол жетімді болуға тиіс, бұл қуаты үлкен АҚ үшін қабылданбайтындай болуы мүмкін. Осындай сызбанұсқақымбат тұратын күштік кілттерінің санын барынша азайтуға және олардың жоғары вольттісызбанұсқаларда қосылуының тізбектейгінің қарапайымдығын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді [5].

Күштік схемасының ең жарамды нұсқасын тандап алу үшін, ұсынылған схемалардың негізгі сипаттамаларын қарастырып шығайық және артықшылықтары мен кемшіліктерін салыстырайық. Күштік схемаларының негізгі электрлік сипаттамалары 1 кестеде, ал артықшылықтары мен кемшіліктері – 2 кестеде келтірілген.

1 кесте – АҚ жатық іске қосу құрылғыларының күштік беру бөлігінің негізгі ара қатынастары және параметрлері

Table 1 - key relationships and parameters of the power supply portion of the AC start-up devices

Параметрлері	1а суреттегі сызбанұсқа	1б суреттегі сызбанұсқа
Күштік транзисторларының саны	3(2)	1
Диодтардың саны	12(8)	6
Диодтағы кері кернеудің максималды мәні	$U_{обр\ max} = \sqrt{2}U_{I\Phi}$	$U_{обр\ max} = \sqrt{2}U_{I\Phi} = \sqrt{3} * \sqrt{2}U_{I\Phi}$
Диодтың максималды тікелей тогы	$I_{max} = \sqrt{2}I_{\Phi\ max}$	$I_{max} = \sqrt{2}I_{\Phi\ max}$
Диодтың орташа тікелей тогы	$I_{CP} \approx 0,35 * I_{max}$	$I_{CP} \approx 0,24 * I_{\Phi\ max}$
Транзистордың максималды тогы	$I_{K\ max} = I_{max}$	$I_{K\ max} = 1,05I_{max}$
Транзистордағы коммутацияланатын кернеу	$U_{кЭ\ max} = \sqrt{2}U_{I\Phi} \approx 1,41 * U_{I\Phi}$	$U_{кЭ\ max} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_{I\Phi} \approx 2,34 * U_{I\Phi}$

1 және 2 кестелердегі мәліметтерді талдау 1а суретте көрсетілген сызбанұсқа фазалық орамаларының ұштарының сыртқа шығарылған өткізгіштері жоқ, қуаты орташа және үлкен электр қозғалтқыштар үшін қолданыла алады деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді. 1,б суреттегі схеманы қуаты аз электр қозғалтқыштар үшін, сондай-ақ жоғары вольттіқозғалтқыштар үшін қолданған ойға қонымды болады. Жоғары вольтті сызбанұсқаларда схеманы тандау үшін анықтаушы фактор болып күштік беретін жартылай өткізгіш аспаптардың аз саны табылады, өйткені олардың құны айтарлықтай үлкен және кей кездері бір транзистордың орнына, коммутацияланатын кернеуді арттыру үшін, бірнеше транзисторды тізбектей қосу қажет болады. Бұл параметр бойынша құрамында бар болғаны 1 транзистор және 6 диод бар 1,б суреттегі сызбанұсқа барлық қалғандарынан асып түседі.

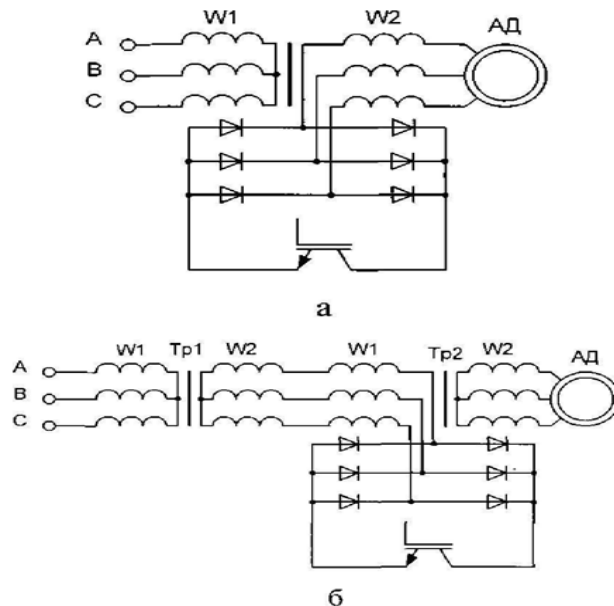
Онымен қоса, үш фазалы диодты көпірдің негізінде құрамдастырылған іске қосу құрылғыларының трансформаторлық схемаларын іске асыруға болады (2 сурет).



2 кесте – Күштік сызбанұсқаларының артықшылықтары мен кемшіліктері

Table 2 - Advantages and disadvantages of the power scheme

Көрсеткіштер	1,а суреттегі сызбанұсқа	1,б суреттегі сызбанұсқа
Артықшылықтары	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Транзистор коммутациялайтын кернеу мен токтың көбірек мәні</li> <li>2. Қозғалтқыштың орамалары жұлдызшамен немесе үшбұрышпен байланысады, статордың орамасының фазаларының ұштарын шығару қажет емес</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Күштік беретін жартылай өткізгіш аспаптардың минималды саны</li> <li>2. Олардың жоғары вольтті схемаларда тізбектей қосылуының қарапайымдығы</li> </ol>
Кемшіліктері	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Күштік беретін жартылай өткізгіш аспаптардың көбірек саны</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Коммутацияланатын кернеудің және токтың үлкен шамасы</li> <li>2. Қосудың қиындығы (фазалардың басталуарын да (а, b, c), аяқталуларын да (x, y, z) шығару қажет).</li> </ol>



2 сурет –АҚ құрамдастырылған іске қосу құрылғыларының трансформаторлық схемалары  
Picture 2- JSC Transformer combined start circuits

2,а суреттегі схема АҚ жеке үш фазалы трансформатордан қоректендірген кезде қолданыла алады. Бұл кезде статор орамасының фазаларының ұштарын шығару қажет болмайды. 2, б сур. схема (аралық трансформаторлармен) жоғары вольтті электр қозғалтқыштар үшін қолданыла алады. Транзисторлық кілт бұл схемада төмен кернеу жағында қосылған, бұл төмен вольтті транзисторларды қолдануға және құрамдастырылған іске қосу құрылғысының бағасын төмендетуге жағдай жасайды.

Іске қосудың құрамдастырылған тәсілін эксперименталды зерттеу үшін 4A100L4У3 қозғалтқышы бар, қуаты 4 кВт және номиналды айналу жиілігі 1430 айн/мин зертханалық

қондырғы жобаланды. Зертханалық қондырғыда қуаты шағын қозғалтқыш қолданылатындықтан, онда күштік схемасының базалық нұсқасы ретінде 1, б суреттегі сызбанұсқа пайдаланылды. Іске қосудың ұсынылған тәсілін практикада іске асыру үшін, күштік схемасын таңдап алудан өзге, тағы бірқатар мәселелердің басын ашып алу керек, әрі олардың ең маңыздыларының бірі күштік кілтін асқын кернеулерден қорғау болып табылады.

## ӘДЕБИЕТ

- [1] Колпаков А. Н. Перспективы развития электропривода // Силовая электроника, 2004, №1.
- [2] Денисов К., Ермилов А., Карпенко Д. Способы управления машинами переменного тока и их практическая реализация на базе компонентов фирмы Analog Devices. - Chip News, 1997, №7-8.
- [3] Копылов И. П., Клоков Б. К. Справочник по электрическим машинам [Текст]. В 2 томах. Т. 1. / И. П. Копылов, Б. К. Клоков.- М.: Энерго-атомиздат, 1988. - 456 с. - ISBN 5-283-00500-3.
- [4] Соловьев Д. Б. Математическое моделирование синхронного двигателя карьерного экскаватора // LIBRARY.FENTU.RU: Научная библиотека ДВГТУ им. В.В. Куйбышева, 2004. URL: [http://librarv.fentu.ru/index.php?option=com\\_reader&cat=fentu\\_vologdin\\_2005ov&Itemid=21&numPdf=1&dwl=1](http://librarv.fentu.ru/index.php?option=com_reader&cat=fentu_vologdin_2005ov&Itemid=21&numPdf=1&dwl=1) (дата обращения: 14.03.2010)
- [5] Field Oriented Control of 3-Phase AC-Motor. - LN: BPRA073, Texas Instruments, 1998.

## REFERENCE

- [1] Kolpakov A.N. Perspektivy razvitiya elektroprivoda // Sylovaya elektronika, 2004, №1. [In Russian: Spedding Kolpakov A. N. Prospects for the development of the electric drive // Power Electronics, 2004, №1.]
- [2] Denysov K, Ermylov A., Karpenko D. Sposoby upravleniya mashinami peremennogo toka i ich prakticheskaya realizatsiya na baze komponentov firmy Analog Devices – Chip News, 1997, №7-8. [In Russian: Spedding Denisov K., Ermilov A., Karpenko D. Methods for controlling AC machines and their practical implementation on the basis of components from Analog Devices. - Chip News, 1997, # 7-8.]
- [3] Kopylov I.P., Klokov B.K., Spravochnik po elektricheskim mashinam. Klokov.M: Energo-atomyzdat, 1988. [In Russian: Spedding Kopylov I. P., Klokov B. K. Handbook of electric machines [Text]. In 2 volumes. V. 1. / I.P. Kopylov, B.K. Klokov.- M.: Energo-atomizdat, 1988. - 456 p. - ISBN 5-283-00500-3.]
- [4] D. B. Soloviev Matematicheskoe modelirovanie sinkhronnogo dvigatelya kar'ernogo ekskavatora. // LIBRARY.FENTU.RU. [In Russian: Spedding D. B. Soloviev. Mathematical Modeling of a Synchronous Engine of a Mine Excavator // LIBRARY.FENTU.RU: FESTU Scientific Library. V.V. Kuibyshev, 2004.]

## **ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ СХЕМ ПЛАВНОГО ПУСКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

**Қ.О. Кожамбердиев, Ғ.Б. Бақыт, М. Кылват**

Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева

*Аннотация.* В этой статье рассмотрены способы плавного пуска высоковольтных асинхронных двигателей большой мощности. В частности, устройства плавного пуска на основе регуляторов напряжения с векторно-импульсным управлением. На сегодняшний день единственной альтернативой дорогостоящему запуску является использование систем плавного пуска. Поэтому ключевым вопросом для энергосервисов промышленных предприятий является поиск и внедрение альтернативного метода, сочетающего лучшие технические характеристики запуска для асинхронных двигателей и низкую стоимость мягких запусков. Технически сложная задача - реализовать принцип векторно-импульсного управления и регулировать напряжение с помощью высокочастотной импульсной модуляции.

*Ключевые слова:* асинхронный двигатель, плавный пуск, схема, полупроводниковые приборы.

## **RESEARCH SCHEMES, SOFT START INDUCTION MOTOR**

**K.O. Kozhamberdiev, G.B. Bakyt, M. Kylvat**

Kazakh Academy of transport and communications. M. Tynyshpaeva

*Abstract.* In this article methods of smooth start-up of high-voltage asynchronous motors of high power are considered. In particular, soft starters based on voltage regulators with vector-pulse control. To date, the only alternative to an expensive start is the use of soft start systems. Therefore, a key issue for industrial energy services is the search and implementation of an alternative method that combines the best launch performance for asynchronous motors and the low cost of soft starts. Technically challenging is to implement the principle of vector-pulse control and adjust the voltage using high-frequency pulse modulation. Traditional thyristor circuits can be used to implement this method, which leads to high management and switching costs.

*Key words:* asynchronous motor, soft start, circuit, semiproductors.

ГРНТИ: 27.37.17

Т.Каирбеков

## СВЯЗЬ МЕЖДУ КОМПОНЕНТАМИ МЕТРИКИ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ С ТЕНЗОРОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

**Аннотация.** В статье рассмотрена метрика (1), которая не является ни стационарной, ни аксиально-симметричной. Метрика (1) содержит семь функций  $\nu, \psi, \mu_2, \mu_3, q_0 = \omega, q_2, q_3$ . Эти семь функций входят в уравнения поля в шести независимых комбинациях. Это видно из таблицы в конце статьи,  $q_0 = \psi_0, q_2 = \psi_2, q_3 = \psi_3$ . Это значит  $q_0$  зависит  $\psi_0$  и они независимы с остальными функциями. И рассматриваются уравнения Максвелла (2) в тетрадном формализме, в ортонормированном базисе, с метрикой (1) связан [1, §14] тетрадные базисные векторы и соответствующие им контравариантные базисные векторы.

Преобразуя уравнение Максвелла (2) и поставив коэффициенты вращения Риччи в уравнения и после длинных преобразований получены четыре системы линейных неоднородных дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка, (А), (Б), (С), (Д). Решая этих систем уравнений получена связь между компонентами метрики пространства-времени с тензором электромагнитного поля и соответственно напряженностями электрического и магнитного полей.

**Ключевые слова:** базис, тензора Риччи и электромагнитное поле, напряженности электрического и магнитного поля, тензор электромагнитного поля.

### Введение

Рассмотрим метрику

$$ds^2 = e^{2\nu} (dt^2) - e^{2\psi} (d\varphi - q_2 dx^2 - q_3 dx^3 - \omega dt)^2 - e^{2\mu_2} (dx^2)^2 - e^{2\mu_3} (dx^3)^2 \quad (1)$$

и уравнения Максвелла

$$\eta^{(n)(m)} F_{a(n)(m)} = 0 \quad (2)$$

В ортоортонормированном базисе  $\eta^{00}=1, \eta^{11}=\eta^{22}=\eta^{33}=-1$

Где  $F_{ik}$  тензор электромагнитного поля. Приведем необходимые материалы для дальнейшего использования.

Производная функции  $f(x^0, x^1, x^2, x^3)$  по аргументу  $x^A$  ( $A=0,2,3$ ) равна

$$f_{:A} = f_{,A} + q_A f, \quad \text{где } f_{,A} = \frac{\partial f}{\partial x^A} \text{ или } f_{,1} = \frac{\partial f}{\partial x^1} \quad (3)$$

Оператор  $D_A$  действуя на  $f(x^0, x^1, x^2, x^3)$  дает

$$D_A f = f_{:A} + q_{A,1} f = f_{,A} + (q_A f)_{,1} \quad (4)$$

$$Q_{AB} = q_{A:B} - q_{B:A} \quad (5)$$

$$\psi_A = \psi_{:A} + q_{A,1} = e^{-\psi} D_A (e^\psi) \quad (6)$$

Связь производной (3) с производными по направлению вдоль касательных векторов:

$$F_{a0,0} = e^{-\nu} F_{a0:0}, F_{a1,1} = e^{-\psi} F_{a1:1}, F_{q2,2} = e^{-\mu_2} F_{a2:2}, F_{a3,3} = e^{-\mu_3} F_{a3:3} \quad (7)$$

Разложим уравнение Максвелла

$$\eta^{(n)(m)} F_{a n/m} = 0, \quad \eta^{00}=1, \eta^{11}=\eta^{22}=\eta^{33}=-1$$

Пропуская подробные преобразования, уравнения Максвелла приведен к следующему виду

$$\eta^{(n)(m)} F_{a n/m} = F_{a0/0} - F_{a1/1} - F_{a2/2} - F_{a3/3} = 0 \quad (8)$$

Отдельно вычисляя каждое слагаемое уравнения (8), и пропуская подробные вычисления, получим

$$F_{a0|0} = F_{a0,0} + \gamma_{1a0} F_{10} + \gamma_{2a0} F_{20} + \gamma_{3q0} F_{30} + \gamma_{100} F_{a1} + \gamma_{200} F_{a2} + \gamma_{300} F_{a3} \quad (9)$$

$$F_{a1|1} = F_{a1,1} - \gamma_{0a1} F_{01} + \gamma_{2a1} F_{21} + \gamma_{2a1} F_{21} + \gamma_{3a1} F_{31} - \gamma_{011} F_{a0} + \gamma_{211} F_{a2} + \gamma_{311} F_{a3} \quad (10)$$

$$F_{a2|2} = F_{a2,2} + F_{01} + \gamma_{0a2} F_{02} + \gamma_{2a1} F_{21} + \gamma_{1a2} F_{12} + \gamma_{3a2} F_{32} - \gamma_{022} F_{a0} + \gamma_{122} F_{a1} + \gamma_{322} F_{a3} \quad (11)$$

$$F_{a3|3} = F_{a2,2} - \gamma_{0a3} F_{03} + \gamma_{103} F_{13} + \gamma_{2a3} F_{23} - \gamma_{033} F_{a0} + \gamma_{133} F_{a1} + \gamma_{233} F_{a2} \quad (12)$$

Подставляя (7),(9),(10), (11), (12) в (8) после длинных преобразований получим следующие уравнение:

$$e^{-\nu} F_{a0:0} - e^{-\psi} F_{a1,1} - e^{-\mu_2} F_{a2:2} - e^{-\mu_3} F_{a3:3} = -F_{01}(\gamma_{0a1} - \gamma_{1a0}) - F_{02}(\gamma_{0a2} - \gamma_{2a0}) - F_{03}(\gamma_{0a3} - \gamma_{3a0}) + F_{12}(\gamma_{1a2} - \gamma_{2a1}) + F_{23}(\gamma_{2a3} - \gamma_{3a2}) + F_{31}(\gamma_{3a1} - \gamma_{1a3}) + F_{a1}(-\gamma_{100} + \gamma_{122} + \gamma_{133}) + F_{a0}(\gamma_{101} - \gamma_{202} + \gamma_{303}) + F_{a2}(-\gamma_{200} + \gamma_{211} + \gamma_{233}) + F_{a3}(-\gamma_{300} + \gamma_{311} + \gamma_{322}) \quad (13)$$

В выражении (13) перенеся левую часть в правую и заменяя коэффициенты вращения Риччи, выраженные с компонентами метрики пространства-времени [1] сначала вычисляя при  $a=0$ , перепишем в следующем виде

$$e^{-\psi}(F_{01,1} - \nu_{,1} F_{01} + \mu_{21} F_{01} + \mu_{31} F_{01}) + e^{-\mu_2}(F_{02:2} - F_{02} \nu_{,2} + F_{02} \psi_2 + F_{02} \mu_{3:2}) + e^{-\mu_3}(F_{03:3} - F_{03} \nu_{,3} + F_{03} \psi_3 + F_{03} \mu_{2:3}) = 0$$

Далее, вычисляем при  $a=1$ , получим

$$e^{-\nu}(F_{01:0} - F_{01} \psi_0 - F_{01} \mu_{2:0} + F_{01} \mu_{3:0}) + e^{-\mu_2}(F_{12:2} + F_{12} \nu_{,2} - F_{12} \psi_2 + F_{12} \mu_{3:2}) + e^{-\mu_3}(F_{13:3} + F_{13} \nu_{,3} - F_{13} \psi_3 + F_{13} \mu_{2:3}) = 0$$

Вычисляем при  $a=2$

$$e^{-\nu}(F_{20:0} - F_{02} \mu_{2:0} + F_{02} \psi_0 + F_{02} \mu_{3:0}) + e^{-\psi}(-F_{12} + F_{12} \mu_{2,1} - F_{12} \nu_{,1} - F_{12} \mu_{3,1}) + e^{-\mu_3}(F_{23:3} + F_{23} \nu_{,3} + F_{23} \psi_3 + F_{23} \mu_{2:3}) = 0$$

Вычисляем при  $a=3$

$$e^{-\nu}(-F_{30:0} - \psi_0 F_{03} + F_{30} \mu_{2:0} + F_{30} \mu_{3:0}) + e^{-\psi}(F_{31,1} + F_{31} \nu_{,1} + F_{31} \mu_{2,1} - F_{31} \mu_{3,1}) + e^{-\mu_2}(F_{32:2} + F_{32} \nu_{,2} + F_{32} \psi_2 - F_{32} \mu_{3:2}) = 0$$

Далее, учитывая линейные независимости величин  $e^{-\nu}$ ,  $e^{-\psi}$ ,  $e^{-\mu_2}$ ,  $e^{-\mu_3}$  и пропуская некоторые промежуточные преобразования, получаем следующие системы линейных неоднородных дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка, решая которых определяем  $\nu$ ,  $\psi$ ,  $\mu_{21} \mu_{31}$ ,  $q_0 = \omega$ ,  $q_2$ ,  $q_3$ .

Распишем их по степеням  $e^{-\psi}$ ,  $e^{-\nu}$ ,  $e^{-\mu_2}$ ,  $e^{-\mu_3}$

$$e^{-\psi} \begin{cases} \mu_{2,1} + \mu_{3,1} - \nu_{,1} = -\frac{F_{01,1}}{F_{01}} \\ -\mu_{2,1} + \mu_{3,1} + \nu_{,1} = -\frac{F_{12,1}}{F_{12}} \\ \mu_{2,1} - \mu_{3,1} + \nu_{,1} = -\frac{F_{31,1}}{F_{31}} \end{cases} \quad (A)$$

$$e^{-\nu} \begin{cases} \mu_{2:0} - \mu_{3:0} + \psi_0 = \frac{F_{01:0}}{F_{01}} \\ -\mu_{2:0} + \mu_{3:0} + \psi_0 = \frac{F_{02:0}}{F_{02}} \\ \mu_{2:0} + \mu_{3:0} - \psi_0 = \frac{F_{03:0}}{F_{03}} \end{cases} \quad (B)$$

$$e^{-\mu_2} \begin{cases} \mu_{3:2} - \nu_{,2} + \psi_2 = -\frac{F_{02:2}}{F_{02}} \\ \mu_{3:2} + \nu_{,2} - \psi_2 = -\frac{F_{12:2}}{F_{12}} \\ -\mu_{3:2} + \nu_{,2} + \psi_2 = -\frac{F_{32:2}}{F_{32}} \end{cases} \quad (C)$$

$$e^{-\mu_3} \begin{cases} \mu_{2:3} - \nu_{,3} + \psi_3 = -\frac{F_{03:3}}{F_{03}} \\ \mu_{2:3} + \nu_{,3} - \psi_3 = -\frac{F_{13:3}}{F_{13}} \\ -\mu_{3:2} + \nu_{,3} + \psi_3 = \frac{F_{23:3}}{F_{23}} \end{cases} \quad (D)$$

Далее, решаем каждую систему дифференциальных уравнений частных производных. Решаем систему (A)

$$\text{Определитель системы } \Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \end{vmatrix} = 4$$

$$\Delta\mu_{2,1} = \begin{vmatrix} -\frac{F_{01,1}}{F_{01}} & 1 & -1 \\ \frac{F_{12,1}}{F_{12}} & 1 & 1 \\ -\frac{F_{31,1}}{F_{31}} & -1 & 1 \end{vmatrix} = -2\left(\frac{F_{01,1}}{F_{01}} + \frac{F_{31,1}}{F_{31}}\right) = -2\left(\frac{\partial \ln v F_{01}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln v F_{31}}{\partial x_1}\right)$$

$$\mu_{2,1} = -\frac{1}{2}\left(\frac{\partial \ln v F_{01}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln v F_{31}}{\partial x_1}\right); \quad \frac{\partial \mu_2}{\partial x_1} = -\frac{1}{2}\left(\frac{\partial \ln v F_{01}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln v F_{31}}{\partial x_1}\right)$$

$$\frac{dx_1}{1} = -\frac{2d\mu_2}{\left[\frac{\partial \ln v F_{01}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln v F_{31}}{\partial x_1}\right]} \quad \int d\mu_2 = -\frac{1}{2} \int \left(\frac{\partial \ln v F_{01}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln v F_{31}}{\partial x_1}\right) dx_1$$

$$\mu_{2,1} = -\frac{1}{2} \int (d \ln F_{01} + d \ln F_{31}) = -\frac{1}{2}(\ln F_{01} + \ln F_{31}) + C_1$$

Аналогично решая находим

$$v_{,1} = -\frac{1}{2}\left(\frac{F_{13,1}}{F_{13}} + \frac{F_{12,1}}{F_{12}}\right) = -\frac{1}{2}\left(\frac{\partial \ln F_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_1}\right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial x_1} = -\frac{1}{2}\left(\frac{\partial \ln F_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_1}\right)$$

Интегрируя обе части находим

$$v = -\frac{1}{2}(\ln F_{13} + \ln F_{12}) + C_2$$

$$\Delta\mu_{3,1} = \begin{vmatrix} 1 & -\frac{F_{01,1}}{F_{01}} & -1 \\ -1 & -\frac{F_{12,1}}{F_{12}} & 1 \\ 1 & -\frac{F_{31,1}}{F_{31}} & 1 \end{vmatrix} = -2\left(\frac{F_{01,1}}{F_{01}} + \frac{F_{12,1}}{F_{12}}\right) = -2\left(\frac{\partial \ln F_{01}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_1}\right)$$

$$\mu_{3,1} = -\frac{1}{2}\left(\frac{\partial \ln F_{01}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_1}\right) \text{ интегрируя находим}$$

$$\mu_3 = -\frac{1}{2}(\ln |F_{01}| + \ln |F_{12}|) + C_3$$

Дальше, решаем систему (Б) определитель системы

$$\Delta = -4$$

$$\Delta\mu_{2,0} = \begin{vmatrix} -\frac{F_{01,0}}{F_{01}} & -1 & 1 \\ \frac{F_{02,0}}{F_{02}} & 1 & 1 \\ \frac{F_{03,0}}{F_{03}} & 1 & -1 \end{vmatrix} = -2\left(\frac{F_{01,0}}{F_{01}} + \frac{F_{03,0}}{F_{03}}\right)$$

$$\mu_{2,0} = -\frac{\Delta\mu_{2,0}}{\Delta} = \frac{1}{2}\left(\frac{F_{01,0}}{F_{01}} + \frac{F_{03,0}}{F_{03}}\right) = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{F_{01,0}}{F_{01}} + q_0 \frac{F_{01,1}}{F_{01}}\right) + \left(\frac{F_{03,0}}{F_{03}} + \frac{F_{03,1}}{F_{31}}\right)\right] = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{F_{01,0}}{F_{01}} + \frac{F_{03,1}}{F_{03}}\right) + q_0\left(\frac{F_{01,0}}{F_{01}} + \frac{F_{03,1}}{F_{03}}\right)\right]$$

$$\mu_{2,0} + q_0 \mu_{2,1} = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{F_{01,0}}{F_{01}} + \frac{F_{03,0}}{F_{03}}\right) + q_0\left(\frac{F_{01,0}}{F_{01}} + \frac{F_{03,1}}{F_{01}}\right)\right]$$

$$\frac{\partial \mu_2}{\partial x_0} + q_0 \frac{\partial \mu_2}{\partial x_1} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial \ln F_{01}}{\partial x_0} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_0}\right) + q_0\left(\frac{\partial \ln F_{01}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_1}\right) \text{ составим следующую систему дифференциальных уравнений}$$

$$\frac{dx_0}{1} = \frac{dx_1}{q_0} = \frac{2d\mu_2}{\left(\frac{\partial \ln F_{01}}{\partial x_0} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_0}\right) + q_0\left(\frac{\partial \ln F_{01}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_1}\right)}$$

$$dx_0 = \frac{dx_1}{q_0}$$

$$\frac{dx_0}{1} = \frac{2d\mu_2}{\left[\left(\frac{\partial \ln F_{01}}{\partial x_0} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_0}\right) + q_0 \left(\frac{\partial \ln F_{01}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_1}\right)\right]}$$

$$\int d\mu_2 = \frac{1}{2} \left[ \int \left( \frac{\partial \ln F_{01}}{\partial x_0} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_0} \right) dx_0 + \int q_0 \left( \frac{\partial \ln F_{01}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_1} \right) \frac{dx_1}{q_0} \right] = \frac{1}{2} \left[ \int (d \ln F_{01} + d \ln F_{03}) + \int (d \ln F_{01} + d \ln F_{03}) \right] = \frac{1}{2} \left[ \int (\ln F_{01} + \ln F_{03})_0 + \int (\ln F_{01} + \ln F_{03})_1 \right] + C_1$$

$$\mu_{2(0)} = \frac{1}{2} \left[ \ln F_{01} + \ln F_{03} \right]_0 + \ln F_{01} + \ln F_{03} \Big|_1 + C_1$$

$$\Delta\mu_{3:0} = -1 \begin{vmatrix} 1 & \frac{F_{01:0}}{F_{01}} & 1 \\ 1 & \frac{F_{02:0}}{F_{02}} & 1 \\ 1 & \frac{F_{03:0}}{F_{03}} & -1 \end{vmatrix} = -2 \left( \frac{F_{02:0}}{F_{02}} + \frac{F_{03:0}}{F_{03}} \right)$$

$$\mu_{3:0} = \frac{\Delta\mu_{3:0}}{\Delta} = \frac{1}{2} \left( \frac{F_{02:0}}{F_{02}} + \frac{F_{03:0}}{F_{03}} \right) = \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{F_{02:0}}{F_{02}} + \frac{F_{03:0}}{F_{03}} \right) + q_0 \left( \frac{F_{02:1}}{F_{02}} + \frac{F_{03:1}}{F_{03}} \right) \right]$$

$$\mu_{3,0} + q_0 \mu_{3,1} = \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{F_{02:0}}{F_{02}} + \frac{F_{03:0}}{F_{03}} \right) + q_0 \left( \frac{F_{02:1}}{F_{02}} + \frac{F_{03:1}}{F_{03}} \right) \right]$$

$$\frac{\partial \mu_3}{\partial x_0} + q_0 \frac{\partial \mu_3}{\partial x_1} = \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_0} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_0} \right) + q_0 \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_1} \right) \right]$$

Составим соответствующую систему дифференциальных уравнений

$$\frac{dx_0}{1} = \frac{dx_1}{q_0} = \frac{2d\mu_3}{\left[\left(\frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_0} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_0}\right) + q_0 \left(\frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_1}\right)\right]}$$

$$\int d\mu_3 = \frac{1}{2} \frac{2d\mu_3}{\left[\left(\frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_0} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_0}\right) + q_0 \left(\frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_1}\right)\right]}$$

$$\mu_{3(0)} = \frac{1}{2} \left[ (\ln F_{02} + \ln F_{03})_0 + (\ln F_{02} + \ln F_{03})_1 \right] + C_2$$

$$\Delta\psi_0 = \begin{vmatrix} 1 & -1 & \frac{F_{01:0}}{F_{01}} \\ -1 & 1 & \frac{F_{02:0}}{F_{02}} \\ 1 & 1 & \frac{F_{03:0}}{F_{03}} \end{vmatrix} = 2 \left( \frac{F_{01:0}}{F_{01}} + \frac{F_{02:0}}{F_{02}} \right) = 2 \left[ \frac{F_{01:0}}{F_{01}} + \frac{F_{02:0}}{F_{02}} \right] + q_0 \left( \frac{F_{01:1}}{F_{01}} + \frac{F_{02:1}}{F_{02}} \right)$$

$$\psi_{,0} + q_0 \psi_{,1} + q_{0,1} = \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{F_{01,0}}{F_{01}} + \frac{F_{02,0}}{F_{02}} \right) + q_0 \left( \frac{F_{01,1}}{F_{01}} + \frac{F_{02,1}}{F_{02}} \right) \right]$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial x_0} + q_0 \frac{\partial \psi}{\partial x_1} + \frac{dq_0}{dx_1} = \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{F_{01,0}}{F_{01}} + \frac{F_{02,0}}{F_{02}} \right) + q_0 \left( \frac{F_{01,1}}{F_{01}} + \frac{F_{02,1}}{F_{02}} \right) \right]$$

Составим следующую систему дифференциальных уравнений

$$\frac{dx_0}{1} = \frac{dx_1}{q_0} = \frac{d\psi}{\left[\left(\frac{F_{01,0}}{F_{01}} + \frac{F_{02,0}}{F_{02}}\right) + q_0 \left(\frac{F_{01,1}}{F_{01}} + \frac{F_{02,1}}{F_{02}}\right)\right]}$$

$$dx_0 = \frac{dx_1}{q_0}$$

$$\frac{dx_1}{q_0} = \frac{dx_1}{1} \quad q_0 = 1 \quad dx_0 - dx_1 = 0 \quad x_0 - x_1 = c_1$$

$$\frac{dx_0}{1} = \frac{2d\psi}{\left[\left(\frac{\partial \ln F_{01}}{\partial x_0} + \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_0}\right) + q_0 \left(\frac{\partial \ln F_{01}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_1}\right)\right]}$$

$$\int d\psi = \frac{1}{2} \left[ \int \left( \frac{\partial \ln F_{01}}{\partial x_0} + \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_0} \right) dx_0 + \int q_0 \left( \frac{\partial \ln F_{01}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_1} \right) \frac{dx_1}{q_0} \right]$$

$$\psi = \frac{1}{2} [ (\ln|F_{01}| + \ln|F_{02}|)_0 + (\ln|F_{01}| + \ln|F_{02}|)] + C_2$$

Общее решение уравнения имеют виды

$$\Phi\left(\psi - \frac{1}{2} [ (\ln|F_{01}| + \ln|F_{02}|) + (\ln|F_{01}| + \ln|F_{02}|)], x_0 - x_1\right) = 0$$

или

$$\psi = \frac{1}{2} [ (\ln|F_{01}| + \ln|F_{02}|) + (\ln|F_{01}| + \ln|F_{02}|) + \psi(x_0 - x_1)]$$

Теперь решим систему (С) определитель системы

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} = 4$$

$$\Delta\psi_2 = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -\frac{F_{02:2}}{F_{01}} \\ 1 & 1 & -\frac{F_{12:2}}{F_{12}} \\ -1 & 1 & -\frac{F_{32:2}}{F_{32}} \end{vmatrix} = -2 \left( \frac{F_{02:2}}{F_{02}} + \frac{F_{32:2}}{F_{32}} \right) = -2 \left[ \left( \frac{F_{02:2}}{F_{02}} + \frac{F_{32:2}}{F_{32}} \right) + q_2 \left( \frac{F_{02:1}}{F_{02}} + \frac{F_{32:1}}{F_{32}} \right) \right]$$

$$= -2 \left[ \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_2} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_2} \right) + q_2 \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_1} \right) \right]$$

$$\psi_2 = \frac{\Delta\psi_2}{\Delta} = -\frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_2} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_2} \right) + q_2 \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_1} \right) \right]$$

$$\psi_{,2} + q_2 \psi_{,1} + q_{2,1} = -\frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_2} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_2} \right) + q_2 \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_1} \right) \right]$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial x_2} + q_2 \frac{\partial \psi}{\partial x_1} + \frac{\partial q_2}{\partial x_1} = -\frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_2} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_2} \right) + q_2 \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_1} \right) \right]$$

$$\frac{dx_2}{1} = \frac{dx_1}{q_2} = \frac{dx_1}{1} = \frac{2d\psi}{\left[\left(\frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_2} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_2}\right) + q_2 \left(\frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_1}\right)\right]}$$

$$\frac{dx_1}{q_2} = \frac{dx_1}{1} \quad q_2 = 1 \quad x_2 - x_1 = c_1 \quad dx_2 = \frac{dx_1}{q_2}$$

$$\frac{dx_2}{1} = -\frac{2d\psi}{\left[\left(\frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_2} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_2}\right) + q_2 \left(\frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_1}\right)\right]}$$

Аналогично вычисляя находим



$$\mu_{3:2} = -\frac{1}{2} \left( \frac{F_{02:2}}{F_{02}} + \frac{F_{12:2}}{F_{12}} \right) = -\frac{1}{2} \left[ \left( \frac{F_{02,2}}{F_{02}} + \frac{F_{12,2}}{F_{12}} \right) + q_2 \left( \frac{F_{02,1}}{F_{02}} + \frac{F_{12,1}}{F_{12}} \right) \right]$$

$$\mu_{3,2} + q_2 \mu_{3,1} = -\frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_2} + \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_2} \right) + q_2 \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_1} \right) \right]$$

$$\frac{d\mu_3}{dx_2} + q_2 \frac{d\mu_3}{dx_1} = -\frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_2} + \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_2} \right) + q_2 \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_1} \right) \right]$$

Рассмотрим соответствующую ему систему дифференциальных уравнений

$$\frac{dx_2}{1} = \frac{dx_1}{q_2} = -\frac{2d\mu_3}{\left[ \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_2} + \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_2} \right) + q_2 \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_1} \right) \right]}$$

$$dx_2 = \frac{dx_1}{q_2} \text{ из предыдущего результата } q_2=1 \text{ тогда } x_2 - x_1 = c_1$$

$$\frac{dx_2}{1} = -\frac{2d\mu_3}{\left[ \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_2} + \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_2} \right) + q_2 \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_1} \right) \right]}$$

$$\int d\mu_2 = -\frac{1}{2} \int \left[ \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_2} + \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_2} \right) dx_2 + \int q_2 \left( \frac{\partial \ln F_{02}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_1} \right) \frac{dx_1}{q_2} \right]$$

Интегрируя имеем

$$\mu_2 = -\frac{1}{2} [ (\ln F_{02} + \ln F_{12})_2 + (\ln F_{02} + \ln F_{12})_1 ] + C_1$$

Общее решение уравнения имеет вид

$$\Phi \left( \mu_2 + \frac{1}{2} [ (\ln F_{02} + \ln F_{12}) + (\ln F_{02} + \ln F_{12}) ], x_2 - x_1 \right) = 0 \text{ отсюда или}$$

$$\mu_2 = -\frac{1}{2} [ (\ln F_{02} + \ln F_{01}) + (\ln F_{02} + \ln F_{12}) ] + \varphi(x_2 - x_1)$$

Далее вычислим

$$v_{:2} = -\frac{1}{2} \left( \frac{F_{12:2}}{F_{12}} + \frac{F_{32:2}}{F_{32}} \right) = -\frac{1}{2} \left[ \left( \frac{F_{12,2}}{F_{12}} + q_2 \frac{F_{12,1}}{F_{12}} \right) + \left( \frac{F_{32,2}}{F_{32}} + q_2 \frac{F_{32,1}}{F_{32}} \right) \right]$$

$$v_{,2} + q_2 v_{,1} = -\frac{1}{2} \left[ \left( \frac{F_{12,2}}{F_{12}} + \frac{F_{32,2}}{F_{32}} \right) + q_2 \left( \frac{F_{12,1}}{F_{12}} + \frac{F_{32,1}}{F_{32}} \right) \right]$$

$$\frac{\partial v}{\partial x_2} + q_2 \frac{\partial v}{\partial x_1} = -\frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_2} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_2} \right) + q_2 \left( \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_1} \right) \right]$$

Рассмотрим соответствующую ему систему дифференциальных уравнений

$$\frac{dx_2}{1} = \frac{dx_1}{q_2} = -\frac{2dv}{\left[ \left( \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_2} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_2} \right) + q_2 \left( \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_1} \right) \right]}$$

$$\frac{dx_2}{1} = \frac{dx_1}{q_2} \text{ из предыдущего результата } q_2=1 \text{ тогда } x_2 - x_1 = c_1$$

$$\frac{dx_2}{1} = -\frac{2dv}{\left[ \left( \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_2} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_2} \right) + q_2 \left( \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_1} \right) \right]}$$

$$\int dv = -\frac{1}{2} \left[ \int \left( \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_2} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_2} \right) dx_2 + \int q_2 \left( \frac{\partial \ln F_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{32}}{\partial x_1} \right) \frac{dx_1}{q_2} \right]$$

$$v = -\frac{1}{2} [ (\ln F_{12} + \ln F_{32}) + (\ln F_{12} + \ln F_{32}) ] + C_2$$

Общее решение уравнения имеет вид

$$\Phi \left( v + \frac{1}{2} [ (\ln F_{12} + \ln F_{32}) + (\ln F_{12} + \ln F_{32}) ], x_2 - x_1 \right) = 0 \text{ отсюда}$$

$$v = -\frac{1}{2} [ (\ln F_{12} + \ln F_{32}) + (\ln F_{12} + \ln F_{32}) ] + \varphi(x_2 - x_1)$$

Теперь решаем систему (Д). Определитель системы  $\Delta = 4$

$$\Delta \psi_3 = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -\frac{F_{03:3}}{F_{03}} \\ 1 & 1 & -\frac{F_{13:3}}{F_{13}} \\ -1 & 1 & -\frac{F_{23:3}}{F_{23}} \end{vmatrix} = -2 \left( \frac{F_{23:3}}{F_{23}} + \frac{F_{03:3}}{F_{03}} \right) = -2 \left[ \left( \frac{F_{23:3}}{F_{23}} + q_3 \frac{F_{23:1}}{F_{23}} \right) + \left( q_3 \frac{F_{03:3}}{F_{03}} + q_3 \frac{F_{03:1}}{F_{03}} \right) \right]$$

$$\psi_3 = -\frac{1}{2} \left[ \left( \frac{F_{23:3}}{F_{23}} + \frac{F_{03:3}}{F_{03}} \right) + q_3 \left( \frac{F_{23:1}}{F_{23}} + \frac{F_{03:1}}{F_{03}} \right) \right] =$$

$$\psi_3 + q_3 \psi_1 + q_{3,1} = -\frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial \ln F_{23}}{\partial x_3} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_3} \right) + q_3 \left( \frac{\partial \ln F_{23}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_1} \right) \right]$$

Рассмотрим соответствующую ему систему дифференциальных уравнений

$$\frac{dx_3}{1} = \frac{dx_1}{q_3} = \frac{dx_1}{1} = -\frac{2d\psi}{\left[ \left( \frac{\partial \ln F_{23}}{\partial x_3} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_3} \right) + q_3 \left( \frac{\partial \ln F_{23}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_1} \right) \right]}$$

$$\frac{dx_1}{q_3} = \frac{dx_1}{1} \quad q_3 = 1 \text{ отсюда } \frac{dx_1}{1} = \frac{dx_1}{1} \quad x_3 - x_1 = C_1$$

$$\frac{dx_3}{1} = -\frac{2d\psi}{\left[ \left( \frac{\partial \ln F_{23}}{\partial x_3} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_3} \right) + q_3 \left( \frac{\partial \ln F_{23}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_1} \right) \right]}$$

$$\int d\psi = -\frac{1}{2} \left[ \int \left( \frac{\partial \ln F_{23}}{\partial x_3} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_3} \right) dx_3 + \int q_3 \left( \frac{\partial \ln F_{23}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_1} \right) \frac{dx_1}{q_3} \right]$$

$$\psi = -\frac{1}{2} [ (\ln F_{23} + \ln F_{03}) + (\ln F_{23} + \ln F_{03}) ] + C_2$$

Общее решение уравнения имеет вид

$$\Phi \left( \psi + \frac{1}{2} [ (\ln F_{23} + \ln F_{03}) + (\ln F_{23} + \ln F_{03}) ], x_3 - x_1 \right) = 0$$

$$\psi_3 = -\frac{1}{2} [ (\ln F_{23} + \ln F_{03}) + (\ln F_{23} + \ln F_{03}) ] + 4(x_3 - x_1)$$

Решаем систему относительно  $\mu_2$

$$\Delta \mu_{2:3} = -2 \left( \frac{F_{03:3}}{F_{03}} + \frac{F_{13:3}}{F_{13}} \right), \quad \mu_{2:3} = -\frac{1}{2} \left( \frac{F_{03:3}}{F_{03}} + \frac{F_{13:3}}{F_{13}} \right)$$

$$\mu_{2,3} + q_3 \mu_{2,1} = -\frac{1}{2} \left[ \left( \frac{F_{03:3}}{F_{03}} + \frac{F_{13:3}}{F_{13}} \right) + q_3 \left( \frac{F_{03:1}}{F_{03}} + \frac{F_{13:1}}{F_{13}} \right) \right]$$

Рассмотрим соответствующую ему систему дифференциальных уравнений

$$\frac{dx_3}{1} = \frac{dx_1}{q_3} = - \frac{2d\mu_2}{\left[\left(\frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_3} + \frac{\partial \ln F_{13}}{\partial x_3}\right) + q_3 \left(\frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{13}}{\partial x_1}\right)\right]}$$

$$\frac{dx_3}{1} = \frac{dx_1}{q_3} \quad q_3=1 \quad dx_3 = dx_1 \quad x_3 - x_1 = c_1$$

$$\frac{dx_3}{1} = - \frac{2d\mu_2}{\left[\left(\frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_3} + \frac{\partial \ln F_{13}}{\partial x_3}\right) + q_3 \left(\frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{13}}{\partial x_1}\right)\right]}$$

$$\int d\mu_2 = - \frac{1}{2} \left[ \int \left( \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_3} + \frac{\partial \ln F_{13}}{\partial x_3} \right) dx_3 + \int q_3 \left( \frac{\partial \ln F_{03}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{13}}{\partial x_1} \right) \frac{dx_1}{q_3} \right]$$

$$\mu_2 = - \frac{1}{2} [ (\ln|F_{03}| + \ln|F_{13}|) + (\ln|F_{03}| + \ln|F_{13}|) ]$$

Общее решение уравнения имеет вид

$$\Phi \left( \mu_2 + \frac{1}{2} [ (\ln|F_{03}| + \ln|F_{13}|) + (\ln|F_{03}| + \ln|F_{13}|) ] , x_3 - x_1 \right) = 0$$

$$\mu_{2(3)} = - \frac{1}{2} [ (\ln|F_{03}| + \ln|F_{13}|) + (\ln|F_{03}| + \ln|F_{13}|) ] + 4(x_3 - x_1)$$

Решаем систему относительно  $v$

$$\Delta_{v:3} = -2 \left( \frac{F_{13:3}}{F_{13}} + \frac{F_{23:3}}{F_{23}} \right), \quad v:3 = - \frac{1}{2} \left( \frac{F_{13:3}}{F_{13}} + \frac{F_{23:3}}{F_{23}} \right)$$

$$v_{,3} + q_3 v_{,1} = - \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{F_{13,3}}{F_{13}} + \frac{F_{23,3}}{F_{23}} \right) + q_3 \left( \frac{F_{13,1}}{F_{13}} + \frac{F_{23,1}}{F_{23}} \right) \right]$$

$$\frac{\partial v}{\partial x_3} + q_3 \frac{\partial v}{\partial x_1} = - \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial \ln F_{13}}{\partial x_3} + \frac{\partial \ln F_{23}}{\partial x_3} \right) + q_3 \left( \frac{\partial \ln F_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{23}}{\partial x_1} \right) \right]$$

Рассмотрим соответствующую ему систему дифференциальных уравнений

$$\frac{dx_3}{1} = \frac{dx_1}{q_3} = - \frac{2dv}{\left[\left(\frac{\partial \ln F_{13}}{\partial x_3} + \frac{\partial \ln F_{23}}{\partial x_3}\right) + q_3 \left(\frac{\partial \ln F_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{23}}{\partial x_1}\right)\right]}$$

$$\frac{dx_3}{1} = \frac{dx_1}{q_3} \quad q_3=1 \quad dx_3 = dx_1 \quad x_3 - x_1 = c_1$$

$$\frac{dx_3}{1} = - \frac{2dv}{\left[\left(\frac{\partial \ln F_{13}}{\partial x_3} + \frac{\partial \ln F_{23}}{\partial x_3}\right) + q_3 \left(\frac{\partial \ln F_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{23}}{\partial x_1}\right)\right]}$$

$$\int dv = - \frac{1}{2} \left[ \int \left( \frac{\partial \ln F_{13}}{\partial x_3} + \frac{\partial \ln F_{23}}{\partial x_3} \right) dx_3 + \int q_3 \left( \frac{\partial \ln F_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \ln F_{23}}{\partial x_1} \right) \frac{dx_1}{q_3} \right]$$

$$v = - \frac{1}{2} [ (\ln|F_{13}| + \ln|F_{23}|) + (\ln|F_{13}| + \ln|F_{23}|) ] + c_2$$

Общее решение имеет вид

$$\Phi \left( v + \frac{1}{2} [ (\ln|F_{13}| + \ln|F_{23}|) + (\ln|F_{13}| + \ln|F_{23}|) ] , x_3 - x_1 \right) = 0$$

$$v = -\frac{1}{2} [ (\ln|F_{13}| + \ln|F_{23}| + (\ln|F_{13}| + \ln|F_{23}|)) + 4(x_3 - x_1) ]$$

Полученные результаты можно написать в виде следующей таблицы

	$e^{-v}$	$e^{-\psi}$	$e^{-\mu_2}$	$e^{-\mu_3}$
$\mu_2$	$\mu_{2(0)} = \frac{1}{2} [ (\ln F_{01}  + \ln F_{03} )_{(0)} + (\ln F_{01}  + \ln F_{03} )_{(1)} ] + \varphi(x_0 - x_1)$	$\mu_{2(1)} = -\frac{1}{2} [ \ln F_{01}  + \ln F_{31}  ] = -\frac{1}{2} (\ln F_{01} \cdot F_{31}  = -\frac{1}{2} \ln E_x \cdot E_y  +$	-	$\mu_{2(3)} = -\frac{1}{2} [ (\ln F_{03}  + \ln F_{13} )_{(3)} + (\ln F_{03}  + \ln F_{13} )_{(1)} ] + \varphi(x_3 - x_1)$
$\mu_3$	$\mu_{3(0)} = \frac{1}{2} [ (\ln F_{02}  + \ln F_{03} )_{(0)} + (\ln F_{02}  + \ln F_{03} )_{(1)} ] + \varphi(x_0 - x_1)$	$\mu_{3(1)} = -\frac{1}{2} [ \ln F_{01}  + \ln F_{12}  ] = -\frac{1}{2} \ln E_x \cdot H_2 $	$\mu_{3(2)} = \frac{1}{2} [ (\ln F_{02}  + \ln F_{12} )_{(2)} + (\ln F_{02}  + \ln F_{12} )_{(1)} ] + \varphi(x_2 - x_1)$	-
$\psi$	$\psi_{(0)} = q_0 = [ (\ln F_{01}  + \ln F_{02} ) + (\ln F_{01}  + \ln F_{02} )_{(1)} ] + \varphi(x_0 - x_1)$	-	$\psi_{(2)} = q_2 = -\frac{1}{2} [ (\ln F_{02}  + \ln F_{32} )_{(2)} + (\ln F_{02}  + \ln F_{32} )_{(1)} ] + \varphi(x_2 - x_1)$	$\psi_{(3)} = q_3 = -\frac{1}{2} [ (\ln F_{23}  + \ln F_{03} )_{(3)} + (\ln F_{23}  + \ln F_{03} )_{(1)} ] + \varphi(x_3 - x_1)$
$v$	-	$v_{(1)} = -\frac{1}{2} [ \ln F_{31}  + \ln F_{12}  ] = -\frac{1}{2} \ln F_{31} \cdot F_{12}  = -\frac{1}{2} \ln H_y \cdot H_2 $	$v_{(2)} = -\frac{1}{2} [ (\ln F_{02}  + \ln F_{32} )_{(2)} + (\ln F_{02}  + \ln F_{32} )_{(1)} ] + \varphi(x_2 - x_1)$	$v_{(3)} = -\frac{1}{2} [ (\ln F_{13}  + \ln F_{23} )_{(3)} + (\ln F_{13}  + \ln F_{23} )_{(1)} ] + \varphi(x_3 - x_1)$
$q$	$q_0 = 1$	-	$q_2 = 1$	$q_3 = 1$

### Заключение

В статье получены связь величин:  $v, \psi, \mu_2, \mu_3, q_0 = \omega, q_2, q_3$ . с тензором электромагнитного поля. Эти семь функций входят в уравнение в шести независимых комбинациях. Это можно увидеть из таблицы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Чандрасекар С. Математическая теория черных дыр. 21.М.«Мар» 1986, 355стр.  
 Матвеев Н.М. Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. Изд.«Высшая школа», Минск, 1974, 766стр.  
 Курант Р. Уравнения с частными производными. «Мир». М 1964, 817стр.  
 Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля «Наука». М 1973, 502стр.

## LIST OF REFERENCES

- Matveyev N.M «Methods in integration of the ordinary differential equations». Изд «Высшая школа», Minsk 1974., 766 p.
- Kurant R. «Equations with private derivatives». Изд «Мир», М.1964., 817p.
- Landau L.D., Livshits E.M., Field Theory. “Publishing House “Nauka”. М.1973, 502 p.p.
- S.Chandrasekhaz. The Mathematical theory of black holes. М. “Мир” 1986, 276 p.p.

## КЕҢІСТІК ПЕН УАҚЫТ МЕТРИКАСЫНЫҢ КОМПОНЕНТТЕРІМЕН ЭЛЕКТРОМАГНИТ ӨРІСІНІҢ ТЕНЗОРЫНЫҢ АРАСЫНДАҒЫ БАЙЛАНЫС

*Аңдатпа.* Статъяда стационар емес, аксиальды-симметриалы емес метрика қарастырылған. Бұл метрика жеті функцияға тәуелді. Бұл жеті функция өріс теңдеуіне тәуелсіз алты функция ретінде кіреді. Максвелл теңдеуін түрлендіріп, бұл жеті функцияны табу үшін, (А), (Б), (С), (Д), біртекті сызықты теңдеулер жүйесі алынды. Ол теңдеулерді шешіп, керекті жеті функциялар табылды.

## CONNECTION BETWEEN TIME SPACE METRICS COMPONENTS WITH A TENSOR OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD

*Abstract.* This article considers time space metrics which is neither stationary nor symmetric. This metrics depends on seven functions. These seven functions are included into the field equation, in six independent fluctuations. Transforming the equation of Maxwell delivering coefficients rotation of Ricci for finding of these seven functions, received four A,B,C,D of the linear non-uniform differential equations in private derivatives of the first order, solving whom these functions coefficients are received.

УДК 537.533.3

Т.Д. Дауменов, К.С. Саурова

Алматинский университет энергетики и связи

г.Алматы, Казахстан

[dautl@mail.ru](mailto:dautl@mail.ru), [k-saurova@mail.ru](mailto:k-saurova@mail.ru)

## ПОВЫШЕНИЕ МОЩНОСТИ ОТРАЖАТЕЛЬНОГО КЛИСТРОНА

**Аннотация.** В работе предложен способ повышения мощности отражательного клистрона применением объемного резонатора с электростатической фокусировкой и электронного зеркала в качестве отражателя. Трехэлектродное электронное зеркало позволяет при заданном отношении потенциалов на крайних электродах управлять распределением поля и воздействовать тем самым на качество пространственно-времяпролетной фокусировки. Это дает возможность увеличить мощность и коэффициент полезного действия отражательного клистрона за счет максимального сохранения конвекционного тока прибора.

**Ключевые слова:** отражательный клистрон, отражатель, электронное зеркало, конвекционный ток, объемный резонатор, пространственно-времяпролетная фокусировка.

В классической схеме отражательного клистрона используется принцип модуляции электронного потока по скорости и взаимодействие электронных сгустков с электромагнитным полем резонатора, который одновременно выполняет две функции – и модуляцию электронного потока и преобразование его кинетической энергии в электромагнитную [1].

В этом приборе используется только один резонатор, а роль пролетного пространства, в котором формируются сгустки электронов, выполняет объем, заключенный между резонатором и специальным электродом – отражателем, находящимся под отрицательным потенциалом (рисунок 1).

В отражательном клистроне электроны потока, двигаясь от электронной пушки 1, ускоряются постоянным напряжением и затем пронизывают резонатор 2. При этом происходит скоростная модуляция электронного потока. В пространстве между резонатором и отражателем 3 электроны движутся сначала в направлении отражателя, а затем, под влиянием его тормозящего поля, изменяют направление на обратное и второй раз пересекают зазор между сетками резонатора. К моменту этого пересечения электроны группируются в сгустки и, если фаза высокочастотного напряжения на сетках резонатора будет тормозящей, они отдадут свою кинетическую энергию высокочастотному полю резонатора, который через вывод энергии связан с внешней линией передачи 4.

Электроны движутся сначала в пространстве между резонатором и отражателем в направлении отражателя, а затем, под влиянием его тормозящего поля изменяют направление на обратное и второй раз пересекают зазор между сетками резонатора. К моменту этого пересечения электроны группируются в сгустки и, если фаза высокочастотного напряжения на сетках резонатора будет тормозящей, они отдадут свою кинетическую энергию высокочастотному полю резонатора, который через вывод энергии связан с внешней линией передачи.

Недостатком традиционной схемы отражательного клистрона является, во - первых, в нем происходит потеря части потока электронов на сетках резонатора, которые оказываются механической преградой на пути электронов, а провисание линий потенциала вблизи сеток приводят к рассеянию электронного потока, которое не поддается учету, кроме того, загрязнение сеток в процессе эксплуатации прибора приведет к неконтролируемому режиму его работы.

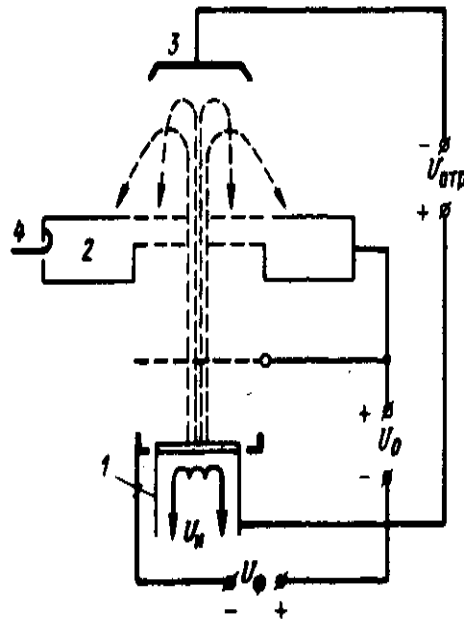


Рисунок 1 – Традиционный отражательный клистрон

Во-вторых, разные электроны при своем движении отклоняются на различные углы от нормали к плоскостям отражающего электрода. Это приводит к тому, что электроны в один и тот же момент времени влетающие в тормозящее поле отражателя нормально к поверхности сетки и под некоторым углом к нормали, движутся в пространстве отражателя разное время и возвращаются в зазор в различные моменты времени. Эти явления являются причиной «размазывания» и «расплывания» группирующихся электронов, т.е. приводят к уменьшению конвекционного тока, а следовательно, и мощности.

Электрическое поле в пространстве отражателя стационарно, поэтому задача о движении электронов в поле отражателя может быть разрешена в рамках статической электронной оптики. Расчет времени пролета электронов, а также времяпролетных и пространственных aberrаций в отражательном клистроне имеет принципиальное значение в вопросах повышения мощности в качестве генератора СВЧ, увеличения стабильности его частоты и усовершенствования электронной настройки.

Поэтому, для устранения первой части недостатка можно было бы использовать в качестве резонатора объемный резонатор с электростатической фокусировкой [2], а в качестве отражателя - электронное зеркало (рисунок 2). Потому что поле отражателя в принципе не может обеспечить пространственную фокусировку сгустков электронов на поверхность зазора резонатора [3].

Электронное зеркало представляет собой соосные три цилиндры равного диаметра  $d$  (рисунок 3). При расчете поля принимается, что крайние электроды – представляют собой полубесконечные цилиндры, ширина среднего электрода равна  $\ell$ , а зазор между электродами считается бесконечно мал ( $\delta \ll d$ ).

Наличие среднего электрода позволяет при заданном отношении потенциалов на крайних электродах управлять распределением поля и воздействовать тем самым на качество пространственно-времяпролетной фокусировки. Координатная система  $r, \psi, z$  расположена таким образом, что ось  $z$  совмещается с осью симметрии системы, а начало координат лежит в середине зазора между электродами 1 и 2.

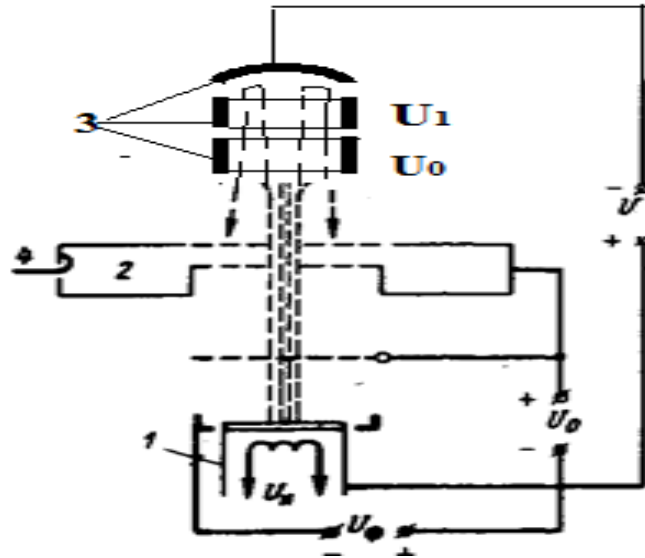


Рисунок 2 – Электронное зеркало

При этом положительное направление оси  $z$  совпадает с направлением отраженного осевого пучка заряженных частиц.

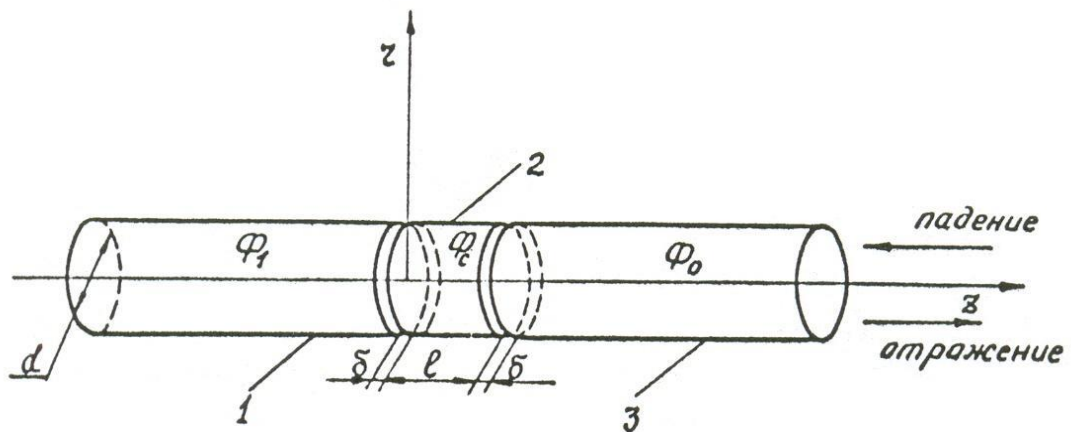


Рисунок 3 – Электронное зеркало представляет собой соосные три цилиндры равного диаметра  $d$

Проведенные расчеты показывают, что при определенных значениях длины среднего электрода определенные виды aberrаций могут быть сведены к нулю [4]. Равенство нулю коэффициента времяпролетной хроматической aberrации означает осуществление в трехэлектродном зеркале времяпролетной фокусировки по энергии до второго порядка малости. Это достигается при следующих данных:  $l = 0.688d$ ,  $\Phi_1 / \Phi_0 = 0.461$ ,  $\Phi_c = 0$ ,  $R = 5.87d$ ,  $L_{op} = 6.53d$ . Где  $l$  – длина среднего электрода,  $R$  – радиус кривизны электронного зеркала,  $L_{op}$  – эффективная длина дрейфового пространства.

С целью уменьшения габаритов вместо трех соосных цилиндров зеркало 3 на рисунке 2 составлено из двух цилиндрических электродов и одного сплошного электрода, поверхность которого, обращенная к пучку ионов, имеет форму эквипотенциальной



поверхности, создаваемой электростатическим полем в этом месте системой электродов из трех соосных цилиндров. Для схемы на рисунке 2 согласно расчетам потенциалы на электродах зеркала должны быть равны:  $U_1 \cong 0$ ,  $U = 0.461U_0$ ;

При таком режиме работы трехэлектродное электронное зеркало обеспечит пространственно-времяпролетную фокусировку сгустков электронов на поверхности резонатора. Это дает возможность увеличить мощность и коэффициент полезного действия отражательного клистрона за счет максимального сохранения конвекционного тока прибора.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.М. Гайдук, К.И. Палатов, Д.М. Петров. Физические основы электроники СВЧ. - М., 1971. - 600 с.
2. Дауменов Т.Д. Тороидальный резонатор с электростатической фокусировкой. // Патент РК № 23329.
3. Дауменов Т.Д. Отражательный клистрон.//МИНЮСТ РК. Патент на полезную модель №2003.
4. Бимурзаев С.Б., Дауменов Т., Секунова Л.М., Якушев Е.М. Пространственно-временные характеристики трехэлектродного электростатического зеркала с вращательной симметрией // ЖТФ. - 1983. - Т. 53, № 6. - С. 1151-1156.

## ШАҒЫЛДЫРҒЫШ КЛИСТРОННЫҢ ҚУАТЫН АРТТЫРУ

Т.Д. Дауменов, К.С. Саурова

Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

[dautl@mail.ru](mailto:dautl@mail.ru), [k-saurova@mail.ru](mailto:k-saurova@mail.ru)

**Аңдатпа.** Бұл мақалада шағылдырғыш ретінде электронды айна және электростатикалық фокусировкасы бар көлемді резонатор қолдану арқылы шағылдырғыш клистронның қуатын арттыру әдістері қарастырылған. Үшэлектродты электронды айна берілген потенциалдар арқылы ерістің таралуын басқарады және фокустау сапасына әсер етеді. Бұл прибордағы конвекциялы тоқты максималды түрде сақтау арқылы шағылдырғыш клистронның қуатын өсіру және оның пайдалы әсер коэффициентін арттыру мүмкіндіктерін береді.

**Түйінді сөздер:** шағылдырғыш клистрон, шағылдырғыш, электронды айна, конвекциялы ток, көлемді резонатор, кеңістік-ғарыштықуақыттығы фокусировка.

## INCREASE THE POWER OF A REFLECTIVE CLISTRON

Daumenov TD, Saurova K.S.

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan

[dautl@mail.ru](mailto:dautl@mail.ru), [k-saurova@mail.ru](mailto:k-saurova@mail.ru)

**Annotation.** In this paper, a method is proposed for increasing the power of the reflective klystron using a cavity resonator with electrostatic focusing and an electronic mirror as a reflector. A three-electrode electron mirror allows, for a given ratio of potentials at the extreme electrodes, to control the field distribution and thereby affect the quality of space-time-of-flight focusing. This makes it possible to increase the power and efficiency of the reflective klystron due to the maximum preservation of the convection current of the device.

**Keywords:** reflective klystron, reflector, electron mirror, convection current, cavity resonator, space-time-of-flight focusing.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

МРНТИ: 89.23.31

М.М. Молдабеков<sup>1</sup>, С.А. Елубаев<sup>2</sup>, А.С. Сухенко<sup>1</sup>, А.Б. Қаметқанова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт космической техники и технологий

<sup>2</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ АППАРАТНО - ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**Аннотация.** Система ориентации обеспечивает стабилизацию летательного аппарата и его ориентирование в заданном направлении. Важным этапом в процессе разработки систем ориентации летательных аппаратов является отработка алгоритмов определения и управления ориентацией летательного аппарата в наземных условиях. В данной работе рассматривается вопрос проектирования комплекса для наземной отработки системы ориентации спутников и БПЛА. Комплекс разрабатывается на базе карданного подвеса, который имитирует условия движения испытываемого объекта в пространстве с тремя степенями свободы. Кроме того в состав комплекса входит платформа системы ориентации, на которую производится установка испытываемого объекта, система независимых измерений, предназначенная для определения параметров ориентации испытываемого устройства, и управляющий компьютер, обеспечивающий управление работой комплекса и точную оценку параметров движения испытываемого объекта на основе данных, поступающих с его датчиков ориентации и системы независимых измерений. В статье приводятся результаты проектирования всех описанных компонентов комплекса.

**Ключевые слова:** аппаратно – программный комплекс, тестирование, система ориентации, спутник, БПЛА, проектирование

Существующая в мире тенденция уменьшения стоимости проектов по разработке спутников и БПЛА достигается путем минимизации расходов на проектирование и разработку их основных служебных систем, одной из которых является система ориентации, обеспечивающая требуемое угловое положение летательного аппарата (ЛА) в процессе выполнения поставленных перед ним задач.

На начальных этапах проектирования спутников, БПЛА и их подсистем большую роль играет математическое и компьютерное моделирование, но очень важно проверить их работоспособность и эффективность на натуральных экспериментах с конкретной аппаратной реализацией. Этот вопрос может быть разрешен путем создания различного испытательного оборудования, стендов или имитаторов, которые позволяют воспроизводить условия полета в наземных условиях.

Данная статья посвящена описанию процесса проектирования аппаратно – программного комплекса для тестирования системы ориентации спутников и БПЛА. Аппаратно – программный комплекс должен обеспечивать вращательное движение испытываемого ЛА с тремя степенями свободы с минимальными ограничениями на углы поворота. Существующие комплексы тестирования систем ориентации ЛА разрабатываются на базе аэродинамических [1, 2] и проволочных подвесов [3, 4], однако они имеют ограничение на вращательное движение по осям крена и тангажа. В связи с этим для обеспечения вращательного движения испытываемого ЛА в рамках разработки аппаратно – программного комплекса тестирования выбран карданный подвес. В дальнейшем для карданного подвеса в данной работе определено название – имитатор невесомости.

1 Структура аппаратно – программного комплекса

Структурно аппаратно – программный комплекс состоит из имитатора невесомости, платформы системы ориентации, предназначенной для размещения испытываемого ЛА, системы независимых измерений, предназначенной для определения параметров ориентации ЛА в процессе испытаний, и управляющего компьютера, используемого для контроля работы комплекса (рисунок 1).

В начале испытаний летательный аппарат устанавливается на платформу системы ориентации. Из – за неравномерного распределения массы испытываемого ЛА платформа системы ориентации под действием гравитационного момента наклоняется и выходит из положения равновесия. Для снижения воздействия гравитационного момента, возникающего вследствие смещения центра масс платформы и центра вращения имитатора невесомости, необходима балансировка платформы. В связи с этим платформа системы ориентации должна быть снабжена системой балансировки. Для активации системы ориентации на испытываемом ЛА должно быть обеспечено ее питание. Для этих целей на платформе системы ориентации располагается автономный модуль питания.

В процессе тестирования системы ориентации ЛА данные о его угловом положении должны быть направлены на управляющий компьютер. Для этого на платформе системы ориентации используется беспроводной канал передачи данных. Полученные данные об угловом положении ЛА должны быть сравнены с данными независимых измерений параметров ориентации ЛА с целью получения наиболее точной оценки. В связи с этим аппаратно – программный комплекс дополняется системой независимых измерений.

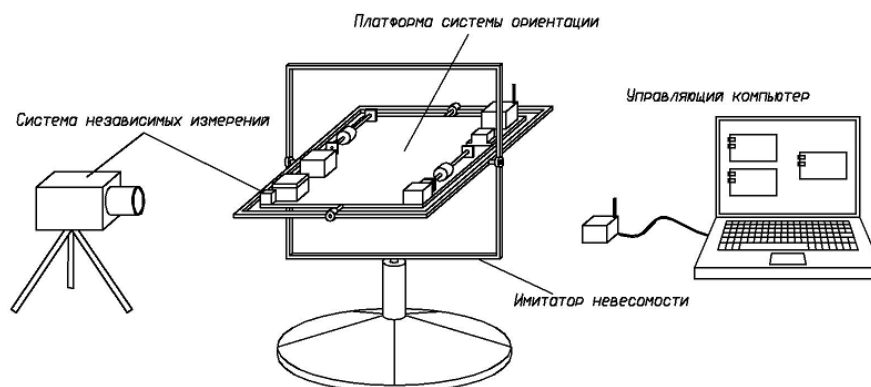


Рисунок 1 – Состав аппаратно – программного комплекса  
2 Проектирование аппаратно – программного комплекса

### 2.1 Имитатор невесомости

В ходе проектирования аппаратно – программного комплекса на первом этапе рассмотрен вопрос проектирования имитатора невесомости. Как уже было сказано выше, в качестве имитатора невесомости выбран карданный подвес.

Конструкция имитатора невесомости изображена на рисунке 2. Конструкция имитатора состоит из трех рамок. Первая рамка обеспечивает вращение испытываемого устройства вокруг оси рыскания, вторая рамка обеспечивает вращение вокруг оси тангажа, третья рамка по сути представляет собой платформу системы ориентации и обеспечивает вращение по оси крена. Все три рамки могут вращаться на 360 градусов.

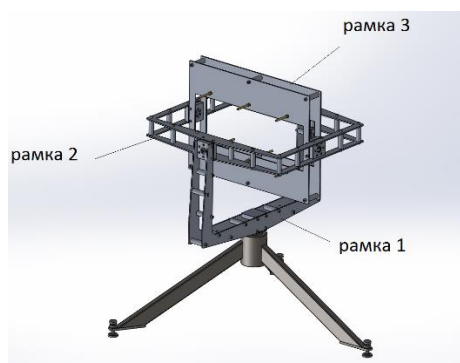


Рисунок 2 – Конструкция имитатора невесомости аппаратно – программного комплекса

Каждая рамка представляет собой конструкцию из двух пластинок, соединенных между собой винтовыми соединениями через проставки. Для обеспечения вращения вокруг своей оси каждая рамка соединена шарниром с другой рамкой. Для уменьшения трения в шарнирах используются сферические подшипники качения. Конструкцию имитатора невесомости планируется изготавливать из сплава алюминия Д16Т для обеспечения легкости и прочности конструкции.

В процессе проектирования имитатора невесомости целесообразным является проведение анализа его напряженно – деформированного состояния под воздействием нагрузки со стороны испытываемого ЛА. Анализ напряженно-деформированного состояния в рамках данной работы проведен с использованием программного обеспечения Solid Works.

Разрабатываемый стенд предположительно планируется использовать для ЛА массой около 10 кг. В процессе расчета напряженно деформированного состояния критическая масса нагрузки был выбрана с запасом в 1.5 раза больше исходной массы.

Результаты анализа напряженного состояния приведены на рисунке 3. Как видно из результатов анализа максимальное напряжение возникающие в конструкции имитатора невесомости при подаче нагрузки до 150 Н не превышает 2.29 МПа, что в 100 раз ниже предела текучести материала Д16Т ( $\sigma_m = 245..275 \text{ МПа}$ ), при превышении которого возникают необратимые деформации. Таким образом, разработанная конструкция имитатора невесомости является достаточно жесткой для того, чтобы выдерживать ЛА с заявленной массой в процессе испытаний.

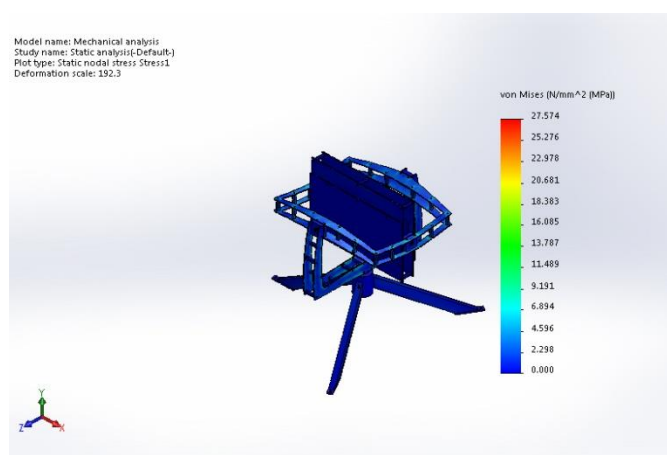


Рисунок 3 – Результаты анализа напряженного состояния имитатора невесомости

Результаты анализа деформированного состояния приведены на рисунке 4. Согласно результатам анализа, определено, что максимальное общее смещение платформы системы ориентации под нагрузкой в 150 Н относительно плоскости его установки составляет

0.373 мм, а относительно горизонтальной несущей оси на  $\sim 0.1$  мм меньше, т.е. порядка 0.273 мм. Данное смещение оказывает влияние на смещение центра масс платформы относительно центра вращения имитатора невесомости на 0.273 мм. Согласно требованиям допустимое смещение центра масс платформы относительно центра вращения имитатора невесомости составляет не более 1 мм. Таким образом, возникающие перемещения находятся в пределах допустимых значений.

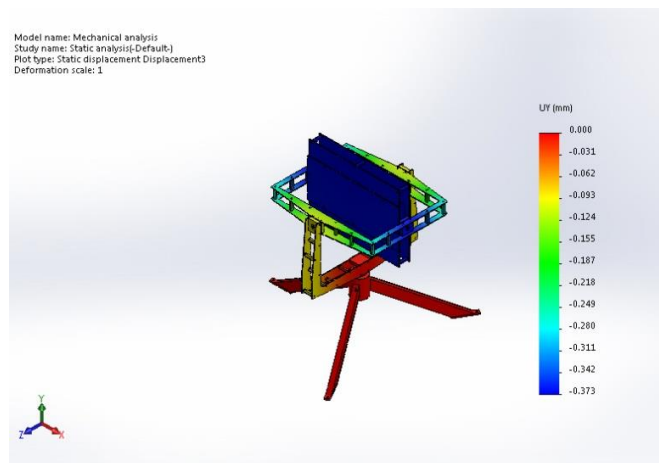


Рисунок 4 – Результаты анализа деформированного состояния имитатора невесомости

## 2.2 Платформа системы ориентации

Платформа системы ориентации располагается на третьей рамке имитатора невесомости и используется для установки испытуемого ЛА на аппаратно - программный комплекс. Платформа системы ориентации включает в себя систему балансировки, модуль питания, беспроводной канал передачи данных, а также бортовой комплекс управления.

### *Система балансировки*

Система балансировки производит уравнивание платформы системы ориентации путем уменьшения дисбаланса системы или расстояния между центром масс платформы и центром вращения имитатора невесомости до тех значений, при которых возникающий вращающий гравитационный момент достаточно мал, чтобы повлиять на положение платформы. Система балансировки разделяется на систему ручной и автоматической балансировки.

Система ручной балансировки представляет собой набор грузов различной массы, которые расположены в нескольких местах на платформе системы ориентации с возможностью их механического перемещения. Ручная балансировка представляет собой итерационный процесс в ходе которого возможно совмещение центра масс с центром вращения до момента установки малой амплитуды колебаний вокруг центра вращения. Для уменьшения амплитуды колебаний необходима более точная балансировка.

Точная балансировка осуществляется с помощью системы автоматической балансировки, которая контролируется бортовым комплексом управления, расположенным на платформе. Процесс автоматической балансировки это итерационный процесс с обратной связью. В связи с этим необходима система датчиков, с помощью которых может быть определен дисбаланс.

Дисбаланс системы может быть определен как в виде количества несимметричной распределенной массы которая выражается соответственно в г/мм (кг/м), в виде отклонения центра масс платформы от центра вращения системы, которое выражается в мм (м).

Для определения дисбаланса обычно используется набор датчиков, состоящий из акселерометров и гироскопических датчиков, устанавливаемых на корпус платформы системы ориентации.

Из всех имеющихся на рынке акселерометров для использования в составе системы автоматической балансировки наиболее подходящими являются емкостные акселерометры, так они обладают высокой чувствительностью и идеально подходят для измерения низкочастотных колебаний и параметров движения объектов [5].

Исполнительными органами системы автоматической балансировки являются шаговые двигатели, которые управляют движением грузов, перемещающихся вдоль направляющих, расположенных взаимоперпендикулярно по трем осям платформы системы ориентации.

#### *Модуль питания*

Питание всех устройств, расположенных на платформе системы ориентации, включая испытываемый ЛА, обеспечивается модулем питания, который представляет собой блок аккумуляторных батарей с мощностью не ниже суммарного энергопотребления всех компонентов платформы системы ориентации и распределитель питания, обеспечивающий выходы с различным напряжением, соответствующим рабочему напряжению испытываемого устройства (12 В), шаговых двигателей автоматической системы балансировки (5 В), логического устройства бортового комплекса управления (3 В) и устройств беспроводного канала передачи данных (3 В).

#### *Беспроводной канал передачи данных*

Беспроводной канал передачи данных используется для передачи данных о текущей ориентации испытываемого устройства на управляющий компьютер и прием команд с управляющего компьютера.

Для реализации беспроводного канала передачи данных хорошо подойдут радиочастотные приемопередатчики, работающие на частоте от 2 ГГц и обеспечивающие скорость передачи данных от 200 кбит/сек.

Представителем данного типа устройств являются приемопередатчики из линейки Xbee, использующие протокол ZigBee.

#### *Бортовой комплекс управления*

Бортовой комплекс управления представляет собой логическое устройство, осуществляющее управление работой автоматической системы балансировки, контроль работы беспроводного канала передачи данных и модуля питания. В связи с этим, вычислительных ресурсов логического устройства бортового комплекса управления должно быть достаточно для хранения и функционирования программного обеспечения приема, обработки и отправки данных и программного обеспечения автоматической балансировки. Под эти характеристики подходит микроконтроллер Atmega 8, представляющий собой 8-разрядный высокопроизводительный AVR микроконтроллер с малым энергопотреблением, частотой 4МГц и энергонезависимой памятью объемом 512 байт.

Связь между компонентами платформы системы ориентации приведена на рисунке 5.

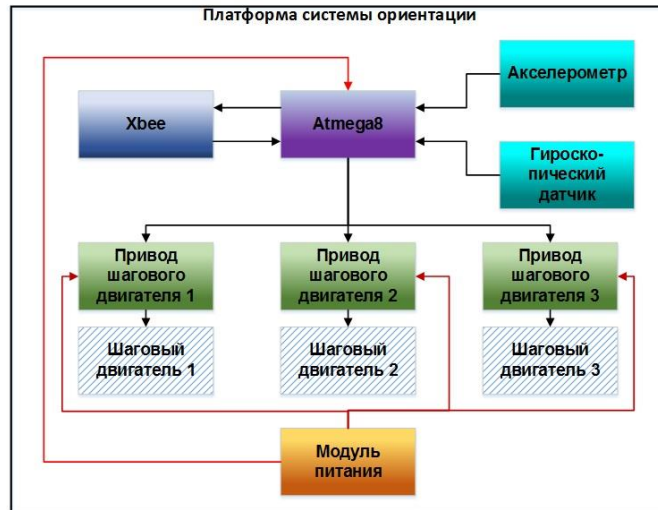


Рисунок 5 – Компоненты платформы системы ориентации

### 2.3 Система независимых измерений

Система независимых измерений представляет собой группу чувствительных приборов и программное обеспечение для обработки их выходных сигналов с целью автономного определения текущих параметров ориентации испытываемого устройства в процессе испытаний.

Большинство разработчиков стендов тестирования систем ориентации ЛА не включают в состав систему независимых измерений, полагаясь на измерения, поступающие с испытываемого устройства.

Одним из возможных вариантов построения системы независимых измерений является использование оптических датчиков или цифровых камер. В литературе известны методы восстановления ориентации объекта по изображению с одной или нескольких камер [6, 7]. Для этого на испытываемом устройстве производится расстановка специальных светоизлучающих меток.

Как правило метки выбираются в виде реперных точек или линий (рисунок 6). В случае использования реперных точек количеством  $n \geq 3$ , не лежащих на одной прямой, для определения ориентации объекта на изображении успешно используются PnP – алгоритмы [8, 9]. Для определения ориентации объекта на основе меток в виде линий используются алгоритмы приведенные в [10, 11].

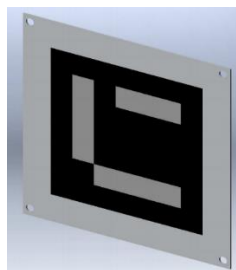


Рисунок 6 – Метка системы независимых измерений

В общем случае алгоритм определения ориентации сводится к следующим этапам:

1. бинаризация и фильтрация изображения;
2. выделение меток на изображении и определение координат их центров (в случае меток - точек) или параметров прямых (в случае меток - линий) в системе координат детектора камеры;

3. определение ориентации объекта на основе связи между координатами меток в системе координат камеры и системе координат испытываемого устройства.

Необходимо отметить, что перед непосредственным анализом изображения камера должна быть откалибрована. В частности, в результате калибровки должны быть определены фокусные расстояния камеры, выраженные в единицах ширины и высоты пикселя, координаты пересечения оптической оси камеры с плоскостью детектора, коэффициенты радиальной и тангенциальной дисторсии. Калибровка может быть проведена с использованием встроенных функций Matlab, реализующих подходы к калибровке с использованием шаблона «шахматная доска» и алгоритма Джанга [12].

#### 2.4 Управляющий компьютер

Управляющий компьютер обеспечивает связь с испытываемым устройством, в частности позволяет задавать команду на активизацию работы системы ориентации в различных режимах работы, получать и обрабатывать данные с датчиков ориентации испытываемого устройства. Управляющий компьютер производит сбор и обработку данных системы независимых измерений, на основе которых определяет истинную ориентацию испытываемого устройства. Далее, производя сравнение истинной ориентации с расчетной ориентацией, поступающей с испытываемого устройства, управляющий компьютер производит оценку углового положения испытываемого устройства. Процесс деятельности аппаратно – программного комплекса и управляющего компьютера касательно тестирования системы ориентации спутников и БПЛА приведен на рисунке 7.

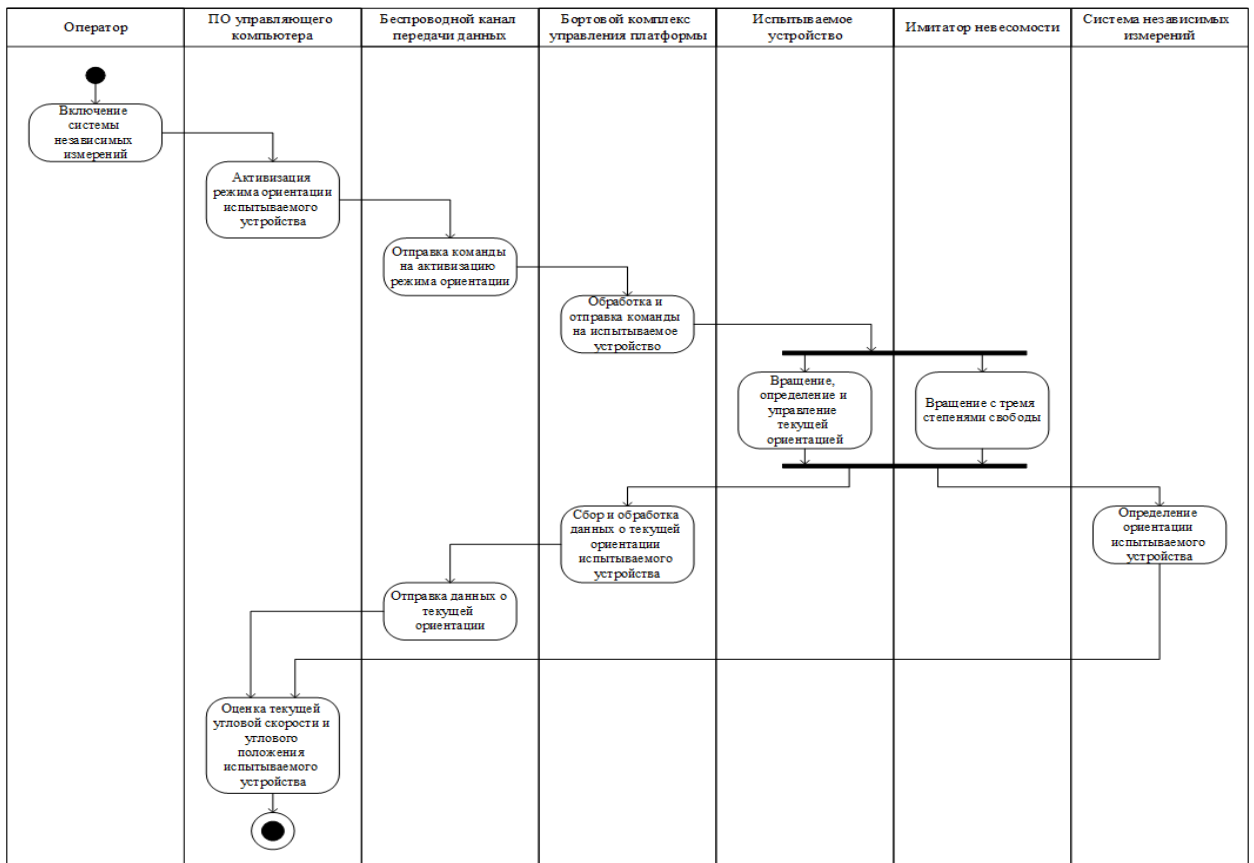


Рисунок 7 – Процесс деятельности аппаратно – программного комплекса и управляющего компьютера для испытаний системы ориентации спутников и БПЛА

#### Заключение

В данной статье рассмотрены вопросы проектирования аппаратно – программного комплекса для тестирования системы ориентации спутников и БПЛА, разрабатываемого



специалистами Института космической техники и технологий в рамках республиканской бюджетной программы 008 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности». Приведены результаты проектирования комплекса и его основных компонентов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Chesi S. A dynamic, hardware-in-the-loop, three-axis simulator of spacecraft attitude maneuvering with nanosatellite dimensions // JoSS. - 2015. - Vol. 4. - No. 1. - P. 315–328.
- 2 Schwartz J.L. The distributed spacecraft attitude control system simulator: PhD Thesis - Virginia Polytechnic Institute and State University, 2004. - 134 p.
- 3 Карпенко С.О., Овчинников М.Ю. Лабораторный стенд для полунатурной отработки систем ориентации микро- и наноспутников // Препринт ИПМ М.В. Келдыша. – 2008. URL: [http://www.keldysh.ru/papers/2008/rep38/rep2008\\_38.html](http://www.keldysh.ru/papers/2008/rep38/rep2008_38.html)
- 4 Bhargava A. Development of a quadrotor testbed for control and sensor development: Master Thesis - Clemson University, 2008. - 522 p.
- 5 Пономарев Ю. Выбор вибро-акселерометров. Простое решение сложной задачи // Электроника. – 2015. - №2. – С. 116 – 121.
- 6 Hartley R. Multiple View geometry in computer vision. - Cambridge: Cambridge University Press, 2003. – 656 p.
- 7 Paragios N, Chen Y. Handbook of Mathematical Models in Computer Vision – NY: Springer Science + Business Media, 2006. – 606 p.
- 8 Quan L, Lan Z. Linear N point camera pose determination // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1999. – Vol. 21(8). – P. 774-80.
- 9 Chou S., Gao X. Complete solution classification for the perspective-three-point problem // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2003. –Vol. 25(8). - P. 930-43.
- 10 Qin L., Cao D., Hu Y., Wei Y., Zhou Y., Wang H. Algorithm for Attitude Determination from Three Door-like Lines // Proceedings of the 2008 IEEE International conference on information and automation – 2008, Zhangjiajie, China. – P. 1359 – 1363.
- 11 Yuan J. A general photogrammetric method for determining object position and orientation // IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. – 1989. - Vol. 5. - No. 2. - P. 129-142.
- 12 Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2000. – Vol. 22(11). – P. 1330-1334.

### REFERENCES

- 1 Chesi S. A dynamic, hardware-in-the-loop, three-axis simulator of spacecraft attitude maneuvering with nanosatellite dimensions // JoSS. - 2015. - Vol. 4. - No. 1. - P. 315–328.
- 2 Schwartz J.L. The distributed spacecraft attitude control system simulator: PhD Thesis - Virginia Polytechnic Institute and State University, 2004. - 134 p.
- 3 Karpenko S.O., Ovchinnikov M.Ju. Laboratornyj stend dlja polunaturnoj otrabotki sistem orientacii mikro- i nanosputnikov // Preprint IPM M.V. Keldysha. – 2008. URL: [http://www.keldysh.ru/papers/2008/rep38/rep2008\\_38.html](http://www.keldysh.ru/papers/2008/rep38/rep2008_38.html)
- 4 Bhargava A. Development of a quadrotor testbed for control and sensor development: Master Thesis - Clemson University, 2008. - 522 p.
- 5 Ponomarev Ju. Vybor vibro-akselerometrov. Prostoje reshenie slozhnoj zadachi // Jelektronika. – 2015. - №2. – P. 116 – 121.
- 6 Hartley R. Multiple View geometry in computer vision. - Cambridge: Cambridge University Press, 2003. – 656 p.
- 7 Paragios N, Chen Y. Handbook of Mathematical Models in Computer Vision – NY: Springer Science + Business Media, 2006. – 606 p.

- 8 Quan L, Lan Z. Linear N point camera pose determination // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1999. – Vol. 21(8). – P. 774-80.
- 9 Chou S., Gao X. Complete solution classification for the perspective-three-point problem // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2003. – Vol. 25(8). - P. 930-43.
- 10 Qin L., Cao D., Hu Y., Wei Y., Zhou Y., Wang H. Algorithm for Attitude Determination from Three Door-like Lines // Proceedings of the 2008 IEEE International conference on information and automation – 2008, Zhangjiajie, China. – P. 1359 – 1363.
- 11 Yuan J. A general photogrammetric method for determining object position and orientation // IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. – 1989. - Vol. 5. - No. 2. - P. 129-142.
- 12 Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2000. – Vol. 22(11). – P. 1330-1334.

### **ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫНЫҢ БАҒДАРЛАУ ЖҮЙЕСІН ТЕСТІЛЕУГЕ АРНАЛҒАН АППАРАТТЫҚ-БАҒДАРЛАМАЛЫҚ КЕШЕНДІ ЖОБАЛАУ**

**М.М. Молдабеков, С.А. Елубаев, А.С. Сухенко, А.Б. Қаметқанова**  
Ғарыштық техника және технологиялар институты

*Аңдатпа.* Бағдарлау жүйесі ұшу аппаратының тұрақтандыруын және оның берілген бағытта нысанаға дәлдеуін қамтамасыз етеді. Жер бетіндегі жағдайларда ұшу аппараттарының бағдарлауын басқару мен анықтау алгоритмдерін жетілдіру ұшу аппараттарының бағдарлау жүйесін әзірлеу процесіндегі маңызды кезең болып табылады. Бұл жұмыста ұшқышсыз ұшу аппараты мен спутниктердің бағдарлау жүйесін жер бетінде жетілдіруге арналған кешенді жобалау мәселесі қарастырылады. Кешен еркіндік дәрежесі үшке тең кеңістікте сыналатын объект қозғалысының шарттарын имитациялайтын карданды аспа негізінде әзірленеді. Сонымен қатар, кешеннің құрамына сыналатын объект орнатылатын бағдарлау жүйесі, сыналатын құрылғының бағдарлау параметрлерін анықтауға арналған тәуелсіз өлшеулер жүйесі және тәелсіз өлшеулер жүйесі мен бағдарлау датчиктерінен алынатын деректер негізінде сыналатын объект қозғалысы параметрлерінің дәлдік бағалауы мен кешен жұмысын басқаруды қамтамасыз ететін басқарушы компьютер кіреді. Мақалада сипатталған кешен компоненттерін жобалау нәтижелері келтірілген.

*Түйін сөздер:* аппараттық-бағдарламалық кешен, тестілеу, бағдарлау жүйесі, спутник, ұшқышсыз ұшу аппараты, жобалау

### **DESIGN OF HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR TESTING OF ATTITUDE DETERMINATION AND CONTROL SYSTEM OF UNMANNED AERIAL VEHICLES**

**M. Moldabekov, S. Yelubayev, A. Sukhenko, A. Kametkanova**  
Institute of space technique and technology

*Annotation.* Attitude control system provides the stabilization of aerial vehicle and its pointing in the given direction. The main stage in the process of development of aerial vehicle attitude control system is the working out of algorithms of determination and attitude control of aerial vehicle in ground conditions. The problem of design of complex for ground workout of satellites and UAV attitude control system is considered in this work. The complex is developed based on gimbal suspension that simulates the conditions of testing object motion in space with three degree of freedom. Therefore, complex consists of attitude control system platform to which the test object is mounted, an independent measurement system for determining the orientation parameters of the test device, and a control computer that controls the operation of the complex and an accurate estimate of the motion parameters of the test object on the basis of data coming from its orientation sensors and a system of independent measurements. The results of design of all described complex components are given in the article.

*Key words:* hardware and software complex, testing, orientation system, satellite, UAV, design

МРНТИ 82.05.02  
УДК 338.3

А.А. Кулатай, Ш.Г. Джумадилова

Международный Университет Информационных Технологий, г. Алматы, Казахстан  
Email: aibolat.kulatay@gmail.com, sh.jumadilova@iitu.kz

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ В ЧАСТНЫХ ИТ КОМПАНИЯХ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

**Аннотация.** Основной целью данной статьи является анализ проблем и определение перспективы проектного управления в частных ИТ компаниях, а также разработка комплексных рекомендаций по развитию проектного менеджмента в РК. Предметом исследования выступают современные методологии, применяемые в управлении проектами. Объектом исследования являются частные ИТ компании РК и постсоветских стран, которые применяют методологии в управлении проектами, в частности ТОО «Thousand IT Group». Работа представляет сравнение применяемых методологий в разных странах, выявление недостатков в развитии данного направления, предлагает эффективные решения, необходимые для внедрения на локальном рынке. Данная работа включает в себя изучение различных методологий, анализ рынка, наблюдения в реальном времени и т.д. Информативную ценность несут описанные проблемы управления ИТ проектами в РК. Наблюдение процесса менеджмента в ИТ компаниях РК дает возможность выявления неэффективных сторон управления и взаимодействия в проекте. Полученные выводы ориентированы на использование бизнес компаниями, неправительственными организациями, заинтересованными в применении методологии проектного менеджмента, а также в учебных целях при подготовке дисциплин по управлению проектами.

**Ключевые слова:** scrum, agile, kanban, менеджмент, ИТ, методология.

### Введение

В современном мире особую значимость приобрели информационные технологии (ИТ), которые существуют и как системы обмена информации и автоматизации, и как отдельные услуги, направленные на удовлетворение той или иной потребности. Разработка или внедрение нового продукта, сервиса или среды обычно сводится к проектной деятельности, с наличием конкретной цели, сроков и ресурсных ограничений.

Но подходы к управлению ИТ проектами существенно отличаются от подходов, которые можно применить к проектам более традиционных и привычных областях. Управление же ИТ проектами затрудняется тем, что в данной сфере очень быстро меняются тренды и требования рынка, и необходимо учитывать все в режиме реального времени, чтобы избежать ситуации, когда результат проекта оказывается невостребованным или не актуальным. Поэтому грамотный и современный подход к управлению проектами критичен в этой сфере.

Однако, не все ИТ компании, особенно молодые или не крупные, уделяют достаточное внимание проектному менеджменту своей деятельности. Из-за этого на рынок ежегодно выпускаются сотни программных продуктов, которые морально устарели еще до выхода на рынок; компании теряют клиентов из-за просрочек по времени; самый важный ресурс - квалифицированный персонал - уходит в более крупные компании, где их деятельность осмысленна и структурирована.

**Цели и задачи исследования.** Целью данной работы является создание рекомендаций по внедрению эффективного проектного менеджмента в частные ИТ компании РК. Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- Обзор ИТ рынка Казахстана;

- Сравнить уровень проектного менеджмента в частных ИТ компаниях РК и постсоветских стран;
- Подготовить комплексные рекомендации по внедрению эффективного проектного менеджмента в частные ИТ компании РК.

Результатом данной работы является порядок действий по внедрению эффективной методологии в проектный менеджмент РК для частных ИТ компаний.

Практическая часть работы выполнена на основе данных ИТ компании «Thousand IT Group» в ходе анализа внутренних и внешних коммуникаций и взаимодействия в проекте.

#### Обзор ИТ рынка Казахстана

Как и во многих других сферах, в сфере информационных технологий важное место занимает проектный подход к работе. К ИТ-проектам можно отнести любой проект, который задействует применение информационных технологий: непосредственную разработку программного обеспечения или внедрение в процесс производства информационных и автоматизированных систем [1]. Отдельным пунктом стоит упомянуть об ИТ-стартапах, которые в большинстве своём так же являются проектами, нацеленными на привлечение инвестиций и извлечение прибыли.

Как известно, весь рынок ИТ делится на несколько сегментов: hardware, software, ИТ-услуги и телекоммуникации. По данным Комитета по статистике РК, рынок «хард» в Казахстане занимает лидирующие позиции и составляет 79% всей ИТ-отрасли (рисунок 1).

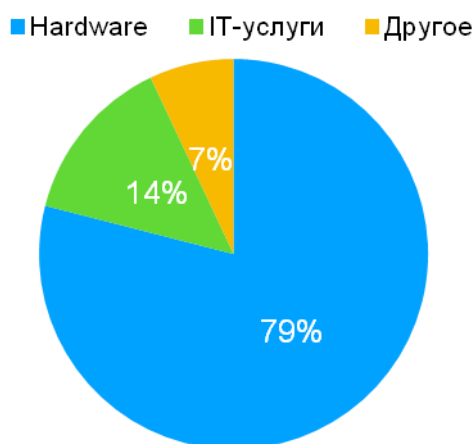


Рисунок 1. Структура ИТ рынка Казахстана

Что касается ИТ-услуг, то этот сегмент рынка расположился на втором месте после «hardware». По статистическим данным этот сегмент занимает 14 % отечественного ИТ-рынка. Среди всех видов услуг среди казахстанских пользователей особым спросом пользуются консультативные услуги по разработке программного обеспечения (ПО), а также по техническому обслуживанию. Далее следуют услуги, связанные с ремонтом, поставкой компьютерной техники и разработка интернет-сайтов. Как показывают статистические данные, большая часть казахстанских ИТ-компаний специализируется именно на услугах, прибыль от них составляет 43,8% от всего уровня доходов на ИТ-рынке [2].

Сейчас и государственный сектор, и бизнес сектор в целях автоматизации, увеличения продаж обращаются к локальным исполнителям ИТ услуг. Некоторое время назад все было иначе, организации массово покупали готовые решения как ERP, BMR, CRM, вкладывая большие деньги. С быстрым темпом развития глобализации, заказчики поняли, что можно делать ПО под свои индивидуальные требования.

В продолжении данной темы, важно отметить отечественных производителей ПО, которые имеют большое влияние не только на ИТ сектор страны, но и на экономическое развитие, поскольку аутсорсинг, то есть разработка отечественного ПО не менее важная часть рынка [3]. Как показано на рисунке 2, Государство остается главным заказчиком аутсорсинг рынка страны. Исходя из этого можно делать выводы, что программы, законы внедряемые для поддержки ИТ рынка имеют особую роль в развитии ИТ сегмента страны. На втором месте корпоративные клиенты, которые заказывают данные услуги в целях автоматизации или увеличения продаж в своей деятельности. Физические лица, граждане, в частности, владельцы ИТ стартапов также являются заказчиками ИТ аутсорсинг компаний. Не менее важную роль играют зарубежные заказчики, особенно из Европы. Главной причиной является низкая стоимость аутсорсинга услуг внутри страны.

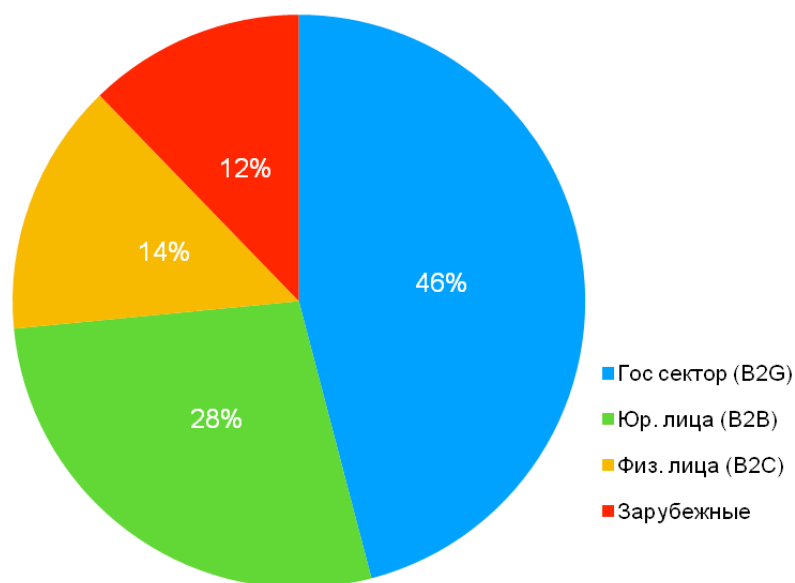


Рисунок 2. Структура Заказчиков ИТ аутсорсинг компаний

Из предыдущих анализов стало понятно, что как и в странах СНГ, в Казахстане ИТ аутсорсинг имеет особую роль в ИТ сегменте страны. В процессе разработки данных ПО часто возникают различные проблемы. Для более подробного исследования был изучен процесс разработки ИТ аутсорсинг компании ТОО «Thousand IT Group» для сравнения с внутренними системами других частных ИТ компаний стран СНГ. В ходе анализа был выявлен ряд проблем (рисунок 3), наличие которых подтверждают и представители других частных ИТ компаний РК.



Рисунок 3. Причины провала проектов

Для повышения эффективности необходимо работать с каждой проблемой по отдельности. Множество причин провалов (отсутствие четкого требования, низкий уровень управления рисками, недостаточный контроль работ, низкий уровень коммуникаций) связаны непосредственно с управлением проектами. Во многих IT компаниях взаимодействие происходит посредством использования методологий управления проектами. Среди применяемых методологий есть как устаревшие, так современные. В зарубежной литературе выделяется семь основных подходов к управлению IT-проектами, которые ведут свою историю с 50-х годов XX века (зарождение индустрии информационных технологий). Данные виды методологий были изменены в связи с развитием технологий и трендов. Основными являются два направления управления методологиями: традиционные и гибкие методологии. Итерационные и инкрементные модели относятся к гибким видам методологий. Выбор подходящей методологии зависит от разных факторов, таких как трудовые, временные ресурсы, уровень квалификации, сроки и бюджет [4]. Оптимальным количеством в команде для взаимодействия в проектном сообществе признается 10 человек, а Agile представляет собой самую популярную методологию на данный момент, включающую в себя такие методики управления проектами как Scrum, Kanban и т.п. Для анализа эффективности использования данных методологий было проведено интервью с представителями различных частных IT компаний СНГ (таблица 1).

Таблица 1 - Анализ проектного управления в постсоветских странах

Название компании	Город	Применяемая методология
InApp	Москва	Нет внутренней системы
Mars Studio	Алматы	Scrum, Kanban, Agile
Hsoft	Алматы	Нет внутренней системы
Маурис	Киев	Kanban
ZooMaps	Алматы	Своя внутренняя система
Гарком	Алматы	Своя внутренняя система
Динамика	Алматы	Своя внутренняя система
ЛофтиМун	Алматы	Своя внутренняя система
Ace light	Алматы	Мини Kanban
Мобильная кухня	Алматы	Kanban
Метаноиа	Нур-Султан	Нет внутренней системы
ABC design	Алматы	Нет внутренней системы

AntsPro	Алматы	Водопад, scrum, kanban
ДжейЛаб	Минск	Своя внутренняя система
Astana creative	Нур-Султан	Нет внутренней системы
Simple code	Нур-Султан, Караганда	Своя внутренняя система
V- jet	Днепропетровск	Jira-agile
Panda Mobile	Нур-Султан	Kanban, fastvane, github

В результате данного анализа, можно сделать вывод, что не все IT компании готовы к полноценному внедрению Agile, Scrum и т.п. Есть ряд причин: отсутствие кадров, экспертов по данным методологиям, неправильное внедрение инструментов и т.п.

Таким образом, для устранения или уменьшения влияния причин на эффективность работы необходимо учитывать нижеуказанные рекомендации, которые были утверждены в ходе интервью с исполнителями, разработчиками ПО, которые повседневно сталкиваются с одними и теми же проблемами.

- Сотрудники, включая менеджеров и исполнителей, должны говорить на одном языке управления проектами (использовать общий глоссарий).

- Каждый участник проекта должен понимать и уметь применять необходимые инструменты и методы проектного управления (таблица 2). Помимо своих профессиональных знаний, работники должны знать и уметь управлять работами проекта - значит, правильно их структурировать и объединять в единую систему достижения целей. Знать и уметь использовать инструменты и методы, позволяющие управлять сроками проекта, выстраивать последовательность работ, определять длительность, ресурсные потребности работ, как человеческие, так и материальные.

Таблица 2 - Сравнение сервисов для взаимодействия команд

Платформа	Преимущества	Недостатки
Trello	-Бесплатно до 20 человек; -Удобное мобильное, десктопное приложение; -Возможность персонализации интерфейса.	-Отсутствие личных дашбордов; -Отсутствие системы приоритизации; -Нет системы бэклогов и спринтов.
Яндекс.Трекер	-Специализация на разработке ПО; -Гибкая настройка досок задач; -Возможность создания базы знаний; -Возможность ведения общего бэклога и бэклога спринтов; -Удобная система меток и хэштегов; -Низкая стоимость; -Русскоязычный интерфейс.	-Отсутствие десктопного приложения; -Ограниченный функционал мобильного приложения.

Платформа	Преимущества	Недостатки
Jira	-Специализация на разработке ПО; -Гибкая настройка досок задач; -Возможность ведения общего бэклога и бэклога спринтов; -Возможность комментирования задач и создания заметок; -Возможность создание базы знаний из выполненных задач; -Удобное десктопное приложение.	-Отсутствие русскоязычного интерфейса; -Сложность в освоении; -Высокая стоимость; -Отсутствие мобильного приложения.

Выбор сервиса обмена программным кодом производился на основе интервьюирования персонала ТОО “Thousand IT Group”, так как их мнение в данном вопросе можно считать экспертным. В результате выбор был сделан в пользу Trello, так как всеми разработчиками было отмечено удобство данного сервиса, а так же важность наличия базы знаний, шаблонов и т.п.

Таким образом, удалось сформировать пакет программ, которые способствуют успешному применению данной методологии и в других компаниях на опыте ТОО “Thousand IT Group”.

- Своевременное определение бюджета на разных стадиях разработки и планирования даст возможность успеть завершение проекта к сроку.

- Анализ текущего состояния проекта также на маловажный момент. С помощью метода освоенного объема позволяет можно контролировать эффективное использование денежных средств и прогнозировать сроки и бюджет [5].

- Большинство случаев провала происходит из-за не ясных требований (34%). Важный момент количество заинтересованных лиц. Насколько много заинтересованных лиц, настолько разносторонними бывают требованиях и часто не пересекаются. Важно иметь в команде специалиста по оформлению технических требований.

- Важно также управление качеством программного продукта [6].

- Важно также управление человеческими ресурсами. Их взаимодействие внутри и вне команды, что влияет на баланс и на командный дух. Хорошим решением является организация мероприятий, тимбилдингов для повышения сплоченности команды.

- В команде должна быть критическая масса специалистов. Более опытные специалисты должны обучать стажеров и готовить их. Только тогда команда может выйти из разных рискованных ситуаций.

- Управление проектами - это во многом процессы документального оформления действий. Поэтому очень важно в компании создавать собственные стандарты в виде положений, инструкций, регламентов управления проектом.

- На протяжении всего проекта необходим контроль. По результатам анализа, слабый контроль привел к неэффективности 15% проектов. Необходимо создать эффективную систему отчетов, приводимых на регулярной основе в устной или письменной форме, удобно отображающую выполнение работ и задач.

### **Заключение**

На сегодняшний день IT-сфера является одной из самых активно развивающихся и распространенной как в бизнес среде, так и в повседневной жизни населения. Ключевая особенность IT-проектов заключается в высоких требованиях к актуальности продукта современному состоянию рынка. Так же часто в ходе их реализации возникает превышение сроков и бюджета из-за низкой готовности команд разработчиков к внесению



необходимых изменений. Это наносит ущерб как владельцам проекта, конечным пользователям, так и самим командам разработки программных продуктов. Поэтому актуальным становится выбор такой методологии управления проектами, которая бы отвечала всем требованиям к современным IT-проектам.

В данной работе, по мере выявления проблем, разработаны некоторые рекомендации на основе анализа процесса работы IT-аутсорсинг компании Thousand IT Group.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Деннинг, С. 2015. Как сделать всю организацию гибкой. Стратегия и лидерство, 43 (6): 10-17.
2. IT-рынок Казахстана. Часть 1: hardware, IT-услуги и телекоммуникации. [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=30782621#pos=3;60](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30782621#pos=3;60)
3. Итоги 2018: IT-рынок Казахстана. <https://profit.kz/news/52002/Itogi-2018-IT-rinok-Kazahstana/>
4. Арчибальд Р.Д. Управление высокотехнологичными программами и проектами /Р.Д. Арчибальд. - Москва: ДМК-пресс, 2017. С. 16-50
5. Вольбсон Б. Гибкое управление проектами и продуктами / Б.Вольбсон. - Санкт-Петербург: Питер, 2015. - 156 с.
6. Хэлдман К. Управление проектами. Быстрый старт /К.Хэлдман - Москва : ДМК-пресс, 2014. - 201 с.

#### **REFERENCES**

1. Denning, S. 2015. Kak sdelat' vsju organizaciju gibkoj. Strategija i liderstvo, 43 (6): 10-17.
2. IT-rynok Kazahstana. Chast' 1: hardware, IT-uslugi i telekommunikacii. [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=30782621#pos=3;60](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30782621#pos=3;60)
3. Itogi 2018: IT-rynok Kazahstana. <https://profit.kz/news/52002/Itogi-2018-IT-rinok-Kazahstana/>
4. Archibal'd R.D. Upravlenie vysokotekhnologichnymi programmami i proektami /R.D. Archibal'd. - Moskva: DMK-press, 2017. С. 16-50
5. Vol'bson B. Gibkoe upravlenie proektami i produktami / B.Vol'bson. - Sankt-Peterburg: Piter, 2015. - 156 с.
6. Hjeldman K. Upravlenie proektami. Bystryj start /K.Hjeldman - Moskva : DMK-press, 2014. - 201 с.

## **PROJECT MANAGEMENT IN PRIVATE IT COMPANIES: PROBLEMS AND PROSPECTS**

**Kulatay A.A., Jumadilova Sh.G.**

International Information Technologies University, Almaty, Kazakhstan

Email: aibolat.kulatay@gmail.com, sh.jumadilova@iitu.kz

**Abstract.** The main purpose of this article is to analyze the problems and determine the prospects of project management in private IT companies, as well as to develop comprehensive recommendations for the development of project management in the Republic of Kazakhstan. The subject of the research is modern methodologies applied in project management. The object of the research is private IT companies of the Republic of Kazakhstan and post-Soviet countries that apply methodologies in project management, in particular, Thousand IT Group LLP. The work presents a comparison of the applied methodologies in different countries, identifying deficiencies in the development of this area, offers effective solutions necessary for implementation in the local market. This work includes the study of various methodologies, market analysis, real-time monitoring, etc. The informative value of the described problems of IT project management in the Republic of Kazakhstan. Observation of the management process in IT companies of Kazakhstan provides an opportunity to identify inefficient parties to management and interaction in the project. The findings are focused on the use of business companies, non-governmental organizations interested in applying the methodology of project management, as well as for educational purposes in the preparation of disciplines for project management.

**Keywords:** scrum, agile, kanban, management, IT, methodology.

## **ЖЕКЕМЕНШІК ІТ КОМПАНИЯЛАРДАҒЫ ЖОБАЛАРДЫ БАСҚАРУ: МӘСЕЛЕЛЕРІ МЕН КЕЛЕШЕГІ**

**Кулатай А.А., Джумадилова Ш.Г.**

Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан

Электрондық пошта: aibolat.kulatay@gmail.com, sh.jumadilova@iitu.kz

**Аңдатпа.** Осы мақаланың негізгі мақсаты - проблемаларды талдау және жеке ІТ-компанияларда жобаларды басқарудың келешегін айқындау, сондай-ақ Қазақстан Республикасында жобаларды басқаруды дамыту бойынша кешенді ұсыныстар әзірлеу болып табылады. Зерттеу мәні - жобаларды басқаруда қолданылатын қазіргі заманғы әдіснамалар. Зерттеу нысаны - жобаларды басқару әдістерін қолданатын Қазақстан Республикасының және бұрынғы кеңестік елдердің жекеменшік ІТ-компаниялары, атап айтқанда, Thousand IT Group LLP. Жұмыста әртүрлі елдерде қолданбалы әдістерді салыстыру, осы саланы дамытудағы кемшіліктерді анықтау, жергілікті нарықта іске асыруға қажетті тиімді шешімдер ұсынылған. Бұл жұмыс әртүрлі әдістемелерді, нарыққа талдау жасауды, нақты уақыттағы мониторингті және т.б. қамтиды. Қазақстан Республикасында ІТ жобаларын басқару мәселелерінің сипаттамасы мақаланың ақпараттық құндылығы болып табылады. Қазақстандағы ІТ -компанияларындағы басқару үдерісін бақылау жобада басқару мен өзара әрекеттесудің тиімді емес жақтарын анықтауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері жоба менеджменті әдіснамасын қолдануға мүдделі бизнес-компанияларда, үкіметтік емес ұйымдарда пайдалануға, сондай-ақ жобаларды басқару үшін пәндерді дайындау кезінде білім беру мақсаттарына қолдануға бағытталған.

**Түйін сөздер:** scrum, agile, kanban, басқару, ІТ, әдіснама.

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

МРНТИ 27.37.17

М.Б. Байбазаров

Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Казахстан

ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ С МИНИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИЕЙ

**Аннотация.** Решается задача программного управления, переводящая линейную систему из заданного начального состояния в конечное состояние и имеющая при этом наименьшую интенсивность управляемых процессов. Оценка качества процесса управления дается при условии минимальности «энергии» управляющего воздействия.

Получены необходимые и достаточные условия оптимальности для задачи управления с минимальной энергией и построено оптимальные управления для линейной системы.

**Ключевые слова:** программное, оптимальное управление, интенсивность управления, дифференциальное уравнение.

Пусть движение объекта списывается векторным линейным дифференциальным уравнением

$$\dot{x} = A(t)x + B(t)u + \omega(t) \tag{1}$$

где  $x$  –  $n$  – мерный вектор,  $u$  –  $r$  – мерная вектор управление,  $\omega$  –  $r$  – мерный вектор помехи,  $A(t), B(t)$  – непрерывные матрицы функции.

**Задача.** Заданы уравнения движения объекта (1), отрезок времени  $[t_\alpha, t_\beta]$ , начальное и конечное состояния  $x^\alpha$  и  $x^\beta$  объекта. Выбрана интенсивность

$$x[u] = \left[ \int_{t_\alpha}^{t_\beta} \|u(\tau)\|^2 d\tau \right] \tag{2}$$

управления  $u(t)$ , которая может быть истолковано как норма  $\rho^*[u]$  функции в пространстве  $B^*\{u(t)\}$ . Требуется среди допустимых уравнении  $u(t)$  найти оптимальное управление  $u^0(t)$  переводящее систему (1) из состояния  $x^\alpha$  в состояние  $x^\beta$  имеющие при этом наименьшую норму  $\rho^*[u^0]$ .

Для решения этой задачи определим минимальную функцию,  $h^0(\tau)$  на основании которой находится оптимальное управление.

Минимальная функция  $h^0(\tau)$  вычисляется следующим образом: Составим решение системы (1) по формуле Коши [2]

$$x(t) = X[t_\beta, t_\alpha] + \int_{t_\alpha}^{t_\beta} X[t_\beta, \tau] \omega(\tau) d\tau + \int_{t_\alpha}^{t_\beta} H[t, \tau] u(\tau) d\tau, \tag{3}$$

где  $X(t, \tau)$ - фундаментальная матрица однородной системы  $\dot{x} = A(t)x$ ,  $P(t, \tau)$ -переходная матрица импульсной системы элементами которой служит вектор-функции  $h(\tau) = \sum_{i=1}^n \ell_i h^{[i]}(\tau)$ ,

среди которых ищется минимальная функция  $h^0(\tau)$ . [3] Более того, вектор-функции системы (1) определяется равенством

$$h(\tau) = B'(\tau) \cdot s(\tau),$$

где  $s(\tau)$  решение сопряжённой системы

$$\dot{s}(t) = -A'(t)s(t),$$

знак  $A'(t)$  транспонирование матрицы  $A$ . [2]

Таким образом, определение минимальной функции  $h^0(\tau)$  сводится к решению следующей задаче: Найти

$$\rho^o = \min_s \rho[B'(\tau)s(\tau)] = \rho[B'(\tau)s^o(\tau)]$$

при условии  $c' \cdot s(t_\beta) = 1$ .

Решением этой задачи является функция  $h^0(\tau) = B'(\tau)s^o(\tau)$ , который имеет наименьшую норму, а для этого необходимо и достаточно чтобы  $\rho^o > 0$ .

При этом оптимальное уравнение определяется из условия

$$\int_{t_\alpha}^{t_\beta} h^{o'}(\tau)u^o(\tau)d\tau = \max_u \int_{t_\alpha}^{t_\beta} h^{o'}(\tau)u(\tau)d\tau = 1 \quad \text{при} \quad \int_{t_\alpha}^{t_\beta} \|u(\tau)\|^2 d\tau = \frac{1}{(\rho^o)^2} = v_o^2. \quad \text{Это и есть}$$

задача нахождения условного экстремума. [1]

По методу нахождения условного экстремума составим функционал

$$J(u) = \int_{t_\alpha}^{t_\beta} \left[ \lambda_i \|u_i^o(\tau)\|^2 + \sum_{j=1}^n \lambda_j h_j^o(\tau) \cdot u_j(\tau) \right] d\tau$$

Необходимым условием экстремума этого функционала является обращение в нуль производные подынтегральной функции по переменной  $u$ :

$$2\lambda_i u_i^o(\tau) + h_i^o(\tau) = 0, \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

где  $h_i^o$  и  $u_i^o$  -компоненты векторов  $h^o$  и  $u^o$  соответственно.

Таким образом, определение минимальной функции  $h^o(\tau)$  сводится к решению следующей задаче: Найти

$$\rho^o = \min_s \rho[B'(\tau)s(\tau)] = \rho[B'(\tau)s^o(\tau)]$$

при условии  $c' \cdot s(t_\beta) = 1$ . [1]

Решением этой задачи минимальную функцию запишем в виде  $h^o(\tau) = B'(\tau)s^o(\tau)$ , а оптимальное значение управление  $u^o(\tau)$  определяется формулой

$$u^o(\tau) = -\frac{1}{2\lambda} h^o(\tau) \quad (4)$$

$$-\frac{1}{2\lambda} = v_o^2, \quad u^o(\tau) = v_o^2 h^o(\tau) = v_o^2 B'(\tau) s(\tau, t_g) \ell^o.$$

**Пример**

Материальная точка массы "m" движется в вертикальной плоскости  $(x_1, x_2)$  в поле силы тяжести. (рис.1). Математическая модель движения имеет вид  $m \frac{dv}{dt} = \vec{f} + g$  или в координатной форме [5]

$$\begin{cases} \bullet \\ x_1 = x_2 \\ \bullet \\ x_2 = u_1 \\ \bullet \\ x_3 = x_4 \\ \bullet \\ x_4 = u_2 - g \end{cases}$$

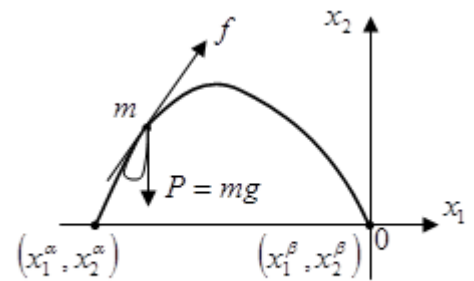


Рисунок 1

или матричной форме [5]

$$\begin{pmatrix} \bullet \\ x_1 \\ \bullet \\ x_2 \\ \bullet \\ x_3 \\ \bullet \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -g \end{pmatrix}$$

Пусть  $t_\alpha = 0$ ;  $t_\beta = 1$ , начальное и конечное состояние заданы точками  $(-1,000)$ ,  $(0,000)$

. Определим вектор-функции  $h(\tau) = B'(\tau)S'(\tau,1)\vec{e} =$

$$= H'(1;\tau)\vec{c} = \begin{pmatrix} 1-\tau & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\tau & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_1(1-\tau) + e_2 \\ e_3(1-\tau) + e_4 \end{pmatrix},$$

$$S'(\tau,1) = X(1,\tau) = \begin{pmatrix} 1 & 1-\tau & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1-\tau \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ фундаментальная матрица однородной системы.}$$

Таким образом, вычисление  $h^o(\tau)$  сводится к нахождению поверхности  $\phi(\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_n) = \rho^2$ , которой касается плоскости  $\sum_{i=1}^n c_i \ell_i = 1$ , причем числа  $\ell_i (i = 1, 2, \dots, n)$  будет как раз координатами точки касания поверхности. [4]

т.е. Найдем  $\rho^2 = \min_{\ell} \int_0^1 \|B'(\tau) s'(\tau, 1) \ell\|^2 d\tau = \min_{\ell} \int_0^1 \{[\ell_1(1-\tau) + \ell_2]^2 + [\ell_3(1-\tau) + \ell_4]^2\} d\tau =$   
 $= \min_{\ell} \left[ \frac{\ell_1^2}{3} + \ell_1 \ell_2 + \ell_2^2 + \frac{\ell_3^2}{3} + \ell_3 \cdot \ell_4 + \ell_4^2 \right]$  при условии  $\ell_1 + \frac{q}{2} \ell_3 + q \ell_4 = 1$ . Для

определении этого минимума воспользуемся методом множителей Лагранжа [23\*]. В соответствии с этим методом составим выражение

$$\Gamma = \frac{1}{3} \ell_1^2 + \ell_1 \ell_2 + \ell_2^2 + \frac{1}{3} \ell_3^2 + \ell_3 \ell_4 + \ell_4^2 + \lambda \left( \ell_1 + \frac{q}{2} \ell_3 + q \ell_4 - 1 \right), \quad \text{дифференцируем}$$

последовательно по  $\ell_1, \ell_2, \ell_3, \ell_4$  и  $\lambda$  получим систему линейных алгебраических

уравнений:  $\frac{2}{3} \ell_1 + \ell_2 + \lambda = 0, \ell_1 + 2\ell_2 = 0, \frac{2}{3} \ell_3 + \ell_4 + \frac{q}{2} \lambda = 0, \ell_3 + 2\ell_4 + q\lambda = 0,$

$\ell_1 + \frac{q}{2} \ell_3 + q \ell_4 = 1$ ; Эта система имеет решение

$$\ell_1^o = \frac{12}{q^2 + 12}, \ell_2^o = \frac{6}{q^2 + 12}, \ell_3^o = 0, \ell_4^o = \frac{q}{q^2 + 12}; \lambda = -\frac{2}{q^2 + 12};$$

Следовательно, в данном случае  $h^o(\tau) = \frac{1}{q^2 + 12} \begin{bmatrix} 6 - 12\tau \\ q \end{bmatrix}; (\rho^o)^2 = g^2 [h^o(\tau)] = \frac{1}{q^2 + 12}.$

Оптимальное управление  $u^o(\tau)$  определяется по формуле (4)

$$u^o(\tau) = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} b - 12t \\ q \end{bmatrix}.$$

Итак, справедливо следующее заключение:

Оптимальное управление для задачи минимума интенсивности имеет решение единственное и оно определяется пропорциональна минимальной функции.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красовский Н.Н. Теория управления движением. - М.: Наука, 1968. - 476 с.
2. Степанов В.В. Курс дифференциальных уравнений. - М.: Наука, 2009. - 465с.
3. Хасеинов К.А. Канонь в математики. - Алматы, 2003. - 680с.
4. Байбазаров М.Б. Об одной задаче управления с детермированной помехой. Вестник КазГАСА. - Алматы, 2015.
5. Балонин Н.А. Новый курс теория управления движением. - М.: Наука, 2000. - 160с.

## **ЕҢ АЗ ҚУАТТЫЛЫҚПЕН СЫЗЫҚТЫ ЖҮЙЕНІ БАСҚАРУ ЕСЕБІ**

**М. Б. Байбазаров**

Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан

*Аңдатпа.* Сызықты жүйені бастапқы күйінен ақырғы күйіне ең аз шығынмен тиімді басқару есебінің бағдарламасы қарастырылды. Сапалы басқару тәсілінің бағалары берілді.

Ең аз «энергия» арқылы тиімді басқару есебінің қажетті және жеткілікті шарттары алынды және тиімді басқару тәсілінің формулалары қортылды.

*Кілттік сөздер:* дифференциалдық теңдеулер, бағдарламалық басқару, тиімді басқару, қарқынды басқару.

## **THE TASK OF CONTROLLING A LINEAR SYSTEM WITH MINIMAL ENERGY**

**M.B. Baibazarov**

Almaty University of Power engineering and telecommunication, Almaty, Kazakhstan

*Abstract.* The problem of programmed control transforms a linear system from a given initial state to a final state and has the lowest intensity of controlled processes. Evaluation of the quality of the control process is given under the condition that the control energy is minimal.

The necessary and sufficient optimality conditions for the control problem with the minimum energy are obtained and the optimal control for the linear system is constructed.

*Key words:* Differential equation, program control, optimal equation, intensive control.

## **REFERENCES**

- 1) Krasovskiy N.N. Motion Control Theory. – Moscow: Nauka, 1968. – 467 p.
- 2) Stepanov V. V. Course of defferential equations. – Moscow: Nauka, 2009. – 465 p.
- 3) Kaseinov K. A. The canons of mathematics. – Almaty, 2003.- 680 p.
- 4) Baibazarov M. B. On a control problem with deterministic intereference. – Bulletin of KazGASA. – Almaty, 2015.
- 5) Balonin N. A new course in the theory of motion control. – Moscow: Nauka, 2000, 160 p.

## **ИННОВАЦИИ В ВЫСШЕМ ОБРАЗОВАНИИ**

**А.Г.Саргизова**

Учреждение Образования «Алматы Менеджмент Университет», г. Алматы,  
Казахстан

### **ВЫВОД ТОВАРА НА МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЫНОК: ОБЗОР МАРКЕТИНГОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены маркетинговые инструменты, с помощью которых предприниматель (компания) выводит свой товар на международный рынок. Особое внимание в статье уделено инструментам, которые связаны с развитием цифровых технологий и, прежде всего, развитием Интернет-технологий. Автор приходит к выводу, что в качестве инструмента вывода на международный рынок сегодня наиболее интересным является «Amazon» - крупнейший ретейлер по всему миру. Также автор приходит к пониманию того, что вывод товара на международный рынок посредством «Amazon» в ряде случаев осуществить проще и эффективнее, чем открыть собственный бизнес у себя в стране. Продажи на «Amazon» можно легко организовать, так как основные моменты площадка берет на себя. Данный вариант в плане повышения прибыльности бизнеса представляется достаточно эффективным, так как «Amazon» берет на себя больше половины всех обязательств. По сути это уже автоматизированный процесс, который практически не требует вмешательства.

*Ключевые слова.* Маркетинговые инструменты, «Amazon», технологии, компания, вывод, международный рынок.

Развитие рынка товаров и услуг в данное время находится в состоянии усиления конкуренции и динамического изменения темпов различных экономических факторов, которые тем или иным образом оказывают влияние на существующее положение значительной части товаров и услуг на рынке. Наряду с этим становится очевидным перенасыщение рынков, которое происходит за счет большого числа выводимых новых продуктов. Сложившееся положение нуждается в грамотном и компетентном подходе к вопросам разработки стратегии вывода товара.

Для того, чтобы разработать стратегию нового товара наиболее главной частью данного процесса представляется составление системы комплексного планирования программы вывода, так называемой стратегии, позволяющий компании все продумать заранее, учесть всевозможные риски, правильным образом организовать все имеющиеся и потенциальные ресурсы, одним словом, быть готовыми ко всему, что может произойти на рынке и в соответствии с этим принимать грамотные управленческие решения. Стратегия вывода товара на рынок должна работать на достижение основной стратегической цели – добиться реализации поставленных задач в области достижения запланированных показателей (по прибыли, обороту и т.д.).

Если проанализировать сложившуюся на сегодняшний день ситуацию с выводом товаров различных компаний, то становится очевидным, что большинство из них так и не добиваются задуманного. Несмотря на то, что в большинстве случаев продукт или услуга правильно разработаны, освоено производство, которое охватывает достаточные финансовые, интеллектуальные ресурсы и может быть имеется даже и первый удачный опыт, но запустить товар в серийное производство все же не получается. Причиной неудач



является отсутствие опыта в компаниях по выводу товара на рынок, на котором имеется сильное давление конкуренции.

Актуальность выбранной темы объясняется также и тем, что современная практика показывает: есть успешные компании, которые смогли выйти на рынок со своим товаром благодаря каким-то другим факторам, нежели профессионально разработанная стратегия, но в тоже время, значительная часть эмпирических исследований доказывает то, что компании, которые осуществляли вывод своего товара на международный рынок строго соблюдая все правила стратегического менеджмента в части вывода товара, показывают все же лучшие результаты в данном вопросе. Также нельзя не принимать в расчет влияние финансово-экономического кризиса, который очень точно расставляет все точки на «И», указывая на то, что стратегические ошибки и неумение компаний реагировать на изменения во внешней среде могут довести компанию до банкротства. Следовательно, разработка стратегии вывода товара на международный рынок является наиболее приоритетной компетенцией и задачей топ-менеджеров компаний, учитывая современное состояние рынка, его изменчивые условия и нарастающую конкуренцию.

Маркетинговые инструменты – это комплекс мер и методов, посредством которых компания напоминает, извещает, информирует, убеждает потребителя, одним словом делает все, что возможно, чтобы последний знал о ее товарах и услугах, и более того, пользовался ими. Для этого системе необходимо выполнять такие функции, как:

- Выделить определенный продукт из всей товарной массы, проинформировать покупателей о нем, с помощью маркетинговых способов поддерживать популярность имеющихся товаров, проводить разъяснительную политику в отношении цены и качественных преимуществ данного товара среди потребителей и др.

- Создавать благожелательный и позитивный имидж компании посредством формирования приятной информации о конкурентах фирмы.

В процессе вывода нового товара система продвижения компании базируется и работает с главными маркетинговыми элементами, это: товар, цена и распределение.

Таким образом, инструменты при выводе нового продукта – это разработка и внедрение (практическая апробация) комплекса маркетинговых мероприятий, направленных на стимулирование спроса с целью дальнейшего и систематического получения прибыли. В этой связи, необходимо сказать, что современная наука выделяет два пути в исследуемой системе. В данном случае речь идет об ориентировании на товар и об ориентировании на потребителя. В первом случае вся система продвижения подчиняется и выстраивается в соответствии с этапами жизненного цикла товара, то есть:

- этап выделения товара на рынок включает важнейшие моменты, связанные с донесением необходимой информации о товаре до потребителя;

- этап роста включает выделение определенного вида товара среди других;

- этап зрелости включает активизацию мер по упрочению занимаемого на рынке товаром места;

- этап упадка включает напоминание потребителю о существующем товаре или же акцентирование внимания покупателей на каких-либо проведенных усовершенствованиях или модернизациях.

Современные инструменты вывода товара на международный рынок тесно связаны с развитием цифровых технологий и, прежде всего, развитием Интернет-технологий.

Сегодня, электронный маркетинг, как инструмент вывода товара – это комплекс мероприятий по продвижению и продаже на рынке товаров и услуг с помощью различных сетевых технологий. И хотя онлайн-маркетинг пока еще не вытеснил офлайн-маркетинг, но не одна компания не может работать без Интернет-сопровождения. Все современные компании разрабатывают свой Web-сайт, на котором представлена различная информация о товарах или услугах и средства, с помощью которых потребитель может получить информацию о компании, ее бренде и продуктах, а также сделать и оплатить свой заказ.

Интернет-маркетинг стоит рассматривать как совокупность следующих базовых компонентов:

- обеспечение широкомасштабного информирования;
- демонстрация особенности товара или услуги, продвигаемых на рынке, т.е. то, что приносит выгоду потенциальному потребителю, и то, с чем продавец выходит на Интернет-площадку на рынке;
- идентификация целевой аудитории, как и в оффлайн-маркетинге, это те люди, которым будет адресовано предложение продавца; они могут характеризоваться не только географией, полом, возрастом, профессией, но и используемым устройством для выхода в Интернет.
- конверсия или обеспечение обратной связи – это отношение числа потребителей, которые выполнили целевое действие (перешли по рекламной ссылке, совершили покупку, зарегистрировались, оформили подписку, посетили определенную страницу сайта к числу тех людей, к которому это рекламное сообщение было обращено, выраженное в процентах).

Ведение маркетинговой деятельности в сети Интернет подразумевает использование следующих инструментов [1].

– Размещение сайта в поисковых системах, популярных в тех или иных регионах. В Казахстане, например, наиболее популярные поисковые системы – это Yandex, Google и Mail, в США – Google, Bing и Yahoo, в Китае – Baidu.com, So.com и Sogou.com (поисковая система Google не очень популярна и имеет только 3 % пользователей) [2].

– Использование социальных сетей. Социальные сети дают уникальную возможность «добраться» практически до любой этнической или социальной группы. Можно обратиться к аудитории, которая заинтересована в товаре компании при помощи тегов. Этот метод требует

регистрации нескольких аккаунтов в популярных социальных сетях, например, Facebook и Instagram.

– Публиковать полезные посты, делиться с аудиторией своими мыслями, опытом, демонстрировать товары.

– Платные рекламные объявления

Можно запускать рекламную кампанию на таких платформах, как Google, Facebook и других социальных сетях, чтобы получать трафик на свой листинг. Это позволяет в кратчайшие сроки начать генерировать продажи. Такая реклама может быть очень полезна и в долгосрочной перспективе. Особенность платного размещения – быстрые результаты. После модерации объявления его может увидеть очень большая аудитория, часть которой станет покупателями товара.

Наиболее популярные социальные сети: Facebook, MySpace, Snapchat, Instagram, Pinterest, DeviantART, LinkedIn, Meetup.com, YouTube. Использование их дает значительное преимущество компаниям для размещения своей рекламы, а также реализации продуктов компании.

– Приложения социальных сетей (инструмент вирусного маркетинга). Люди создают свои персональные странички и объединяются в различные группы, которые весьма эффективно (с низкими транзакционными издержками) используются рекламными агентствами.

– Использование блогов для распространения новостей, рекламы и других сообщений. Одним из самых известных примеров является Twitter. Также блоги ведутся в Instagram.

– Создать свой собственный список рассылки

Можно создать свой собственный список потенциальных покупателей, которые заинтересованы в выводимом товаре. Это требует предварительных работ по сбору контактов, но окупит себя многократно. Собранный такой список с помощью отдельной страницы можно отправлять им предложения в письмах. Рассылки лучше вести на специальных сервисах.

– Запуск кампаний вручную

Использовать ключевые слова, подготовленные ранее. Продвижение товара вручную является одним из самых распространенных методов. На данном этапе необходимо использовать ключевые слова, которые компания планирует конвертировать в продажи. Через некоторое время после запуска кампании проводится отсев непригодных ключевых слов и остаются лишь те, которые действительно генерируют продажи.

– Электронная почта и SMS рассылка. Традиционные маркетинговые инструменты, которые теряют свою эффективность из-за очень высокой и неадресной активности рекламодателей.

– Выйти на «Amazon»

На этом инструменте вывода товара на международный рынок необходимо остановиться несколько подробнее.

Amazon – крупнейший ретейлер по всему миру. В 2017 г. его доход составил \$70 млрд., а число продавцов превысило 2 миллиона человек. При этом у Амазона есть свои веб-сервисы. Он является самым крупным облаком во всем интернете, его сервера раскиданы по всему миру.

В первую очередь, это интернет-магазин, который торгует абсолютно всем, начиная с самой мелкой бижутерии и заканчивая телевизорами.

На сегодня Amazon позволяет войти со своим бизнесом на рынок США с минимальными вложениями. При этом товар можно экспортировать в США и хранить на складах Амазона, а дальше рассылать его покупателям.

Чтобы продвигать свой товар на международный рынок посредством «Amazon» нужно желание и стартовый капитал. В зависимости от товара необходимо от 1500 до 4000-5000\$. Кроме этого, надо выбрать нишу и товар, продажа которого не требует постоянного контакта с покупателем. Подобрать наиболее ходовые товары для Амазон можно с помощью специальных приложений, например, Unicorn Smasher. Они помогают проанализировать спрос. Когда выбрана ниша и товар, заключается договор с «Amazon» по программе FBA. Регистрируется бренд в торговой площадке, оформляется страница товара. Для этого необходимо создать адекватный листинг с лаконичным описанием и качественными фото.

После создания своей торговой площадки на «Amazon», необходимо активно заниматься маркетингом. Для этого можно использовать методы, которые предлагает «Amazon».

Отдельной задачей является анализ деятельности по продвижению продукта на Интернет-площадках. Основная идея – оценить ключевые показатели эффективности (Key Performance Indicator, KPI). Общий коэффициент конверсии Интернет-магазина показывает количество посетителей, совершивших покупку. Более глубоко этот показатель измеряется с помощью оценки средней выручки на одного пользователя (Average Revenue Per Customer, ARPU) – средняя ежемесячная выручка с клиента или средний чек – и ROI (Return on Investment) – возврат по инвестициям – являются наиболее важными показателями. Коэффициент отказов говорит о количестве начатых, но незавершенных заказов. Число товаров в заказе характеризует коэффициент потребления или выбранное количество товаров за один заказ. Средняя стоимость заказа показывает отношение общего объема продаж к суммарному количеству заказов (этот показатель также называют «средний чек»).

Рассматривая особенности вывода товара на международный рынок необходимо упомянуть и о другой стороне, в частности, о причинах неудач, то есть следует проанализировать то, почему некоторые компании не могут эффективно вывести свой товар на международный рынок.

Так, Н.К. Моисеева в своих исследованиях приводит ряд причин, по которым можно судить о недостаточной эффективности вывода тех или иных товаров на международный рынок:

– Переоценка собственного продукта. Многие производители считают, что они создали продукт, который удовлетворяет запросы в стране производителя, но это еще не окончательное решение вопроса, так как может случиться, что в другой стране данный товар будет не интересен и не нужен. К примеру, новый бренд пива для него чаще всего

just another beer, новая водка – just another vodka. При этом нужно понимать, что не все качественные продукты из Казахстана (например) могут быть также важны и нужны потребителям из других стран.

– Недостаточная рекламная поддержка. Нельзя выводить товар на международный рынок без сопровождения хорошо продуманной и очень активной коммуникационной поддержки. Причем данная поддержка включает много позиций, а не только размещение рекламных статей в специализированных изданиях. В этой связи, вывод товара на международный рынок в большинстве случаев дело очень затратное.

– Неверный выбор партнера по дистрибуции. Распространенная ошибка состоит в том, что партнеров выбирают из числа бывших соотечественников. А это, зачастую маленькие компании, которые в отличие от больших специализированных гигантов не могут грамотно ввести товар и поставщика в другую бизнес-среду и соответственно в новую потребительскую сферу [3, С.72].

Таким образом, вывод товара на международный рынок посредством «Amazon» в ряде случаев осуществить проще и эффективнее, чем открыть собственный бизнес у себя в стране. Магазин предоставляет не только свою «витрину» и возможности продвижения товара, но огромное количество потенциальных покупателей. Продажи на «Amazon» можно легко организовать, так как основные моменты площадка берет на себя. Данный вариант в плане повышения прибыльности бизнеса представляется достаточно эффективным, так как «Amazon» берет на себя больше половины всех обязательств. Поставщик товара отвечает только за написание страницы товара, заключение договоров с самой торговой площадкой. По сути это уже автоматизированный процесс, который практически не требует вмешательства.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Global ecommerce trends 2015: UK leads the way in Europe and North America [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.digitalstrategyconsulting.com/intelligence/2015/01/global\\_ecommerce\\_trends\\_2015\\_uk\\_leads\\_the\\_way\\_in\\_europe\\_and\\_north\\_america.php](http://www.digitalstrategyconsulting.com/intelligence/2015/01/global_ecommerce_trends_2015_uk_leads_the_way_in_europe_and_north_america.php)
2. Численко А. Золотой Рунет. Что собой представляет российская электронная экономика? [Электронный ресурс] / А. Численко // Финансовая газета. - 2016. - Режим доступа: <http://fingazeta.ru/technology/zolotoy-runet-203147/>
3. Моисеева Н.К. Международный маркетинг и бизнес: Учебное пособие / Н.К. Моисеева. - М.: КУРС, НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 272 с.

#### **REFERENCES**

1. Global ecommerce trends 2015: UK leads the way in Europe and North America [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: [http://www.digitalstrategyconsulting.com/intelligence/2015/01/global\\_ecommerce\\_trends\\_2015\\_uk\\_leads\\_the\\_way\\_in\\_europe\\_and\\_north\\_america.php](http://www.digitalstrategyconsulting.com/intelligence/2015/01/global_ecommerce_trends_2015_uk_leads_the_way_in_europe_and_north_america.php)
2. Chislenko A. Zolotoy Runet. Chto soboy predstavlyayet rossiyskaya elektronnyaya ekonomika? [Elektronnyy resurs] / A. Chislenko // Finansovaya gazeta. - 2016. - Rezhim dostupa: <http://fingazeta.ru/technology/zolotoy-runet-203147/>

3. Moiseyeva N.K. Mezhdunarodnyy marketing i biznes: Uchebnoye posobiye / N.K. Moiseyeva. - M.: KURS, NITS INFRA-M, 2013. - 272 c.

## **CONCLUSION OF THE GOODS TO THE INTERNATIONAL MARKET: REVIEW OF MARKETING TOOLS**

**Sargizova Aida Galymovna**

Educational Institution "Almaty Management University", Almaty, Kazakhstan

**Annotation.** The article discusses marketing tools with which the entrepreneur (company) brings its goods to the international market. Particular attention is paid in the article to tools that are associated with the development of digital technologies and, above all, the development of Internet technologies. The author comes to the conclusion that as a tool for entering the international market today, the most interesting is Amazon - the largest retailer worldwide. Also, the author comes to the understanding that the withdrawal of goods to the international market through "Amazon" in some cases is easier and more efficient than opening your own business in your country. Sales on Amazon can be easily arranged, as the site takes on the main points. This option in terms of increasing business profitability seems to be quite effective, since Amazon undertakes more than half of all obligations. In fact, this is an automated process that requires almost no intervention.

**Keywords:** Marketing Tools, Amazon, Technology, Company, Withdrawal, International Market.

## **ТАУАРЛАРДЫҢ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ НАРЫҚТЫҢ ҚОРЫТЫНДЫСЫ: МАРКЕТИНГ ҚҰРАЛДАРЫН ҚАРАУ**

**Саргизова Аида Галымовна**

«Алматы Менеджмент Университеті», Алматы, Қазақстан

**Аннотация.** Мақалада кәсіпкер (компания) өзінің тауарларын халықаралық нарыққа шығаратын маркетингтік құралдар талқыланады. Мақалада цифрлық технологияларды дамытуға, ең алдымен, Интернет-технологияларды дамытуға байланысты құралдарға ерекше көңіл бөлінеді. Автор бүгінгі таңда халықаралық нарыққа шығу құралы ретінде әлемдегі ең ірі бөлшек сатушы - Amazon ең қызықты деген қорытындыға келеді. Сондай-ақ автор, кейбір жағдайларда «Amazon» арқылы халықаралық нарыққа тауарларды шығару сіздің елде өз бизнесін ашудан гөрі оңай және тиімдірек екенін түсінеді. Amazon-де сату оңай ұйымдастырылуы мүмкін, себебі сайт негізгі ұстанымдарға ие болады. Бұл опция бизнестің кірістілігін арттыру тұрғысынан тиімді болып көрінеді, өйткені Amazon барлық міндеттемелердің жартысынан астамын қабылдайды. Іс жүзінде бұл - ешбір араласуды талап етпейтін автоматтандырылған процесс.

**Түйінді сөздер.** Маркетинг құралдары, Amazon, технология, компания, шығу, халықаралық нарық.

МРНТИ 27.29.17

К.Б. Бапаев<sup>1</sup>, Г.К. Василина<sup>1,2</sup>, С.С. Сламжанова<sup>3</sup>, Б.Ж. Толеуова<sup>2</sup>

1 Институт математики и математического моделирования, Алматы,

2 Алматинский университет энергетики и связи, Алматы,

3 Жетысуский государственный университет им. И. Жансугурова, Талдыкорган

## О СИЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ РАЗНОСТНО-ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В КРИТИЧЕСКОМ СЛУЧАЕ ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЯХ И БИФУРКАЦИЯХ

**Аннотация.** Рассматривается нелинейная разностно-динамическая система в критическом случае, когда матрица первого приближения имеет  $m$ -пар комплексно сопряженных собственных чисел по модулю равных единице. Для нее доказаны теоремы о сильной устойчивости и неустойчивости. При параметрических возмущениях сформулированы условия сильной асимптотической устойчивости и неустойчивости при прохождении разностно-динамической системы через резонанс нечетного порядка. Введено понятие сильной устойчивости. Получены необходимые условия сильной асимптотической устойчивости в точке разностно-динамической системы. Выделен случай бифуркации типа «взрывной неустойчивости», когда асимптотическая устойчивость в проколотой окрестности резонансной точки сменяется неустойчивостью в самой точке.

**Ключевые слова:** разностно-динамическая система, устойчивость, бифуркация, нормальная форма.

С математической точки зрения, при исследовании устойчивости, разностно-динамические системы (РДС) строго делятся на критические и не критические, а критические - на резонансные и нерезонансные. С практической точки зрения, когда, например, коэффициенты РДС известны лишь приближенно, подобная классификация носит условный характер. Так, любая резонансная РДС сколь угодно близка (в смысле близости коэффициентов) к некоторой нерезонансной РДС. Это и ряд других причин (например, наличие естественных параметров, параметров регулирования) приводят к необходимости изучения в теории устойчивости не только индивидуальных РДС, но и совокупность близких ей РДС. Для многих задач эту совокупность целесообразно описывать в виде РДС с параметром.

Исследование задачи об устойчивости в критическом случае РДС с параметрами при их прохождении через резонанс одна из основных задач предлагаемой работы.

Для изучения данной задачи вводится понятие сильной устойчивости. Термин «сильная устойчивость» заимствован из теории дифференциальных систем, где он использован А.Н. Колмогоровым.

Введенное понятие можно рассматривать как устойчивость РДС с параметром. Оно также возникает при исследовании устойчивости РДС с приближенными коэффициентами. Трудности при решении задачи преодолеваются при помощи, разработанной авторами «Метода непрерывной нормальной формы». Его применение позволило впервые в первые достаточно подробно изучить задачу о сильной устойчивости в окрестности резонансов нечетного порядка.

Рассмотрим нелинейную РДС, линейная часть которой нейтральна в задаче об устойчивости. С математической точки зрения такие РДС-ы вполне четко подразделяются на резонансные и нерезонансные. Однако с практической точки зрения, когда, например,

коэффициенты РДС известные лишь приближенно, подобная классификация носит условный характер. Любая резонансная РДС сколь угодно близка (в смысле близости коэффициентов) к некоторой резонансной, и наоборот. Априори неясно, как связаны свойства устойчивости таких РДС. Для изучения интересующей нас связи рассмотрим РДС

$$x_{n+1} = A(\varepsilon)x_n + F(x_n, \varepsilon) \quad (1)$$

с голоморфной правой частью, все коэффициенты которой непрерывно зависимы от параметра  $\varepsilon \in U$  (здесь  $U$  - интервал числовой прямой).

Будем говорить, что РДС (1) устойчива (неустойчива) в точке  $\varepsilon_0 \in U$ , если ненулевое решение РДС (1) устойчиво (неустойчиво) при  $\varepsilon = \varepsilon_0$  по Ляпунову.

**Определение 1.** РДС (1) сильно устойчива (неустойчива) в точке  $\varepsilon_0 \in U$ , если существует такая  $U \supset U_\delta$ ,  $\delta$  - окрестности точки  $\varepsilon_0$ , что РДС (1) устойчива (неустойчива) для  $\varepsilon \in U_\delta$ - окрестности. В противном случае  $\varepsilon_0$  точки бифуркации свойства устойчивости.

Предположим, что при  $\varepsilon = \varepsilon_0$  матрица  $A$  имеет  $m$  - пар комплексно сопряженных собственных чисел по модулю равных единице, а остальные собственные числа по модулю меньше единицы.

**Определение 2.** РДС (1) обладает внутренним резонансом в точке  $\varepsilon_0$ , если существует целочисленный  $m$ - мерный вектор  $k$  с взаимно простыми компонентами такой, что справедливо

$$(k, \phi) \equiv 0 \pmod{2\pi},$$

где число  $\|k\| = \sum_{j=1}^m |k_j|$  называется порядком резонанса.

Задача о сильной устойчивости и бифуркациях может решаться на линейном и нелинейном уровнях. В первом случае основную роль играет поведение собственных чисел и структура нормальной формы матрицы  $A$  [1,2]. Для выявления нелинейных эффектов, связанных с прохождением РДС (1) через резонанс, будем предполагать выполненными следующие требования:

а) при всех  $\varepsilon \in U$  матрица  $A(\varepsilon)$  имеет  $m$ - пар комплексно-сопряженных собственных чисел по модулю равных единице,

б) существует линейное непрерывное по  $\varepsilon$  преобразование, приводящее  $A(\varepsilon)$  к непрерывной матрице, в которой единично модельным собственным числам соответствует диагональный блок вида  $(\delta_{s_j} e^{\pm i\phi_j})^m$ . Все остальные собственные числа являются при  $\forall \varepsilon \in U$  по модулю меньше единицы.

Исследование сильной устойчивости и бифуркации примыкает к задаче об устойчивости при параметрических возмущениях [3,4].

Термин «сильная устойчивость» введен в РДС следуя работам по изучению линейных гамильтоновых периодических систем при малых (не более общих, чем параметрические) возмущениях [5].

2. Для упрощения дальнейшего изложения будем считать, что в РДС (1) отсутствуют не критические переменные. Тогда в комплексных переменных (1) примет вид

$$z_{n+1} = \Lambda(\varepsilon)z_n + \sum_{j=1}^{\infty} f^{(j)}(\varepsilon, z_n, \bar{z}_n), \quad l \geq 2 \quad (2)$$



где  $\Lambda(\varepsilon) = \left( \delta_{sj} e^{i\varphi_j(\varepsilon)} \right)^m$ ,  $f^{(j)}$  –  $m$ - мерный вектор формы  $j$ -го порядка с непрерывными по  $\varepsilon$  - коэффициентами.

Эффективным методом исследования устойчивости РДС (2) при фиксированном  $\varepsilon$  в резонансных и нерезонансных случаях является приведение РДС к нормальной форме [6,7]. Однако для задачи о сильной устойчивости обычная нормальная форма малоприспособна, поскольку нормализующее преобразование будет разрывным по  $\varepsilon$  в резонансных точках. В связи с этим возникает вопрос о существовании непрерывной нормальной формы.

Применим к (2) бесконечную суперпозицию обратимой замены переменных [6]:

$$z_n = \xi_n + h^{(q)}(\varepsilon, \xi_n, \bar{\xi}_n) = H_q(\varepsilon, \xi_n, \bar{\xi}_n) \quad (3)$$

$$\text{где } h^{(q)} = \sum_{(q+\nu)=q} h_{q,\nu} \xi_n^q \bar{\xi}_n^\nu, \quad q = 2, 3, \dots$$

Тогда получим

$$\begin{aligned} \xi_{n+1} &= \dots \circ H_q^{-1} \circ H_{q-1}^{-1} \dots \circ H_2^{-1} \left[ \Lambda(\varepsilon) + \sum_{\infty} f^i \right] \circ H_2 \circ H_3 \circ \dots \circ H_q \circ \dots \circ (\xi_n, \bar{\xi}_n) = \\ &= \Lambda(\varepsilon) \xi_n + \sum_{i=1}^{\infty} Q^{(i)}(\varepsilon, \xi_n, \bar{\xi}_n), \quad l \geq 2. \end{aligned} \quad (4)$$

Коэффициенты всех форм будем обозначать тремя индексами. Так, например  $Q_{(s)}^{p,q}$ - коэффициенты формы  $Q_s^{(j)}$  при членах  $\xi_n^p \cdot \bar{\xi}_n^q$ , здесь  $p = (p_1, p_2, \dots, p_m)$ ,  $q = (q_1, q_2, \dots, q_m)$ ;  $p_\nu, q_\nu \geq 0$  - целые и

$$\xi_n^p \cdot \bar{\xi}_n^q = \prod_{\nu=1}^m \xi_n^{p_\nu} \cdot \bar{\xi}_n^{q_\nu}; \quad \|p+q\| = \sum_{\nu=1}^m (p_\nu + q_\nu).$$

**Определение 3.** Пара векторов  $(p, q)$  и соответствующие им коэффициенты и члены в  $s$ -х уравнениях (2)-(4) назовем резонансными, если существует такое  $\varepsilon^{(0)} \in U$ , что справедливо

$$(p - q - \delta_s, \varphi(\varepsilon^{(0)})) \equiv o(\text{mod } 2\pi). \quad (5)$$

Обозначим через  $\Pi_U^{(s)}$  - множество всех резонансов пар векторов в  $s$ -х уравнениях.

Это множество имеет вид

$$\Pi_U^{(s)} = \Pi_{U,0}^{(s)} \cup \Pi_{U,1}^{(s)},$$

где  $\Pi_{U,0}^{(s)}$  - множество пар векторов тождественного резонанса ( $p = q + \delta_s$ ), а  $\Pi_{U,1}^{(s)}$  - множество пар векторов, соответствующих внутреннему резонансу ( $p - q = \chi$ ,  $\chi \neq 0$  - целое). Младшая степень, элементов входящих в  $\Pi_{U,1}^{(s)}$ , равна  $\|k\| - 1$ , где  $k$  - соответствующий резонансный вектор.

**Теорема 1.** При любом выборе непрерывных по  $\varepsilon$  нерезонансных коэффициентов в РДС (4), в ней можно так подобрать непрерывные резонансные коэффициенты, что будет существовать непрерывная в  $U$  последовательность преобразований (3), переводящая РДС (2) в (4).

Если считать, что все резонансные коэффициенты в (4) равны нулю, то получим суперпозиции преобразования (3), переводящее (2) к непрерывной нормальной форме

$$\xi_{s_{n+1}} = e^{i\varphi_s(\varepsilon)} + \sum_{\Pi_U^{(s)}} Q_{(p,q)}^{(s)} \xi_n^p \bar{\xi}_n^q. \quad (6)$$

Сравним структуру РДС (6) со структурой обычной нормальной формы при некотором  $\varepsilon = \varepsilon^{(0)}$ . Обозначим  $\{(p, q) / (p - q - \delta_s, \varphi(\varepsilon^{(0)})) = 0\}$ . Очевидно, что  $\Pi_{\varepsilon^{(0)}}^{(s)} \subset H_U^{(s)}$ . При обычной нормализации в нормальной форме содержатся только члены  $c(p, q) \in \Pi_{\varepsilon^{(0)}}^{(s)}$ . В РДС (6) кроме них присутствуют еще те, для которых  $(p, q) \in \Pi_{U^{(s)}}^{(s)} \setminus \Pi_{\varepsilon^{(0)}}^{(s)}$ . Обе формы совпадают в точке  $\varepsilon^{(0)}$  только в том случае, когда  $\Pi_U^{(s)} \setminus \Pi_{\varepsilon^{(0)}}^{(s)} = \emptyset$ .

Если  $\varepsilon^{(0)}$  единственная в  $U$  резонансная точка, то в ней коэффициенты обычной и непрерывной нормальных форм совпадают. Заметим, что при любом способе нормализации коэффициенты нормализующего преобразования при членах  $j$ -го порядка участвуют в образовании коэффициентов нормальной формы не ранее  $l - j - 1$ -го порядка ( $l$ -порядок младших нелинейных членов) [7].

3. Пусть точка  $\varepsilon^{(0)}$  - резонансная и порядок единственного младшего резонанса равен  $l + 1 = 2N + 1$ . Будем считать, что  $\varepsilon^{(0)}$  - изолированное решение. В качестве  $U$  возьмем столь малую окрестность точки  $\varepsilon^{(0)}$ , что в проколотой окрестности  $U^{(0)}$  нет резонансов, меньших  $2N + 3$ .

Проводя непрерывную нормализацию до  $2N + 1$ -го порядка включительно, получим

$$\xi_{s_{n+1}} = e^{i\varphi_s(\varepsilon)} \xi_{s_n} + \alpha_s(\varepsilon) \bar{\xi}_{s_n}^{k-\delta_s} + \xi_{s_n} \sum_{\|p\|=N} \alpha_p^{(s)}(\varepsilon) \omega_n^p + O_\varepsilon(\|\xi_n\|^{2N+2}), \quad (7)$$

где  $\alpha_s(\varepsilon), \alpha_p^{(s)}(\varepsilon)$  - непрерывные функции  $\varepsilon$  в  $U$ ,  $\delta_s$  - символ Кронекера  $\omega_n = (\omega_{1n}, \omega_{2n}, \dots, \omega_{mn})$ ,  $\omega_{jn} = \xi_{jn} \bar{\xi}_{jn}$ ;  $k = (k_1, k_2, \dots, k_{mn})$ ,  $k_j \geq 0$ .

В большинстве случаев РДС (7) при  $\varepsilon = \varepsilon^{(0)}$  в  $2N - M$  приближении (модельная РДС) обладает семейством полной суммы в виде

$$v_n = \sum_{s=1}^m \gamma_s \omega_{s_n} = (\gamma_s, \omega_n),$$

где  $\gamma$  - решение системы уравнений

$$C(\varepsilon^{(0)})\gamma = 0; \quad C(\varepsilon) = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_m \\ b_1 & b_2 & \dots & b_m \end{pmatrix}, \quad d_s = a_s + ib_s \quad (8)$$

Необходимым и достаточным условием устойчивости модельной РДС (7) при  $\varepsilon = \varepsilon^{(0)}$  является существование среди семейства  $V_n$  знакоопределенных сумм [8].

**Лемма 1.** Если матрица  $C(\varepsilon)$  сохраняет ранг в  $U$  и число отличных от нуля компонент векторов  $a = (a_1, a_2, \dots, a_m)$  или  $b = (b_1, b_2, \dots, b_m)$  превосходит ранг матрицы  $C$ , то модельная РДС (7) имеет семейство непрерывных по  $\varepsilon$  полных сумм

$$V_n = (\gamma(\varepsilon), \omega_n), \quad \varepsilon \in U; \quad V(\varepsilon^{(0)}, \omega_n) = V_0. \quad (9)$$

Для того, чтобы среди (9) имелись суммы знакоопределенные при всех  $\varepsilon \in U$  необходимо и достаточно выполнения одной из следующих условий:

1)  $Rang C = 2$  и существуют такие  $V_1, V_2, V_3$  что:

$$sign D_{V_1 V_2}^{(0)} = sign D_{V_1 V_3}^{(0)} = sign D_{V_2 V_3}^{(0)} \in D_{V_i V_j}^{(0)} = a_{V_j}(\varepsilon^{(0)}) b_{V_i}(\varepsilon^{(0)}) - a_{V_i}(\varepsilon^{(0)}) b_{V_j}(\varepsilon^{(0)}) \quad (10)$$

2)  $Rang C = 1$  и существуют такие  $V_i, V_j$ , что

$$sign a_{V_j}(\varepsilon^{(0)}) a_{V_i}(\varepsilon^{(0)}) = -1 \quad (sign b_{V_j}(\varepsilon^{(0)}) b_{V_i}(\varepsilon^{(0)}) = -1). \quad (11)$$

Вычислим первую разность семейства (9) в силу модельной системы РДС (7)

$$\Delta V_n = W_{N+1}(\varepsilon, \omega_n) + Q_\varepsilon \left( \|\omega_n\|^{2N+3} \right),$$

где  $W_{n, N+1}$  форма  $N+1$ -го порядка от  $\omega_{j_n} - j = \overline{1, m}$ . Обозначим через  $\Gamma_0$  - множество тех  $\gamma^0$ , для которых  $W_{n, N+1}(\varepsilon^{(0)}, \omega_n)$  - определено отрицательно. Через  $M_0$  обозначим множество решений РДС (8), через  $M_0^+ \subset M_0$  - множество строго положительных решений.

**Теорема 2.** Пусть РДС (7) такова, что матрица  $C(\varepsilon)$  сохраняет ранг и  $r_0 \neq \emptyset$ . Тогда

1) РДС (7) сильно асимптотически устойчива в точке  $\varepsilon^{(0)}$ , если выполняются (10) или (11) и  $\Gamma_0 \cap M^0 \neq \emptyset$ ,

2) РДС (7) сильно асимптотически устойчива в точке  $\varepsilon^{(0)}$ , если выполняются  $\Gamma_0 \cap (M \setminus M_0^+) \neq \emptyset$ .

Для выполнения случаев бифуркации необходимо сопоставить свойства исследуемой РДС в  $U^{(*)}$  и в точке  $\varepsilon^{(0)}$  [9,10]. С этой целью параллельно с непрерывной нормальной формой, которую будем использовать сейчас лишь при  $\varepsilon = \varepsilon^{(0)}$ , рассмотрим обычную нормальную форму при  $\varepsilon \in U^{(*)}$ . Проводя такую нормализацию до членов  $2N+1$ -го порядка будем иметь при всех  $\varepsilon \in U^{(*)}$

$$\eta_{s, n+1} = e^{i\phi_s(\varepsilon)} \eta_{s, n} + \eta_{s, n} \sum_{\|p\|=N} \alpha_p^{(s)T}(\varepsilon) v_n^p + O_\varepsilon^T(v^{N+1}), \quad (12)$$

где  $v_n = \eta_n \cdot \bar{\eta}_n$ .

Все коэффициенты РДС (12) непрерывны в  $U(\cdot)$ . Ее основное отличие от непрерывной нормальной формы заключается в том, что нелинейность  $O_\varepsilon^T$  - неограниченна, при  $\varepsilon \rightarrow \varepsilon^{(0)}$ , кроме того, этим же свойством обладают коэффициенты  $\alpha_p^{(s)T}(\varepsilon) = \alpha_p^{(s)}(\varepsilon)$  ( $\forall \varepsilon \in U$ ). Отметим так же, что нерезонансные коэффициенты обычного нормализующего преобразования, которые являются резонансными при непрерывной нормализации, неограниченны в точке  $\varepsilon^{(0)}$ . Именно эти коэффициенты служат причиной неограниченности  $O_\varepsilon^T$  и  $\alpha_p^{(s)T}$ .

Положим  $\alpha_s(\varepsilon) = (\alpha_s) \exp(i v_s(\varepsilon))$  и отождествим  $v_s(\varepsilon)$  с точками окружности. При нарушении условий (10) и (11) в основных случаях существует такая нумерация переменных, что справедливы неравенства

$$\mathcal{G}_1^0 \leq \mathcal{G}_2^0 \leq \dots \leq \mathcal{G}_{m_0}^0 < \mathcal{G}_{m_0}^0 + \pi, \quad (\mathcal{G}_j^0 = \mathcal{G}_j^0(\varepsilon^{(0)})). \quad (13)$$

При выполнении которых РДС (7) в точке  $\varepsilon^{(0)}$  неустойчива [9] (грубая неустойчивость модельной РДС (7) при  $\varepsilon = \varepsilon^{(0)}$ ).

Предполагая (13) выполненным, рассмотрим РДС (12) в области  $U(\cdot)$ . Рассмотрим случай  $N=1$  (резонанс первого порядка) на примере резонанса  $\varphi_1^0 + 2\varphi_2^0 = 0$  (здесь  $\varphi_j^0 = \varphi_j(\varepsilon^{(0)})$ ) при  $m=2$ . РДС (12) запишется в виде

$$\eta_{sn+1} = e^{i\varphi_s(\varepsilon)} \eta_{sn} + \eta_{sn} (\mu_{s1} \mathcal{G}_{1n} + \mu_{s2} \mathcal{G}_{2n}) + O_\varepsilon^T \quad (14)$$

А непрерывная нормальная форма

$$\bar{\xi}_{sn} \xi_{sn+1} = e^{i\varphi_s(\varepsilon)} \omega_{sn} + a_s(\varepsilon) \bar{\xi}_{1n} \bar{\xi}_{2n} + \omega_{sn} (b_{s1}(\varepsilon) \omega_{1n} + b_{s2}(\varepsilon) \omega_{2n} + O_\varepsilon) \quad (15)$$

Между коэффициентами обеих нормальных форм имеется следующая связь:

$$\begin{aligned} \mu_{11}(\varepsilon) &= b_{11}(\varepsilon), \quad \mu_{12}(\varepsilon) = b_{12}(\varepsilon) + 2i\Delta \bar{a}_1 a_2; \\ \mu_{21}(\varepsilon) &= b_{21}(\varepsilon) - i\Delta a_2(\varepsilon) \bar{a}_2(\varepsilon), \quad \mu_{22}(\varepsilon) = b_{22}(\varepsilon) - i\Delta a_1 \bar{a}_1 \end{aligned} \quad (16)$$

$$\Delta = (e^{i\varphi_1(\varepsilon)} - e^{i2\varphi_2(\varepsilon)-1})$$

Определяя углы  $\mathcal{G}_1(\varepsilon)$  и  $\mathcal{G}_2(\varepsilon)$  в соответствии с (13), приходим к выводу, что если

$$\mathcal{G}_1(\varepsilon^{(0)}) \neq \mathcal{G}_2(\varepsilon^{(0)}) + \pi \quad (17)$$

то РДС (15) неустойчиво в точке  $\varepsilon^{(0)}$ . Можно доказать, что необходимым и достаточным условием асимптотической устойчивости РДС (14) в третьем приближении является существование функции существования функции Ляпунова в виде квадратичной формы

$$v_n = \gamma_1 \mathcal{G}_{1n} + \gamma_2 \mathcal{G}_{2n}, \quad \gamma_1, \gamma_2 > 0$$

с первой разностью

$$\Delta v_n = 2\gamma_1 \beta_{11} \mathcal{G}_{1n}^2 + [(\beta_{12} + 2\Delta\Pi)\gamma_1 + \beta_{21}\gamma_2] \mathcal{G}_{1n} \mathcal{G}_{2n} + \gamma_2 (\beta_{22} + \Delta\Pi) \mathcal{G}_{2n}^2 + \dots,$$

$$\beta_{sj} = \text{Re} b_{sj} \cos \varphi_s + \text{Im} b_{sj} \sin \varphi_s$$

$$\Pi(\varepsilon) = \text{Re} \alpha_1 (-\text{Im} \alpha_2 \cos \phi_1 + \text{Re} \alpha_2 \sin \phi_1) + \text{Im} \alpha_1 (-\text{Im} \alpha_2 \sin \phi_1 + \text{Re} \alpha_2 \cos \phi_1).$$

Анализ знакоопределенности функции  $\Delta V_n$  существенно зависит от поведения  $\Delta(\varepsilon) \cdot \Pi(\varepsilon)$  в окрестности точки  $\varepsilon^{(0)}$ . Основной случай характеризуется тем, что  $\Pi(\varepsilon^{(0)}) \neq 0$ , а  $\Delta^{-1}(\varepsilon)$  меняет знак при переходе через  $\varepsilon^{(0)}$  заметим, что если  $\Pi(\varepsilon^{(0)}) \neq 0$ , то (17) автоматически.

**Теорема 3.** Если  $\Pi(\varepsilon^{(0)}) \neq 0$  и  $\beta(\varepsilon^{(0)}) < 0$ , то  $\varepsilon^{(0)}$  - точка бифуркации. А именно, асимптотическая устойчивость в полуокружности, где  $\Pi(\varepsilon) \cdot \Delta(\varepsilon) < 0$ , сменяется неустойчивостью в точке  $\varepsilon^{(0)}$  сохраняются в полуокружности где  $\Pi(\varepsilon) \cdot \Delta(\varepsilon) > 0$ ,  $\Pi(\varepsilon) \cdot \Delta(\varepsilon) < 0$ , ( $\forall \varepsilon \in U^{(\bullet)}$ ). (18)

В точке  $\varepsilon^{(0)}$  бифуркация асимптотическая устойчивость в  $U^{(\bullet)}$  сменяется неустойчивость в точке  $\varepsilon^{(0)}$ .

Выделенный в теореме 3 случай естественно называть бифуркацией типа «взрывной неустойчивости», если (18) выполняется в  $U^{(\bullet)}$  и «односторонней неустойчивости» в остальных случаях.

Рассмотрим случай, когда  $N > 1$ . Совпадение коэффициентов при членах тождественного резонанса в (12) и (7) позволяет использовать для анализа поведения РДС (12) и в  $U^{(\bullet)}$  ту же конструкцию что и задачи о сильной устойчивости, следует лишь иметь в виду, что параметры  $\mathcal{Y}$  в (9) можно считать теперь произвольными.

**Теорема 4.** Пусть  $r_0 \neq \emptyset$ . Если существует строго положительный вектор  $\gamma^0 \in \Gamma_0$  и выполняется (13), то  $\mathcal{E}^{(0)}$  точка бифуркации типа «взрывной неустойчивости» (асимптотическая устойчивости в  $U^{(*)}$  сменяется неустойчивостью в точке  $\mathcal{E}^{(0)}$ ).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Арнольд В.И. О матрицах, зависящих от параметра // Успехи математических наук. - 1971. - Т. 26, вып 2(158). - С. 101-114.
- 2 Богданов Ю.С. О преобразований переменной матрицы к каноническому виду // ДАН БССР. – 1963. - Т.7, №3. - С. 152-154.
- 3 Кузьмин П.А. Устойчивость при параметрических возмущениях // ПММ. – 1957. - Т. 21, вып. 1. - С. 129-132.
- 4 Красовский Н.Н. Некоторые задачи теории устойчивости движения. – М: Физматгиз, 1959. -211 с.
- 5 Якубович В.А., Старжинский В.М. Линейные дифференциальные уравнения с периодическими коэффициентами и их приложения. М.: Наука, 1972. - 718 с.
- 6 Бобаев К.Б. Устойчивость дискретных систем в критическом случае // Доклады РАН. - 1996. – Т. 349, №4. - С. 343-345.
- 7 Бобаев К.Б. Нормализация систем нелинейных разностных уравнений // Препринт №1. КазГУ и НГУ. - Алматы-Новосибирск, 1995. - 61 с.
- 8 Бобаев К.Б. Устойчивость дискретных-динамических систем в критическом случае // Доклады НАН РК. – 2000. - №2. - С. 3-12.
- 9 Бобаев К.Б. Устойчивость РДС в критическом случае при наличии внутреннего резонанса // Тезисы докладов Сибирской школы-семинара «Матем. проблемы механики сплошных сред». - Новосибирск, 1997. - С. 17-20.
- 10 Бобаев К.Б. Устойчивость систем разностных уравнений в критическом случае при наличии резонанса и в случаях, близких к критическим // Препринт №3. КазГУ и НГУ. - Алматы-Новосибирск, 1995. - 63 с.

#### REFERENCES

- 1 Arnold V.I. About matrices depending on the parameter // Uspekhi matematicheskikh nauk - 1971. - Vol. 26, № 2(158). - Pp. 101-114. (in Russian)
- 2 Bogdanov Yu.S. On matrix variable transformations to canonical form // Doklady Akademii Nauk BSSR. – 1963. - Vol.7, №3. - Pp. 152-154. (in Russian)
- 3 Kuzmin P.A. Stability under parametric perturbations // Applied Mathematics and Mechanics. – 1957. - Vol. 21, №. 1. - Pp. 129-132. (in Russian)
- 4 Krasovsky N.N. Some problems of the stability theory of motion. – М: Fizmatgiz, 1959. -211 p. (in Russian)
- 5 Yakubovich V.A., Starzhinsky V.M. Linear differential equations with periodic coefficients and their applications. М.: Nauka, 1972. - 718 p. (in Russian)
- 6 Bopaev K.B. Stability of the discrete systems in the critical case // Doklady RAS. - 1996. – Vol. 349, №4. - Pp. 343-345. (in Russian)
- 7 Бобаев К.Б. Normalization of systems of nonlinear difference equations // Preprint №1. KazSU, NSU. – Almaty-Novosibirsk, 1995. - 61 p. (in Russian)
- 8 Bopaev K.B. Stability of the discrete-dynamical systems in the critical case // Doklady NAS RK. – 2000. - №2. - Pp. 3-12. (in Russian)

9 Вораев К.В. Stability of the discrete-dynamical systems in the critical case with internal resonance // Abstracts of the Siberian school-seminar «Math. Problems of continuum mechanics». - Novosibirsk, 1997. - Pp. 17-20. (in Russian)

10 Вораев К.В. Stability of the discrete-dynamical systems in the critical case in the presence of resonance and in cases close to critical // Preprint №1. KazSU, NSU. – Almaty-Novosibirsk, 1995. - 63 p. (in Russian)

**ДҮДӘМӘЛ ЖАҒДАЙДАҒЫ ПАРАМЕТРМЕН ӘСЕР ЕТІЛГЕН  
АЙЫРЫМДЫҚ ДИНАМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ  
МЫҚТЫ ОРНЫҚТЫЛЫҒЫ ЖӘНЕ БИФУРКАЦИЯСЫ**

**К.Б. Бапаев, Г.Қ. Василина, С.С. Сламжанова, Б.Ж. Төлеуова**

Математика және математикалық моделдеу институты,  
Алматы энергетика және байланыс университеті,  
И. Жансугурова атындағы Жетысу мемлекеттік университеті

*Аннотация.* Дүдәмәл жағдайда бірінші жуықтау матрицасы модулі бірге тең  $m$  қос кешенді түйіндес меншік мәндері бар кезде бейсызық айырымдық динамикалық жүйелер қарастырылған. Ол жүйелерге мықты орнықтылық және орнықсыз болу туралы теоремалар дәлелденген. Дүдәмәл жағдайдағы параметрмен әсер етілген айырымдық динамикалық жүйелердің тақ ретті резонанстан өту жағдайында мықты орнықтылықтың және орнықсыз болуының шарттары келтірілген. Мықты орнықтылықтың анықтамасы енгізілген. Айырымдық динамикалық жүйелердің нүктедегі мықты асимптотикалық орнықтылығының қажетті шарттары алынған. Резонансты нүктенің ойылған маңайында асимптотикалық орнықтылық нүктенің өзінің орнықсыздығымен алмасатын кезде жарылу орнықсыздықты типті бифуркацияның жағдайы ерекшеленген.

*Кілттік сөздер:* айырымдық динамикалық жүйе, орнықтылық, бифуркация, қалыпты нысан.

**ON STRONG STABILITY OF DIFFERENCE-DYNAMIC SYSTEMS IN CRITICAL CASE  
WITHIN PARAMETRIC PERTURBATIONS AND BIFURCES**

**K.B. Vapayev, G.K. Vassilina, S.S. Slamzhanova, B.Zh. Toleuova**

Institute of Mathematics and Mathematical Modeling, Almaty,  
Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty,  
Zhetysu State University named after I. Zhansugurov, Taldykorgan

*Annotation.* A nonlinear difference-dynamic system is considered in the critical case when the first approximation matrix has  $m$ -pair of complex conjugate eigenvalues modulo one. Theorems on strong stability and instability are proved for the difference-dynamic systems. Under parametric perturbations, the conditions of strong asymptotic stability and instability are formulated when the difference-dynamic system passes through an odd-order resonance. The concept of strong stability is introduced. The necessary conditions for strong asymptotic stability at the point of the difference-dynamical system are obtained. The case of a bifurcation of the “explosive instability” type, when the asymptotic stability in the punctured neighborhood of the resonance point is replaced by instability at the point itself is considered.

*Keywords:* difference-dynamic system, stability, bifurcation, normal form.

УДК 372

М.Ш.Исмагулова, Г.Е.Бедельбаева, И.В.Беспалова

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева, г.Алматы, Казахстан

## ИННОВАЦИОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИКИ

**Аннотация.** Вызовы 21 века требуют внедрения инновационных методов в образовательный процесс. В статье рассматривается история зарождения и развития активных методов обучения. Инновационные стратегии обучения физики в Университетах США трансформируют преподавание от традиционного метода воспроизводства знаний, которые рассматривают студентов как пассивных получателей знаний (transmissionist, teacher-centered) к методу, в котором студенты активно строят знание на основе их предварительных знаний и опыта (constructivist, student-centered). Peer Instruction - это интерактивный метод обучения, разработанный Эриком Мазуром в 1990-х годах для улучшения обучения физики в Гарварде. Этот метод улучшает понимание физики студентами и помогает преодолеть их заблуждения

**Ключевые слова:** высшее образование; инновационное образование, инновационное развитие, инновационные технологии.

Как известно, концептуальные основы активного обучения были сформулированы философом, психологом и педагогом Джоном Дьюи (1859–1952), который считал, что *традиционной* системе образования, основанной на приобретении и усвоении знаний, нужно противопоставить обучение *«путём делания»*, чтобы новые знания извлекались человеком из практической деятельности и личного опыта [1]. Развивая идеи Дьюи, профессор Государственного университета штата Огайо Эдгар Дейл, преподавал обучаемым один и тот же учебный материал, но разными способами. А после окончания курса выявлял и анализировал способность обучаемых воспроизводить полученную информацию. Результаты его исследований были оформлены в виде «Dale’s cone of experience», где схематически в процентном соотношении показана взаимосвязь между восприятием информации и способностью действовать. На основе «конуса Дейла» к концу 1970-х годов в Национальной тренинговой лаборатории США была разработана новая графическая версия «влияния методов обучения на степень усвоения материала» [2], получившая название «Пирамида обучения» (рисунок 1).



Рисунок 1- «Пирамида обучения»

На этой схеме наглядно показано, что классическая лекция - наименее эффективный метод обучения, обеспечивающий освоение слушателями всего лишь 5% изложенной информации. Тогда как «активное обучение» (то есть вовлечение участников образовательного процесса в различные виды активной познавательной деятельности) явно позволяет надеяться на более высокие результаты.

Физика — это наука о природе, использующая инструмент математики. Формулы и уравнения – это ключевые понятия физики, поскольку физические величины вычисляются, используя их. Многие студенты просто учат наизусть формулы и пытаются вспомнить их во время экзамена. Однако, если студенты не могут понять за формулами логику физики, они, как правило, не в состоянии решать задачи. Среди многих студентов бытует мнение, что глубокое понимание физики не требуется чтобы получить высокие оценки по курсу физики.

Исследования показали, что самым сложным в процессе обучения для 43-49% студентов было математика и использование формул, и только 29-36% из них заявили, что осмыслении проблемы было более трудным [3]. Когда студенты не понимают проблему, они не в состоянии идентифицировать и использовать правильные формулы для решения задачи.

Многие студенты, изучающие физику, имели следующие трудности: 1) слабое понимание основных понятий физики, 2) неспособность применить знания к новым ситуациям, 3) убеждение, что физика — это просто совокупность уравнений и операций, 4) убеждение, что физика не имеет ничего общего с их повседневной жизнью, и 5) неспособность понять физический смысл материального мира. [4]

Такая ситуация требует использования инновационных подходов к преподаванию, которые выходят за рамки традиционного метода. В США активно разрабатываются стратегии обучения, названные “scientific teaching”, включающие активные методы обучения, побуждающие студентов к активному участию в собственном обучении. Научное обучение создает более высокие уровни понимания, хранения и передачи знаний, чем те, которые возникают в результате традиционных занятий.

Память человека является очень сложным и структурированным явлением, но, чтобы эффективно преподавать физику, нам нужно понять лишь небольшую часть структуры. Память можно разделить на две основные составляющие: оперативную память и долговременную память [5]. Оперативная память, как разновидность кратковременной памяти, быстрая, но ограниченная. Она может обрабатывать только небольшое количество блоков данных, а содержимое имеет тенденцию исчезать через несколько секунд. Долговременная память может хранить огромное количество информации - факты, данные и правила, способы их обработки и использования, - информация может храниться в течение длительного времени (в течение многих лет или даже десятилетий). Большая часть информации в долговременной памяти доступна не сразу. Извлечение информации из долговременной памяти требует ее активации (ввода в оперативную память). Активация информации в долговременной памяти является продуктивной (созданной на месте из небольших стабильных частей) и ассоциативной (активация элемента приводит к активации других элементов).

Чтобы понять процесс обучения на уроках физики профессор Мерилендского Университета Э.Ф.Редиш предложил пять общих принципов, основанных на информации, о том, как работает память.

1. Принцип конструктивизма: люди строят свои знания, связывая их с существующими знаниями; они используют эти знания путем создания продуктивного ответа на информацию, которую они получают.  
2. Принцип контекста: то, что люди строят, зависит от контекста, включая их психические состояния.



3. Принцип изменения: довольно легко узнать что-то, что соответствует или расширяет существующую схему, но существенно изменить сложившуюся схему очень трудно.
4. Принцип индивидуальности: поскольку каждый человек строит свои собственные ментальные структуры, у разных студентов есть разные умственные реакции и разные подходы к обучению. Любая группа учащихся будет демонстрировать значительные вариации в большом числе когнитивных переменных.
5. Принцип социального обучения: для большинства людей обучение наиболее эффективно осуществляется через социальные взаимодействия.

Последние годы были отмечены исследования и внедрения различных инновационных стратегий, методов и технологий в учебном процессе преподавания физики с учетом требований 21-го века, которые можно разделить на три группы. [3]

1. Research-based-Curricula. - Большинство учебных программ, разработанных за последние несколько лет в Соединенных Штатах, использовали циклическую модель разработки учебных программ. Результаты исследования эффективности обучения прежнего учебного плана могут быть использованы для разработки новых учебных программ и подходов к обучению, что приводит к модифицированным программам. Этот процесс начинается снова и циклически повторяется в спирали непрерывного улучшения образования. Но учебные программы часто перегружены содержанием, что снижает возможности творческих и инновационных подходов к обучению на практике [6]. Назрела необходимость пересмотра учебных программ.

2. Research-based teaching strategies - стратегии обучения на основе исследования.

Университеты начинают трансформировать преподавание от традиционного метода воспроизводства знаний, который рассматривает студентов как пассивных получателей знаний (transmissionist, teacher-centered) к методу, в котором студенты активно строят свое знание на основе своих предварительных знаний и опыта (constructivist, student-centered). Были разработаны стратегии, основанные на личностно-ориентированном конструктивном подходе, такие как Peer Instruction [7], Ranking Tasks, Cooperative Group Problem Solving [9], Workshop Physics, Tutorials in Introductory Physics и Active Learning Problem Sheets [10].

3. Engagement techniques - методы взаимодействия.

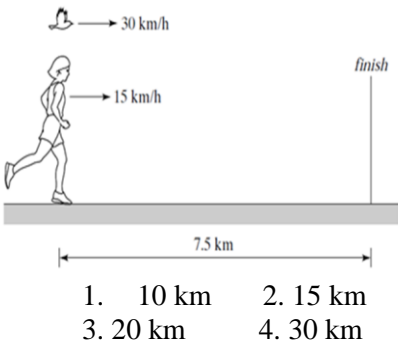
Использование инновационных методов мультимедийных технологий в условиях проблемного обучения - Interactive Lecture Demonstrations [8], онлайн обучение - Just-in-Time Teaching может значительно повысить эффективность концептуально сложных курсов по сравнению с традиционными методами [11].

Группа преподавателей кафедры физики КазНУ имени К.И.Сатпаева предприняли попытку внедрения метода Peer Instruction в образовательный процесс, используя идеи, развитые профессором Гарварда Эриком Мазуром [12].

Долгие годы, преподавая физику, Мазур понял, что даже у студентов с хорошими конечными оценками, остается много недопонимания и заблуждений. Мазур полностью преобразовал свои лекции. Основными пунктами его нового метода были вопросы и общение между студентами. Мазур подготовил тексты с информацией о новых темах для студентов, которые они будут читать перед уроком (Just in Time Teaching). Кроме того, он создал ConcepTests, вопросы, сосредоточенные на основных концепциях. На уроках студенты должны были ответить на основные вопросы о новых концепциях, затрагивающие наиболее распространенные заблуждения по обсуждаемой теме. Эти вопросы могут быть с множественным выбором с одним (или более) правильными ответами и другими вариантами.

Обучение по методу Мазура предполагает краткую лекцию из ряда коротких презентаций по ключевым вопросам, за которыми следует ConcepTest (рисунок 2). Студентам предоставляется время обдумать ответ. Затем они отвечают на вопрос. Если в

аудитории достаточно правильных ответов (30–70%), студенты их обсуждают. После дискуссии студенты отвечают повторно и дают объяснение правильного ответа.



1. 10 km    2. 15 km  
3. 20 km    4. 30 km

Рисунок2 - Пример ConcepTest  
Мазура

Марафонец бежит с постоянной скоростью 15 км/ч. Когда бегун находится в 7,5 км от финиша, птица начинает лететь от бегуна к финишу со скоростью 30 км / ч. Когда птица достигает финишной черты, она разворачивается и летит обратно к бегуну, а затем оборачивается опять, повторяя полеты туда и обратно, пока бегун не дойдет до финиша. Сколько километров пролетит птица?

Исследования показывают, что метод Peer Instruction эффективен по ряду причин.

Во-первых, когда ученики выбирают ответ на вопрос, они более эмоционально увлекаются содержанием, на котором основан этот вопрос. Они больше заботятся о результате, становятся более заинтересованными, когда их просят сделать выбор, и этот эффект умножается, когда их сверстники вокруг делают такой же выбор [12]. Во-вторых, Peer Instruction работает, потому что студенты охотно учат друг друга. Скептики могут предположить, что во время обучения сверстников «умный» ученик в паре или группе просто говорит другим ученикам правильный ответ, который они бездумно выбирают. Однако исследования показывают, что это не так. Как правило, в этих обсуждениях учащиеся на самом деле учили и учились друг у друга. В-третьих, студенты иногда более искусны в объяснении проблем друг другу, чем преподаватель. Преподаватели иногда страдают от «предвзятости эксперта», которая заключается в том, что знание предмета настолько основательно, что вы уже не можете представить себе концептуальные трудности, с которыми сталкивается «новичок». Или, как говорит Мазур, инструктор «потерял способность понимать, с чем сталкивается начинающий ученик». В-четвертых, если на традиционном занятии в обсуждении проблемы вовлечены ограниченное количество высокомотивированных студентов, то данный метод предполагает вовлечение в обсуждение практически всех студентов.

В настоящее время Peer Instruction применяется во многих университетах и высших учебных заведениях по всему миру

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Педагогические идеи Джона Дьюи: история и современность. Томина Е.Ф. // Вестник ОГУ .- 2011, №2 (121).- С. 360-366 [http://vestnik.osu.ru/2011\\_2/62.pdf](http://vestnik.osu.ru/2011_2/62.pdf)
2. Edgar Dale's Cone of Experience. By Jeffrey Anderson <http://ctl.mesacc.edu/blog/edgar-dales-cone-of-experience-2/>
3. Serdyukova N.V. Unconventional approaches to teaching college physics // Physical and Mathematical Education : scientific journal. – 2016. – Issue 3(9). – P. 9-15.
4. Educational Technology in Introductory College Physics Teaching and Learning: The Importance of Students' Perception and Performance. J. Chen. //Beyond Boundaries Conference.- 2003.- P. 1-5. [http://und.edu/research/institutional-research/\\_files/docs/presentations/beyond-boundaries-2003-physics.pdf](http://und.edu/research/institutional-research/_files/docs/presentations/beyond-boundaries-2003-physics.pdf)
5. Edward F. R. Teaching Physics with the Physics Suite. Department of Physics University of Maryland. -2009.-211p.

6. R. Cachia, A. Ferrari, K. Ala-Mutka and Y. Punie. Creative Learning and Innovative Teaching. // Joint Research Centre – Institute for Prospective Technological Studies.- 2010.- 324p.
7. Understanding How Physics Faculty Use Peer Instruction. Chandra Turpen and Noah D. Finkelstein/[http://www.colorado.edu/physics/EducationIssues/papers/Turpen\\_etal/Faculty\\_Peer\\_Instruction.pdf](http://www.colorado.edu/physics/EducationIssues/papers/Turpen_etal/Faculty_Peer_Instruction.pdf)
8. Interactive Lecture Demonstrations. John S. De Long/United States Military Academy:West Point.-NY.-2009.
9. K. Heller, P. Heller. Cooperative Problem Solving in Physics/ University of Minnesota.- 2010.-271p. <http://www.aapt.org/conferences/newfaculty/upload/coop-problem-solving-guide.pdf>
10. G. Tang, A.Titus. Promoting Active Learning in Calculus and General Physics through Interactive and Media Enhanced Lectures// Systemics, cybernetics and informatics.- V.2.- №1.-P.49-56. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.587.7172&rep=rep1&type=pdf>
11. R. Hake. Measuring Teaching and Learning Performance/Interconnected Issues Indiana University.- Emeritus.-2010. <http://www.physics.indiana.edu/~hake/ICMEEK-2006.pdf>
12. C. H. Crouch, E. Mazur. Peer Instruction: Ten years of experience and results//American Journal of Physics.- Vol. 69.- No. 9.- P. 970–977. ISSN: 00029505, 2001.

#### REFERENCES

1. Tomina E.F. Pedagogical ideas of John Dewey: history and present.// Vestnik OSU .- 2011, №2 (121).- С. 360-366 [http://vestnik.osu.ru/2011\\_2/62.pdf](http://vestnik.osu.ru/2011_2/62.pdf)
2. Edgar Dale’s Cone of Experience. By Jeffrey Anderson <http://ctl.mesacc.edu/blog/edgar-dales-cone-of-experience-2/>
3. Serdyukova N.V. Unconventional approaches to teaching college physics // Physical and Mathematical Education : scientific journal. – 2016. – Issue 3(9). – P. 9-15.
4. Educational Technology in Introductory College Physics Teaching and Learning: The Importance of Students’ Perception and Performance. J. Chen. //Beyond Boundaries Conference.- 2003.- P. 1-5. [http://und.edu/research/institutional-research/\\_files/docs/presentations/beyond-boundaries-2003-physics.pdf](http://und.edu/research/institutional-research/_files/docs/presentations/beyond-boundaries-2003-physics.pdf)
5. Edward F. R. Teaching Physics with the Physics Suite. Department of Physics University of Maryland. -2009.-211p.
6. R. Cachia, A. Ferrari, K. Ala-Mutka and Y. Punie. Creative Learning and Innovative Teaching. // Joint Research Centre – Institute for Prospective Technological Studies.- 2010.- 324p.
7. Understanding How Physics Faculty Use Peer Instruction. Chandra Turpen and Noah D. Finkestein/[http://www.colorado.edu/physics/EducationIssues/papers/Turpen\\_etal/Faculty\\_Peer\\_Instruction.pdf](http://www.colorado.edu/physics/EducationIssues/papers/Turpen_etal/Faculty_Peer_Instruction.pdf)
8. Interactive Lecture Demonstrations. John S. De Long/United States Military Academy:West Point.-NY.-2009.
9. K. Heller, P. Heller. Cooperative Problem Solving in Physics/ University of Minnesota.- 2010.-271p. <http://www.aapt.org/conferences/newfaculty/upload/coop-problem-solving-guide.pdf>
10. G. Tang, A.Titus. Promoting Active Learning in Calculus and General Physics through Interactive and Media Enhanced Lectures// Systemics, cybernetics and informatics.- V.2.- №1.- P.49-56. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.587.7172&rep=rep1&type=pdf>
11. R. Hake. Measuring Teaching and Learning Performance/Interconnected Issues Indiana University.- Emeritus.-2010. <http://www.physics.indiana.edu/~hake/ICMEEK-2006.pdf>

12. C. H. Crouch, E. Mazur. Peer Instruction: Ten years of experience and results//American Journal of Physics.- Vol. 69.- No. 9.- P. 970–977. ISSN: 00029505, 2001.

## **INNOVATIVE EDUCATIONAL TECHNOLOGIES IN TEACHING PHYSICS**

**M.Sh. Ismagulova, G.E. Bedelbayeva, I.V. Bepalova**

Satbayev University, Almaty

**Abstract.** Challenges of the 21st century require the introduction of innovative methods in the educational process. The article deals with the history of the origin and development of active teaching methods. Innovative strategies for teaching physics at US Universities transform teaching from the traditional method of knowledge reproduction, which treats students as passive recipients of knowledge (transmissionist, teacher-centered) to a method in which students actively build knowledge based on their prior knowledge and experience (constructivist, student-Centered).

Peer Instruction is an interactive teaching method developed by Eric Mazur in the 1990s to improve learning in the introductory physics courses at Harvard. This method improves students' understanding of physics and helps overcome their misconceptions.

**Key words:** undergraduate instruction; innovative education, innovative development, innovative technologies.

## **ФИЗИКАНЫ ОҚЫТУДАҒЫ ИННОВАЦИЯЛЫҚ БІЛІМ БЕРУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ**

**М.Ш.Исмагулова, Г.Е.Бедельбаева, И.В.Беспалова**

Сәтбаев Университеті, Алматы

**Аннотация.** 21 ғасыр жаңашылдық білім беру үрдісіне инновациялық әдістерді енгізуді талап етеді. Мақалада оқытудағы белсенді әдістердің дамуы мен пайда болу тарихы қарастырылған. АҚШ-тың жоғары оқу орындарында физиканы оқытудың инновациялық стратегиялары білімді дамытуда студенттерді енжар білім алушылар ретінде қарастыратын(transmissionist, teacher-centered) дәстүрлі әдістен, алдын ала берілген білім мен тәжірибеге негізделген белсенді білімге құрылған(constructivist, student-centered) оқытуға айналдырады.

**Түйін сөздер:** жоғары білім, инновациялық білім беру, инновациялық дамыту, инновациялық технологиялар.

МРНТИ 29.05.45

М.Б. Арзимбетова, Ш.Р. Мырзақұл, Т.Р. Мырзақұл

Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

## СИММЕТРИЯ НЁТЕРА В КОСМОЛОГИИ $f(R)$ ХОРАВЫ-ЛИФШИЦА

**Аннотация.** Исследуется Нётерова симметрия общей  $f(R_{GHL})$  космологической модели с использованием поведения соответствующего лагранжиана при бесконечно малых генераторах искомой симметрии. Мы явно вычислим вид функции  $f(R_{GHL})$ , для которой существуют такие симметрии. Показано, что результирующая форма  $f(R_{GHL})$  дает расширение по степенному закону для космологического масштабного фактора. Хорава предложил теорию квантовой гравитации, которая учитывает степень перенормируемости в ультрафиолете. Это было достигнуто за счет анизотропного масштабирования между пространством и временем, и, следовательно, оно нарушает лоренц-инвариантность в ультрафиолетовом диапазоне. Инфракрасный предел теории воспроизводит общую теорию относительности для определенного выбора параметра, а именно  $\lambda=1$ . Нарушение симметрии Лоренца выполняется путем предпочтительного слоения трехмерных пространственно-подобных гиперповерхностей, которые, в свою очередь, разделяют координату на пространство и время. Это позволяет записать действие Эйнштейна Гильберта с более высокими пространственными производными метрики. Это улучшает ультрафиолетовое поведение пропагатора гравитона и отображает перенормируемую теорию подсчета мощности. Более того, у действия есть только производные по времени второго порядка, предотвращающие присутствие призраков в теории.

**Ключевые слова:** Симметрия Нётера,  $f(R)$  космология, гравитация Хоравы-Лифшица.

### 1. Введение

Недавно Хорава предложил теорию квантовой гравитации, которая учитывает степень перенормируемости в ультрафиолете. Это было достигнуто за счет анизотропного масштабирования между пространством и временем, и, следовательно, оно нарушает лоренц-инвариантность в ультрафиолетовом диапазоне [1]. Инфракрасный предел теории воспроизводит общую теорию относительности для определенного выбора параметра, а именно  $\lambda=1$ . Нарушение симметрии Лоренца выполняется путем предпочтительного слоения трехмерных пространственно-подобных гиперповерхностей, которые в свою очередь, разделяют координату на пространство и время. Это позволяет записать действие Эйнштейна Гильберта с более высокими пространственными производными метрики. Это улучшает ультрафиолетовое поведение пропагатора гравитона и отображает перенормируемую теорию подсчета мощности. Более того, у действия есть только производные по времени второго порядка, предотвращающие присутствие призраков в теории.

Интересно взглянуть на различные аспекты этой теории с точки зрения космологии. Много интересных космологических следствий было найдено для гравитации ХЛ [2]. Выяснилось, что уравнения Фридмана в гравитации ХЛ содержат некоторые члены, которые ведут себя как темное излучение с отрицательным коэффициентом.

С другой стороны, многие недавние наблюдения указывают на то, что Вселенная, вероятно, прошла две фазы ускоренного расширения: одна в раннюю эпоху для решения многих космологических загадок с созданием наблюдаемых возмущений плотности [3], другая для приспособления к своеобразным наблюдениям, где текущая Вселенная ускоряется [4]. Вместо добавления некоторого дополнительного компонента материи во Вселенной, чтобы вызвать ускоренные фазы, альтернативой является модификация члена

Эйнштейна-Гильберта путем замены скаляра Риччи  $R$  в действии некоторыми общими функциями  $f(R)$  скаляра Риччи (см. например [5]). Учитывая, что гравитация ХЛ является многообещающим кандидатом для завершения общей теории относительности в ультрафиолетовом диапазоне, были также предложены  $f(R)$  версии гравитации ХЛ [6–8].

В этой статье мы рассматриваем плоское пространство-время Фрийдмана – Робертсона – Уокера (ФРУ) в рамках обобщенной  $f(R_{GHL})$  гравитации Хоравы - Лифшица. Следуя [9], мы создали эффективный Лагранжиан, в котором масштабный фактор  $a$  и скаляр Риччи  $R$  играют роль независимых динамических переменных. Этот лагранжиан построен таким образом, что его вариация относительно  $a$  и  $R$  дает правильные уравнения движения как уравнения действия с типичным  $f(R_{GHL})$ . Вид функции  $f(R_{GHL})$ , появляющейся в модифицированном действии, затем определяется требованием того, что лагранжиан допускает желаемую симметрию Нётер [10]. Под симметрией Нётер данной космологической модели минисуперпространства мы понимаем, что существует векторное поле  $X$  как бесконечно малый генератор симметрии на касательном пространстве конфигурационного пространства, такой что производная Ли лагранжиана по этому векторному полю обращается в нуль. Представив симметрию Нётер как особенность лагранжиана рассматриваемой модели можно получить явный вид функции  $f(R_{GHL})$ . Поскольку существование симметрии приводит к постоянной движения, можно интегрировать уравнения поля, которые затем приведут к расширению степенного закона Вселенной.

## 2. Модификация $f(R_{GHL})$ гравитации Хоравы-Лифшица

В данной работе рассматривается более общая модель гравитации Хоравы-Лифшица предложенная в [9]. Действие такой модели имеет следующий вид:

$$S_{f(R_{GHL})} = \int d^4x \sqrt{g^{(3)}} N f(R_{GHL}). \quad (1)$$

Здесь  $g^{(3)}$  является определителем трехмерного метрического тензора  $g_{ij}^{(3)}$  для АДМ метрики, заданной в следующем виде:

$$ds^2 = -N^2 dt^2 + g_{ij}^{(3)} (dx^i + N^i dt) (dx^j + N^j dt), \quad (2)$$

где  $i, j = 1, 2, 3$ ,  $N$  - Лаплас-переменная, а  $N^i$  - сдвиг четырех векторов. АДМ метрика предполагает, что пространство - время можно расслоить на совокупность пространственно подобных 3-мерных гиперповерхностей  $\Sigma$ , которые нумеруются при помощи временной координаты  $t$ , а на каждой гиперповерхности вводятся пространственные координаты  $x^i$ . В действии мы используем функцию  $f(R_{GHL})$  обобщенную кривизну гравитации Хоравы-Лифшица  $f(R_{GHL})$ , которая определяется как:

$$(R_{GHL}) \equiv K^{ij} K_{ij} - \lambda K^2 + 2\mu \nabla_\mu (n^\mu \nabla_\nu n^\nu - n^\nu \nabla_\nu n^\mu) - E^{ij} \zeta_{ijkl} E^{kl}, \quad (3)$$

где  $K^{ij}$  - внешняя кривизна

$$K^{ij} = \frac{1}{2N} (\dot{g}_{il}^{(3)} - \nabla_i^{(3)} N_j - \nabla_j^{(3)} N_i), \quad K = K_i^i, \quad (4)$$

$n^\mu$  - это единичный вектор, перпендикулярный к трехмерной гиперповерхности  $\Sigma$ , который определен от  $t=\text{const}$  и  $\nabla_i^{(3)}$  выражающий ковариантную производную на гиперповерхности  $\Sigma_i$ . В последнем члене уравнения (3)  $G_{ijkl}$  является обратной обобщенной метрике Де Витта

$$G^{ijkl} = \frac{1}{2} (g^{(3)ik} g^{(3)jl} + g^{(3)il} g^{(3)jk}) - \lambda g^{(3)ij} g^{(3)kl}. \quad (5)$$

Итак, у нас есть

$$G_{ijkl} = \frac{1}{2} (g_{ik}^{(3)} g_{jl}^{(3)} + g_{il}^{(3)} g_{jk}^{(3)}) - \bar{\lambda} g_{ij}^{(3)} g_{kl}^{(3)}, \quad \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{3\lambda - 1}. \quad (6)$$

Здесь важно отметить, что  $G_{ijkl}$  является сингулярным для  $\lambda = \frac{1}{3}$ ,  $G_{ijkl}$  и существуют, если  $\lambda \neq \frac{1}{3}$ . Выражение для  $E_{ij}$  построено так, чтобы удовлетворить «принципу детального баланса» и определяется как:

$$\sqrt{g^{(3)}} E^{ij} = \frac{\delta W[g_{kl}^{(3)}]}{\delta g_{ij}^{(3)}}, \quad (7)$$

где форма  $W[g_{kl}^{(3)}]$  дана для  $z=2$  и  $z=3$ .

Рассмотрим плоско-пространственную область Фридмана-Леметра-Робертсона-Уокера

$$ds^2 = -N^2 dt^2 + a(t)^2 \sum_{i=1,2,3} (dx^i)^2. \quad (8)$$

Мы будем рассматривать случай  $N=1$ . Скалярная кривизна (3) может быть записана как:

$$R_{GHL} = 3(1 - 3\lambda + 4\mu) \frac{\dot{a}^2}{a^2} + 6\mu \frac{\ddot{a}}{a}. \quad (9)$$

Исследование модели симметрии Нётера необходимо для определения эффективного действия лагранжиана (1) минисуперпространства на котором рассматривается масштабный коэффициент  $a$  и скалярная кривизна  $R_{GHL}$ .

$$S = \int dt L(a, \dot{a}, R_{GHL}, \dot{R}_{GHL}) = \int dt \left[ a^3 f(R_{GHL}) - v \left\{ R_{GHL} - \left( 3(1 - 3\lambda + 4\mu) \frac{\dot{a}^2}{a} + 6\mu \frac{\ddot{a}}{a} \right) \right\} \right], \quad (10)$$

где  $\nu = a^3 df(R_{GHL})/dR_{GHL}$  - множитель Лагранжа. Тогда эффективный Лагранжиан будет иметь форму:

$$L(a, \dot{a}, R_{GHL}, \dot{R}_{GHL}) = (9\lambda - 3)\dot{a}^2 af' + 6\mu \dot{a} \dot{R}_{GHL} a^2 f'' + a^3 (f R_{GHL} - f) \quad (11)$$

Уравнения движения будут иметь следующий вид:

$$3H^2 + 2\dot{H} = -\frac{2}{3\lambda - 1} \cdot \frac{1}{f'} \left[ \mu f'' \dot{R}_{GHL}^2 + \mu f' \ddot{R}_{GHL} + (3\lambda - 1) f'' H \dot{R}_{GHL} + \frac{1}{2} (f - R_{GHL} f') \right]. \quad (12)$$

Кроме того, мы имеем условие нулевой энергии, связанное с вышеупомянутым Лагранжианом следующим образом:

$$H^2 = \frac{1}{3(3\lambda - 1)} \frac{1}{f} [f R_{GHL} - f - 6\mu \dot{R}_{GHL} H f''] \quad (13)$$

Импульсы, сопряженные к переменным  $a$  и  $R$ , равны

$$P_a = \frac{\partial \alpha}{\partial \dot{a}} = 2(9\lambda - 3)\dot{a} af' + 6\mu \dot{R}_{GHL} a^2 f'' \quad (14)$$

$$P_R = \frac{\partial \alpha}{\partial \dot{R}} = 6\mu \dot{a} a^2 f'' \quad (15)$$

Гамильтониан, соответствующий лагранжиану (11), можно записать в терминах  $a, \dot{a}, R, \dot{R}$  как:

$$(9\lambda - 3)a^2 \dot{a} f' + 6\mu \dot{a} a^2 f'' \dot{R} - a^3 (f R - f) = 0 \quad (16)$$

Кроме того, уравнение (13) есть не что иное, как условие нулевой энергии  $H=0$  (ограничение по Гамильтону). В следующем разделе мы будем использовать вышеупомянутый лагранжиан, чтобы найти форму  $f(R_{GHL})$ , которая допускала бы симметрию Нётера.

### 3. Симметрии Нётера в $f(R_{GHL})$ теории гравитации

Как хорошо известно, симметричный подход Нётера является мощным инструментом для нахождения решения заданного лагранжиана, включая тот, который представлен выше (11). Каждой симметрии пространства-времени соответствует сохраняющаяся величина. Поэтому исследование симметрии Нётера в представленной выше модели является целью, которую мы будем преследовать в этом разделе. Здесь наша цель - найти функцию  $f(R_{GHL})$  такой, чтобы соответствующий лагранжиан обладал желаемой симметрией. Эта симметрия играет в современной физике важную роль. Применяется для определения сохраняющихся величин и констант движения. Подход симметрии Нётера подсказывает нам, что производная Ли лагранжиана по заданному векторному полю  $X$  равна нулю.



Определим симметрию Нетера, индуцированную на модели через векторное поле  $X$  на касательное пространство  $TQ = (a, \dot{a}, R, \dot{R}_{GHL})$  пространства конфигурации  $Q = (a, R_{GHL})$  Лагранжа (11) через

$$X = \alpha \frac{\partial}{\partial a} + \beta \frac{\partial}{\partial R_{GHL}} + \dot{\alpha} \frac{\partial}{\partial \dot{a}} + \dot{\beta} \frac{\partial}{\partial \dot{R}_{GHL}} \quad (17)$$

такой, что производная Ли Лагранжа по этому векторному полю исчезает

$$L_x L = 0. \quad (18)$$

В (17),  $\alpha, \beta$  являются функциями  $a, R$  и  $\frac{d}{dt}$  представляет производную Ли вдоль динамического векторного поля, то есть

$$\frac{d}{dt} = \dot{a} \frac{\partial}{\partial a} + \dot{R}_{GHL} \frac{\partial}{\partial R_{GHL}} \quad (19)$$

Легко найти константы движения, соответствующие такой симметрии. На самом деле, уравнение (18) можно переписать в виде

$$L_x L = \left( \alpha \frac{\partial L}{\partial a} + \frac{d\alpha}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{a}} \right) + \left( \beta \frac{\partial L}{\partial R_{GHL}} + \frac{d\beta}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{R}_{GHL}} \right) = 0 \quad (20)$$

$$\frac{d}{dt} = \alpha p_\alpha + \beta p_R \quad (21)$$

Таким образом, константы движения имеют следующий вид:

$$Q = \alpha p_\alpha + \beta p_R \quad (22)$$

Для получения функций  $\alpha$  и  $\beta$  используем уравнение (20). В целом это уравнение дает квадратичный многочлен в терминах  $a$  и  $R$  с коэффициентами, являющимися частными производными от  $\alpha$  и  $\beta$  с относительно конфигурационных переменных  $a$  и  $R$ . Таким образом, полученное выражение тождественно равно нулю, если и только если эти коэффициенты равны нулю. Это приводит к следующей системе уравнений:

$$3(3\lambda - 1)(\alpha + 2a\alpha_\alpha)f' + [3(3\lambda - 1)\beta_\alpha + 6\mu a^2\beta_\alpha]f'' = 0, \quad (23)$$

$$6\mu a^2\alpha R_{GHL}f'' = 0, \quad (24)$$

$$6\mu(2a\alpha + a^2\alpha_\alpha)f'' + 6(3\lambda - 1)a\alpha_{R_{GHL}}f' + 6\mu a^2(\beta f''' + \beta_{R_{GHL}}f'') = 0. \quad (25)$$

Когда  $f'' \neq 0$  из уравнения (24) мы получаем

$$\frac{d\alpha}{dR_{GHL}} = 0. \quad (26)$$

При этом условии уравнение (23) приводит к

$$\alpha(\alpha) = \alpha_0 \alpha^{\frac{\beta_0+1}{\alpha_0}} \quad (27)$$

Теперь наша задача состоит в том, чтобы решить систему уравнений (23)-(25), для того чтобы найти космологические параметры, которые описывают динамику Вселенной в рамках гравитации  $f(R_{GHL})$  Хоравы-Лифшица. Из уравнения (24) рассмотрим два случая:

$f'' \neq 0$  и  $\frac{d\alpha}{dR_{GHL}} = 0$ , так как мы исследуем зависимость  $f$  от  $R$ . Ниже мы рассмотрим каждый случай отдельно.

$$\alpha(a) = \alpha_0 a^{\frac{\beta_0+1}{\alpha_0}}, \quad \beta(a, R) = \beta_0 a^{\frac{\beta_0}{\alpha_0}} R, \quad (28)$$

$$f = f_0 R_{GHL}^{-3\frac{\alpha_0}{\beta_0}} \quad (29)$$

где  $\alpha_0 = \frac{2\mu}{3\lambda - 6\mu - 1} \beta_0$ ;  $\beta_0, f_0$  являются интегральными константами.

Следовательно, в контексте космологии  $f(R_{GHL})$  плоская метрика ФРУ имеет симметрию Нётера, если соответствующее действие задается уравнением (29), а симметрия Нётера генерируется векторным полем (17)

Чтобы получить соответствующую космологию, вытекающую из этого типа  $f(R_{GHL})$ , отметим, что существование симметрии Нётер (17) подразумевает существование постоянной движения  $Q = \alpha p_\alpha + \beta p_R$ . Следовательно, используя уравнения (14) и (15), мы имеем

$$Q = A \dot{a} a^{\frac{\beta_0+2}{\alpha_0}} R^{\frac{-3\alpha_0-1}{\beta_0}} + B a^{\frac{\beta_0+3}{\alpha_0}} \dot{R} R^{\frac{-3\alpha_0-2}{\beta_0}}, \quad (30)$$

что может быть переписано в виде

$$Q = C \frac{d}{dt} \left( a^{\frac{\beta_0+3}{\alpha_0}} R^{\frac{-3\alpha_0-1}{\beta_0}} \right), \quad (31)$$

где  $A, B, C$  - константы. Проинтегрировав, получим

$$a^{\frac{\beta_0+3}{\alpha_0}} R^{\frac{-3\alpha_0-1}{\beta_0}} = \tilde{Q} t. \quad (32)$$

С другой стороны, гамильтоново ограничение  $H=0$  с  $H$  (12) дает

$$(9\lambda - 3)a^2 \dot{a} f' + 6\mu \dot{a} a^2 f \ddot{R} - a^3 (f \ddot{R} - \dot{f} \dot{R}) = 0 \quad (33)$$

Чтобы найти масштабный фактор, преобразуем уравнение (32) как

$$\dot{R} = \left( \tilde{Q}^n t^n a^{\left(\frac{\beta_0 - 3}{\alpha_0}\right)^n} \right)_t = \tilde{Q}^n \left( n t^{n-1} a^{\left(\frac{\beta_0 - 3}{\alpha_0}\right)^n} + t^n \left( -\frac{\beta_0}{\alpha_0} - 3 \right) n a^{\left(\frac{\beta_0 - 3}{\alpha_0}\right)^{n-1}} \dot{a} \right), \quad (34)$$

который после подстановки в соотношение (33) дает

$$\tilde{C} \dot{a} a^{\frac{\beta_0 - 1}{\alpha_0}} = t^{\frac{3\alpha_0}{3\alpha_0 + \beta_0}}, \quad (35)$$

где после интегрирования получаем

$$a \sim t^n \quad (36)$$

Следовательно, в контексте нашей гравитации  $f(R_{GHL})$  вселенная развивается со степенным расширением.

#### 4. Выводы

В этой статье мы изучили общую  $f(R_{GHL})$  космологическую модель с учетом симметрии Нётера. Для фоновой геометрии мы рассмотрели плоскую метрику ФРУ и вывели общие уравнения движения на этом фоне, затем было построено фазовое пространство, взяв в качестве независимых динамических переменных масштабный фактор  $a$  и скаляр Риччи  $R$ . Модель Лагранжиана в конфигурационном пространстве, которая охватывает  $\{a, R\}$ , построена так, что его изменение относительно этих динамических переменных дает правильные уравнения поля. Существование симметрии Нётер означает, что производная Ли этого Лагранжиана по бесконечно малому генератору искомой симметрии обращается в нуль. Применяя это условие к модели Лагранжиана, мы получили явный вид соответствующей функции  $f(R_{GHL})$ . Показано, что результирующая форма  $f(R_{GHL})$  дает расширение по степенному закону для космологического масштабного фактора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1 P. Horava, "Quantum Criticality and Yang-Mills Gauge Theory," Phys. Lett. B694, 172-176 (2010). [arXiv:0811.2217 [hep-th]], P. Horava, "Membranes at Quantum Criticality," JHEP 0903, 020 (2009) [arXiv:0812.4287 [hep-th]], P. Horava, "Quantum Gravity at a Lifshitz Point," Phys. Rev. D 79, 084008 (2009) [arXiv:0901.3775 [hep-th]], P. Horava, "Spectral Dimension of the Universe in Quantum Gravity at a Lifshitz Point," Phys. Rev. Lett. 102, 161301 (2009) [arXiv:0902.3657 [hep-th]].
- 2 H. Lu, J. Mei, C. N. Pope, "Solutions to Horava Gravity," Phys. Rev. Lett. 103, 091301 (2009). [arXiv:0904.1595 [hep-th]].
- 3 A. H. Guth, "The Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems," Phys. Rev. D23, 347 (1981). A. D. Linde, "A New Inflationary Universe Scenario:

- A Possible Solution of the Horizon, Flatness, Homogeneity, Isotropy and Primordial Monopole Problems,” Phys. Lett. B108 (1982) 389 (1982).
- 4 E. J. Copeland, M. Sami, S. Tsujikawa, “Dynamics of dark energy,” Int. J. Mod. Phys. D15 , 1753 (2006). [hep-th/0603057].
- S. Nojiri and S. D. Odintsov, “Dark energy, inflation and dark matter from modified F(R) gravity,” arXiv:0807.0685 [hep-th], A. De Felice, S. Tsujikawa, “f(R) theories,” Living Rev. Rel. 13 , 3 (2010). [arXiv:1002.4928 [gr-qc]].
- 5 R. Myrzakulov and L. Sebastiani, “Non-local F(R)-mimetic gravity,” Astrophys. Space Sci. 361 (2016) no.6, 188 [arXiv:1601.04994 [gr-qc]].
- 6 J. Kluson, “Horava-Lifshitz f(R) Gravity,” JHEP 0911, 078 (2009) [arXiv:0907.3566 [hep-th]].
- 7 J. Kluson, “New Models of f(R) Theories of Gravity,” Phys. Rev. D 81, 064028 (2010) [arXiv:0910.5852 [hep-th]].
- 8 A. Jawad, Sh. Rani, D. Momeni, F. Gulshan, R. Myrzakulov, “First and Second Laws of Thermodynamics in Modified Horava-Lifshitz F(R) Gravity,” (2016) [arXiv:1602.06252 [gr-qc]].
- 9 M. Chaichian, S. Nojiri, S. D. Odintsov, M. Oksanen and A. Tureanu, “Modified F(R) Horava-Lifshitz gravity: a way to accelerating FRW cosmology,” Class. Quant. Grav. 27, 185021 (2010) [arXiv:1001.4102 [hep-th]].
- 10 D. Momeni, R. Myrzakulov, E. Güdekli, “Cosmological viable Mimetic f(R) and f(R,T) theories via Noether symmetry,” Int.J.Geom.Meth.Mod.Phys. 12 (2015) no.10, 1550101 [arXiv:1502.00977 [gr-qc]].

## ХОРАВА-ЛИФШИЦ $f(R)$ КОСМОЛОГИЯДАҒЫ НӨТЕР СИММЕТРИЯСЫ

М.Б. Арзимбетова<sup>1</sup>, Ш.Р. Мырзақұл<sup>1</sup>, Т.Р. Мырзақұл<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

**Аңдатпа.** Жалпы  $f(R_{GHL})$  космологиялық модельдегі Нойтердің симметриялары тиісті лагранжианның қалаған симметриясының шексіз шағын генераторлары мінезімен зерттеледі. Осындай симметрия бар функцияның  $f(R_{GHL})$  формасын нақты анықтаймыз. Көрсетілген нәтиже  $f(R_{GHL})$  космологиялық масштабтау коэффициентінің күші туралы заңға сәйкес кеңейтуге мүмкіндік береді. Хорава ультрафиолеттегі ренормализация дәрежесін ескеретін кванттық гравитация теориясын ұсынды. Бұл ғарыш пен уақыт арасындағы анизотропты масштабтау арқылы қол жеткізілді, сондықтан ультракүлгін диапазондағы Лоренц инварианциясын бұзады. Теориялық инфрақызыл лимит параметрдің нақты таңдауына қатысты жалпы салыстырмалық теориясын шығарады, атап айтқанда  $\lambda=1$ . Лоренц симметриясының бұзылуы үшөлшемді ғарышқа ұқсас гиперповерхестердің жеңілдетілген фольясы арқылы жүзеге асырылады, бұл өз кезегінде координатты ғарышқа және уақытқа бөледі. Бұл Эйнштейннің Гильберт әрекетін метриканың жоғары кеңістіктік туындыларымен жазуға мүмкіндік береді. Бұл гравитонды пропагатордың ультра күлгін мінез-құлқын жақсартады және ренормализацияланатын қуатты санау теориясын көрсетеді. Оның үстіне, бұл әрекетте теорияда арбалардың болуына жол бермейтін, екінші кезектегі уақыт туындылары бар.

**Түйін сөздер:** Нетер симметриясы,  $f(R)$  космология, Хорава-Лифшиц ауырлығы.

NOETHER SYMMETRY IN  $f(R)$  COSMOLOGY OF HORAVA-LIFSHITZ

M.B. Arzimbetova<sup>1</sup>, Sh.R. Myrzakul<sup>1</sup>, Sh.R. Myrzakul<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

**Abstract.** The Noether symmetry of the general  $f(R_{GHL})$  cosmological model is investigated using the behavior of the corresponding Lagrangian with infinitely small generators of the desired symmetry. We explicitly calculate the form of the function  $f(R_{GHL})$  for which such symmetries exist. It is shown that the resulting form  $f(R_{GHL})$  gives an expansion according to a power law for the cosmological scale factor. Horava proposed the theory of quantum gravity, which takes into account the degree of renormalizability in the ultraviolet. This was achieved by anisotropic scaling between space and time, and, therefore, it violates Lorentz invariance in the ultraviolet range. The infrared limit of a theory reproduces the general theory of relativity for a particular choice of parameter, namely  $\lambda = 1$ . Lorentz symmetry breaking is performed by preferential foliation of three-dimensional space-like hypersurfaces, which, in turn, divide the coordinate into space and time. This allows us to record the action of Einstein Hilbert with higher spatial derivatives of the metric. It improves the ultraviolet behavior of the graviton propagator and displays the renormalizable power counting theory. Moreover, the action has only second-order time derivatives that prevent the presence of ghosts in the theory.

**Key words:** Noether symmetry,  $f(R)$  cosmology, Horava-Lifshitz gravity.

**А.К. Рысмаганбетова**

Учреждение Образования «Алматы Менеджмент Университет», г. Алматы,  
Казахстан

## **НЕКОТОРЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ МАРКЕТИНГОВОЙ СТРАТЕГИИ ДЛЯ УЧРЕЖДЕНИЙ СФЕРЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**Аннотация.** В статье рассмотрены некоторые методологические аспекты разработки маркетинговой стратегии для учреждений сферы дополнительного образования. Принимая во внимание то, что в процессе разработки маркетинговой стратегии для детского центра, осуществляющего свою деятельность в сфере дополнительных образовательных услуг г. Астаны, возможно применить достаточно разнообразный комплекс методов исследования, из которых в данной статье описаны только два метода.

Автором отмечается, анализ конкуренции в сфере дополнительных образовательных услуг показал, что рынок развивающих центров растет в масштабах, конкурентная борьба среди аналогичных учреждений обостряется. Все это побуждает руководство детского центра обратиться к стратегическому маркетингу, то есть сосредоточиться на разработке стратегии развития.

Особое внимание автор статьи уделяет результатам проведенного исследования по модели конкурентных сил М.Портера и методике SWOT, что позволяет определить стратегические приоритеты, необходимые для разработки маркетинговой стратегии детского центра.

**Ключевые слова:** маркетинговая стратегия, детский центр, учреждения дополнительного образования, анализ, исследование, результаты.

Стратегия маркетинга – это разработанное на основании изучения потребительского спроса, конъюнктуры, действий конкурентов общее направление деятельности компании на определенный период, позволяющее решать основные задачи компании с учетом имеющихся у нее ресурсов в условиях меняющейся рыночной ситуации. Для того чтобы выработанная стратегия маркетинга была эффективной, необходимо смоделировать ситуации, анализируя закономерности взаимодействия между потребностями, спросом, качеством продукции аналогичных учреждений сферы дополнительного образования с потребностями компании, ее способностью удовлетворять потребности покупателей, и выявить необходимость внедрения конкретных изменений.

В условиях современного мира наблюдается устойчивая тенденция роста и развития предприятий в совершенно разных сферах. Следовательно, уровень конкуренции также растет. Для развития и оптимизации бизнеса нужно приложить максимальные усилия, провести разработку эффективного плана по реализации желаемых задач. Маркетинговая стратегия – это развернутый план ведения и организации рабочего процесса.

Маркетинговая стратегия предприятия позволяет понять, как планировать и реализовывать различные мероприятия в компании, направленные на реализацию стратегических планов.

Маркетинговая стратегия является одной из частей общего стратегического плана компании и связана с вопросами, направленными на то, чтобы увеличить продажи и доход предприятия.

В Казахстане, как и в других странах СНГ и Европы, детские развивающие центры относятся к системе дополнительного образования. Желание дать детям дополнительное

образование и возможность развивать таланты ребенка, является сильными стимулирующими факторами развития рынка.

Сфера образования в целом, и дополнительного образования детей в частности, в современном мире все больше воспринимаются как сфера услуг (услуг специфических, связанных с формированием личности человека, воспроизводством интеллектуальных ресурсов, передачи ценностей культуры). В силу этого процесс модернизации системы образования способствует тому, что учреждения дополнительного образования детей становятся субъектами рынка образовательных услуг, а значит для учреждений дополнительного образования для детей также нужна маркетинговая стратегия.

При этом, единой маркетинговой стратегии для всех детских центров нет. Все учреждения сферы дополнительного образования, даже в рамках одной отрасли, уникальны, поэтому для каждого детского центра должна быть своя собственная маркетинговая стратегия, которая, безусловно, имеет общие черты с другими подобными документами, но при этом она разработана только для одного учреждения, которое также в своей деятельности и своем позиционировании на рынке образовательных услуг имеет свои отличительные особенности. В этой связи, разработку маркетинговой стратегии необходимо осуществлять, принимая во внимание всю информацию, которой располагает детский образовательный центр, содержащую сведения о текущем и прогнозируемом положении, состоянии отрасли, направлениях деятельности данного учреждения и др.

В процессе разработки маркетинговой стратегии для детского центра «TalantVill», осуществляющего свою деятельность в сфере дополнительных образовательных услуг г. Астаны, предполагалось возможным применить достаточно разнообразный комплекс методов исследования, из которых в данной статье будут описаны только два метода.

Анализ пяти сил Портера (англ. Porter five forces analysis) – методика для анализа отраслей и выработки стратегии бизнеса, разработанная Майклом Портером в Гарвардской бизнес-школе в 1979 году.

Пять сил Портера, которые включают в себя:

- анализ угрозы появления продуктов-заменителей;
- анализ угрозы появления новых игроков;
- анализ рыночной власти поставщиков;
- анализ рыночной власти потребителей;
- анализ уровня конкурентной борьбы [1, с.45].

Методикой выделяются пять сил, которые определяют уровень конкуренции, и, следовательно, привлекательности ведения бизнеса в конкретной отрасли.

Следует добавить, модель Портера включает в себя три силы «горизонтальной» конкуренции: угроза появления продуктов-заменителей, угроза появления новых игроков, уровень конкурентной борьбы; и две силы «вертикальной» конкуренции: рыночная власть поставщиков и рыночная власть потребителей.

Для оценки предполагается использовать такие параметры как: угроза со стороны товаров-заменителей, уровень внутриотраслевой конкуренции, оценка высоты входных барьеров, оценка угрозы потери клиентов, оценка поставщиков. Оценка была проведена рабочей группой в составе: руководитель детского центра, сотрудники. Были заполнены анкеты, в которых каждый эксперт оценил влияние силы Портера по трехбалльной шкале.

Затем все результаты были собраны и объединены в таблицу, в которой можно увидеть итоговые данные в рамках влияния каждой из пяти конкурентных сил (таблица 1).

Таблица 1 - Анализ полученных результатов по модели М.Портера

Параметр	Значение	Описание	Направления работ
1	2	3	4
Угроза со стороны товаров-заменителей	Высокий	Детский центр обладает неуникальным предложением на рынке, аналогов которому очень много	Необходимо совершенствовать уникальность услуг. Концентрировать все усилия на построении осведомленности об уникальном предложении.
Угрозы внутриотраслевой конкуренции	Высокий	Рынок дошкольного дополнительного образования является высоко конкурентным и перспективным. Отсутствует возможность полного сравнения услуг разных центров. Есть ограничения в повышении цен.	Проводить постоянный мониторинг предложений конкурентов. Развивать уникальность услуг и повышать воспринимаемую их ценность. Снижать влияние ценовой конкуренции на продажи, повышать уровень знания об услугах.
Угроза со стороны новых игроков	Средний	Средний риск входа новых игроков. Новые компании появляются постоянно из-за средних барьеров входа и среднего уровня первоначальных инвестиций.	Проводить постоянный мониторинг появления новых учреждений сферы дополнительного образования. Проведение акций, направленных на длительность контакта потребителя с компанией. Повышать уровень знания об услугах центра.
Угроза потери текущих клиентов	Высокий	Риски потери потребителей услуг учреждений сферы дополнительного образования очень высокие. Сфера дополнительного образования наряду с детскими развивающими центрами содержит другие менее качественные, но экономичные предложения, например, репетиторские услуги «на дому». Отдельные направления услуг сферы дополнительного образования обладают недостаточно высоким уровнем.	Необходимо систематически работать над расширением ассортимента предоставляемых услуг в рамках сферы дополнительного образования. Отслеживать популярные образовательные тренды и на их основе разрабатывать универсальные и специализированные программы. Повышать качество предоставляемых услуг.



Угроза нестабильности поставщиков	Низкий	Большая часть учреждений сферы дополнительного образования остается стабильной	Разработка различных ценовых предложений с учетом имеющихся ограничений в повышении цен.
Примечание: составлено автором			

Таким образом, результат исследования по модели конкурентных сил в отрасли по М.Портеру, проведенный рабочей группой в детском центре «TalantVill» показал очень высокий уровень угрозы по товарам-заменителям, по внутриотраслевой конкуренции и потере существующих клиентов. Средний уровень угрозы по появлению новых игроков, и низкий уровень угрозы со стороны поставщиков товара.

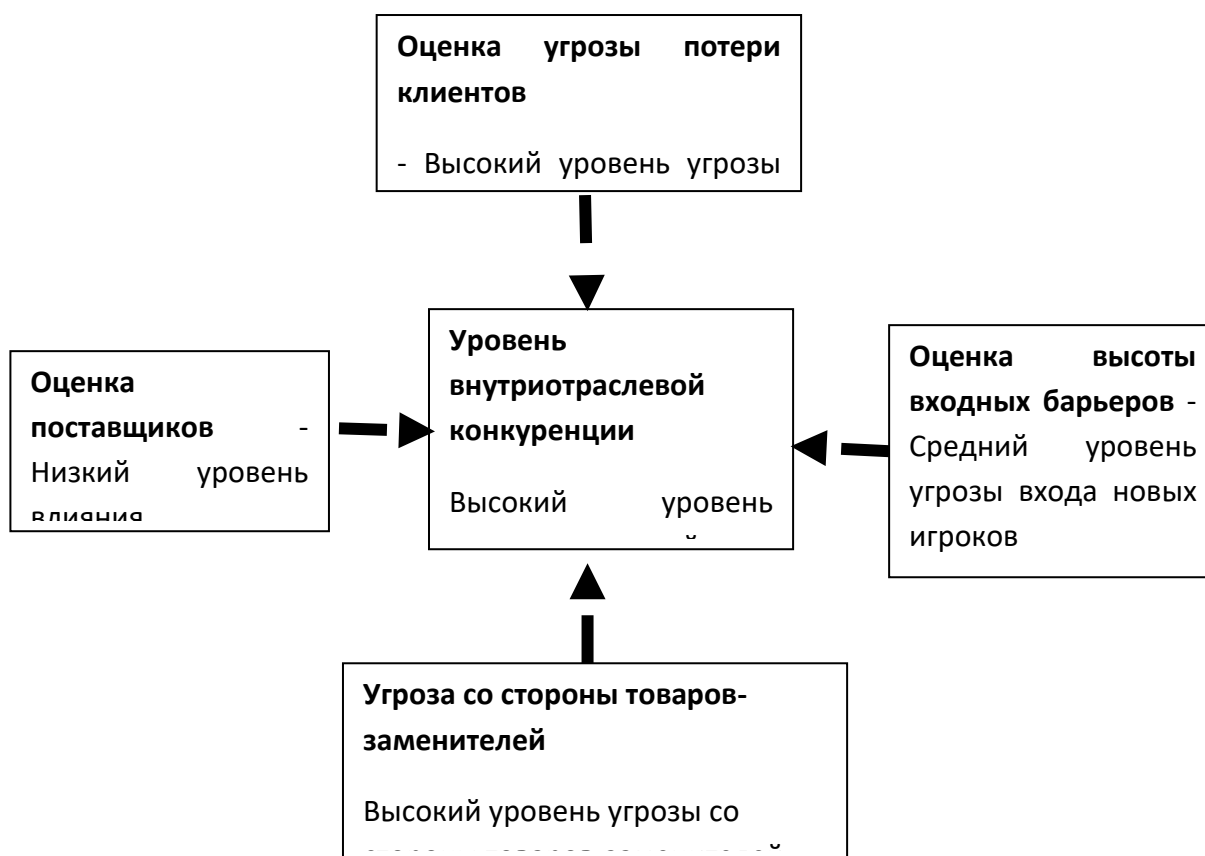


Рисунок 1 - Анализ конкурентных сил по М.Портеру

Примечание: составлено автором

В качестве вывода можно отметить, что в сфере дополнительных образовательных услуг очень высокий уровень внутриотраслевой конкуренции, средний уровень угрозы входа новых игроков, т.е. появление новых игроков на рынке развивающих центров г.Астаны весьма вероятно, поэтому руководство развивающих центров должно это учитывать при осуществлении своей деятельности.

У детского центра «TalantVill» очень высокий уровень угрозы ухода клиентов и низкий уровень влияния поставщиков.

Анализ конкуренции в сфере дополнительных образовательных услуг показал, что рынок развивающих центров растет в масштабах, конкурентная борьба среди аналогичных учреждений обостряется. Все это побуждает руководство детского центра «TalantVill» обратиться к стратегическому маркетингу, то есть сосредоточиться на разработке стратегии развития.

Для определения сильных и слабых сторон, а также имеющихся возможностей и угроз был проведен SWOT-анализ деятельности детского центра «TalantVill» (таблица 2).

**Таблица 2 - SWOT-анализ деятельности детского центра «TalantVill»**

<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
<i>1</i>	<i>2</i>
Свой костяк кадров. Четкое позиционирование. Высокий уровень предоставления услуг. Система мотивации персонала.	Кадровый дефицит. Инвестиционные риски. Недостаточно известный в своем сегменте. Высокие издержки по повышению лояльности посетителей.
<b>Возможности</b>	<b>Угрозы</b>
Охват новых регионов. Рост платежеспособности населения. Улучшение качества дополнительных образовательных услуг. Благоприятные экономические условия. Повышение узнаваемости бренда путем информирования потребителей о деятельности развивающего центра. Развитие социальной ответственности.	Государственное вмешательство. Усиление позиций конкурентов. Активизация уже имеющихся и вхождение на рынок новых игроков.
Примечание: составлено автором	

Таким образом, по результатам проведенного SWOT-анализа деятельности детского центра «TalantVill» были определены стратегические возможности и угрозы, которые требуют концентрации всех необходимых ресурсов для их реализации.

Так, высокая вероятность реализации угроз – это государственное вмешательство, средняя вероятность – усиление позиций конкурентов, и в качестве средней вероятности, но с легкими последствиями наступления угроз выступает – активизация уже имеющихся и вхождение на рынок новых игроков.

Высокую вероятность использования возможностей, предоставляемых рынком, представляют – охват новых регионов и улучшение качества предоставляемых услуг.

Среднюю вероятность использования возможностей, предоставляемых рынком, представляют – повышение узнаваемости бренда путем информирования потребителей о деятельности развивающего центра.

Низкую вероятность представляют – благоприятные экономические условия, развитие социальной ответственности, рост платежеспособности населения.

Данные проведенного исследования по модели конкурентных сил М.Портера и методике SWOT на примере учреждения сферы дополнительных образовательных услуг позволяют определить стратегические приоритеты, необходимые для разработки маркетинговой стратегии детского центра «TalantVill».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конкурентная стратегия: Методика анализа отраслей и конкурентов / Майкл Портер; Пер. с англ. – 4-е изд. – М.: Альпина Паблшер, 2014. – 453 с.
2. Голубков Е.П. Маркетинговые исследования: теория, методология и практика. – М.: Финпресс, 2013. – 496 с.
3. Мусиенко Д. О. Сущность маркетинговой деятельности на предприятиях // Молодой ученый. – 2013. – №6. – С. 383-386.
4. Шонесси Дж. Конкурентный маркетинг. Стратегический подход / Дж. Шонесси. - М.: Питер, 2017. - 864 с.

## REFERENCES

1. Konkurentnaya strategiya: Metodika analiza otrasley i konkurentov / Maykl Porter; Per. s angl. – 4-ye izd. – М.: Al'pina Pablisher, 2014. – 453 s.
2. Golubkov Ye.P. Marketingovyye issledovaniya: teoriya, metodologiya i praktika. – М.: Finpress, 2013. – 496 s.
3. Musiyenko D. O. Sushchnost' marketingovoy deyatel'nosti na predpriyatiyakh // Molodoy uchenyy. – 2013. – №6. – S. 383-386.
4. Shonessi Dzh. Konkurentnyy marketing. Strategicheskiy podkhod / Dzh. Shonessi. - М.: Piter, 2017. - 864 с.

## ҚОСЫМША БІЛІМ БЕРУ САЛАСЫНДАҒЫ МАРКЕТИНГ СТРАТЕГИЯСЫНЫҢ ДАМУЫНЫҢ КЕЙБІРЛІ ӘДІСТЕМЕЛІК АСПЕКТІЛЕРІ

Ә.Қ. Рысмағанбетова

«Алматы Менеджмент Университеті» оқу орны, Алматы, Қазақстан

**Аннотация.** Мақалада қосымша білім беру саласындағы институттар үшін маркетингтік стратегияны әзірлеудің кейбір әдістемелік аспектілері талқыланады. Астанадағы қосымша білім беру қызметтері саласында жұмыс жасайтын балалар орталығының маркетингтік стратегиясын әзірлеу барысында зерттеудің әдіс-тәсілдерінің әр түрлі жиынтығын қолдануға болады, оның ішінде осы мақалада тек екі әдіс сипатталған.

Автор қосымша білім беру қызметтері саласындағы бәсекелестікті талдау дамушы орталықтар нарығы ауқымды өсіп келе жатқандығын және ұқсас мекемелер арасындағы бәсекелестіктің күшеюін көрсетті. Мұның бәрі балалар орталығының көшбасшылығын стратегиялық маркетингке, яғни даму стратегиясын әзірлеуге бағыттауға шақырады.

Автор М.Портердің бәсекелестік күштер моделі және SWOT әдіснамасы бойынша өткізілген зерттеулердің нәтижелеріне ерекше назар аударады, бұл балалар орталығының маркетингтік стратегиясын әзірлеу үшін қажетті стратегиялық басымдықтарды анықтауға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** маркетингтік стратегия, балалар орталығы, қосымша білім беру мекемелері, талдау, зерттеулер, нәтижелер.

## **SOME METHODOLOGICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF A MARKETING STRATEGY FOR INSTITUTIONS OF ADDITIONAL EDUCATION**

**Rysmaganbetova Assel Kabibollayevna**

Educational Institution "Almaty Management University", Almaty, Kazakhstan

**Annotation.** The article discusses some methodological aspects of developing a marketing strategy for institutions in the field of additional education. Taking into account that in the process of developing a marketing strategy for a children's center operating in the field of additional educational services in Astana, it is possible to apply a fairly diverse set of research methods, of which only two methods are described in this article.

The author notes that the analysis of competition in the field of additional educational services has shown that the market of developing centers is growing in scale, and the competition among similar institutions is intensifying. All this prompts the leadership of the children's center to turn to strategic marketing, that is, to focus on developing a development strategy.

The author pays special attention to the results of the conducted research on the M.Porter's model of competitive forces and the SWOT methodology, which makes it possible to determine the strategic priorities needed to develop the marketing strategy of the children's center.

**Keywords:** marketing strategy, children's center, institutions of additional education, analysis, research, results.

## ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЯ

**Dr. Gita Revalde**

Riga Technical University, Faculty of Materials Science and Applied Chemistry,  
Institute of Technical Physics, Riga, Latvia  
Almaty University of Power Engineering and Telecommunication,  
Almaty, Kazakhstan

### PHOTONIC DEVICES FOR DETECTION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN UV SPECTRAL REGION

**Abstract.** Monitoring of volatile organic compounds like benzene, toluene, and others is of increasing importance in many fields such as environmental monitoring, indoor air quality, health applications, and industrial safety. In the paper, we present our results and give a comparison of benzene detection in the air with two advanced absorption methods in ultraviolet spectral region, the Zeeman atomic absorption spectrometry technique (ZAAS) at 253,7 nm and cavity ring-down spectrometry (CRDS) at 266 nm. Both methods give the limits of detection of benzene in the air in real time lower than the Occupational Exposure Limit of 3.2 mg/m<sup>3</sup> regulated for benzene in the European Union.

**Keywords:** benzene detection, cavity ringdown spectrometry, air pollution, Zeeman atomic absorption spectrometry

#### **Introduction**

Photonics as a field of science and technology encompasses the generation of light, the detection of light, the management of light through guidance, manipulation and amplification, and most importantly its utilization for the benefit of humankind [1]. In 2009, the European Commission defined Photonics as one of five European Key Enabling Technologies (KET's), and invested €700 Million through the European Research & Innovation Program "Horizon 2020"[2]. The fight against air and water pollution is the most significant market sector in the field of photonics in Europe. According to studies, global air quality monitoring market size is forecasted to reach \$6.5 billion by 2023 [3]. Monitoring of volatile organic compounds (VOCs) is of increasing importance in many fields such as environmental monitoring, outdoor, indoor air quality, and health applications industrial safety. For example, benzene is a known human carcinogen and it is toxic to the nervous system, liver and kidneys at high concentration [4]. It is especially hazardous because the inhalation of benzene vapor even at a low concentration results in a higher probability of leukemia genesis [5]. In Europe and the USA, the Occupational Exposure Limit (OEL) for benzene in air amounts to 3.2 mg/m<sup>3</sup> (8-hour-average) [6]. Our work is devoted to the elaboration of innovative sensors and methods using photonic devices for detection of the VOCs in the air in real time without pre-concentration. In addition, to detect VOCs - biomarkers in human breath for diagnostic purposes, the limits of detection have to be at the same level. Different methods have been reported for detection of benzene in the air; however, there is a problem of combining low limits of detection with a fast measurement procedure and small dimensions of the detector.

In this paper, we will introduce our work that deals with the development of photonic devices basing on advanced absorption methods in UV region for the detection of VOCs like benzene. We present our results of benzene detection with original Zeeman atomic absorption spectrometry technique (ZAAS) and the cavity ring-down spectrometer (CRDS), build in our laboratories. We give a comparison of the results of the two methods applied.

#### **EXPERIMENTAL**

We propose to use advanced absorption methods in the ultraviolet (UV) spectral region for real-time benzene detection. Benzene has absorption bands in the ultraviolet spectral region. In figure

1, the absorption spectrum of benzene in the ultraviolet spectrum region is shown, registered by Jobin-Yvon 1000 M spectrometer and a deuterium light source [7].

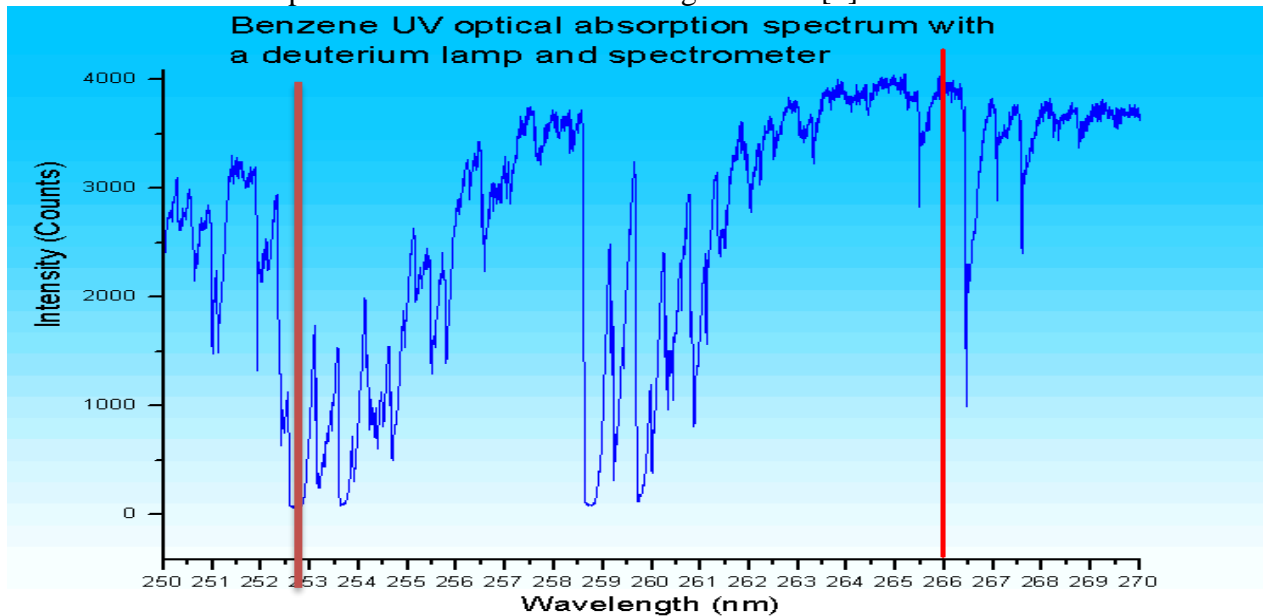


Figure 1. Benzene absorption spectrum in UV region. Two possible absorption lines at 253,7 nm and 266 nm are marked.

The absorption methods in the UV region are limited due to the necessity to have light sources that emit spectral lines in this region. For high precision absorption spectrometry, it is crucial to have narrow emission lines. We used two spectrum lines for two different advanced absorption approaches. First, we propose to use the spectrum line of 253,7 nm [7,8]. This line is also a very strong mercury vapor emission line thus mercury high-frequency electrodeless lamps can be used as light sources [9]. The second absorption line is at 266 nm –the third harmonic of Nd:YAG laser. As can be seen already from Fig. 1., the absorption strength at 266 nm is much weaker than at 254 nm. In figure 2, the transition strengths from the *Hitran* database are given.

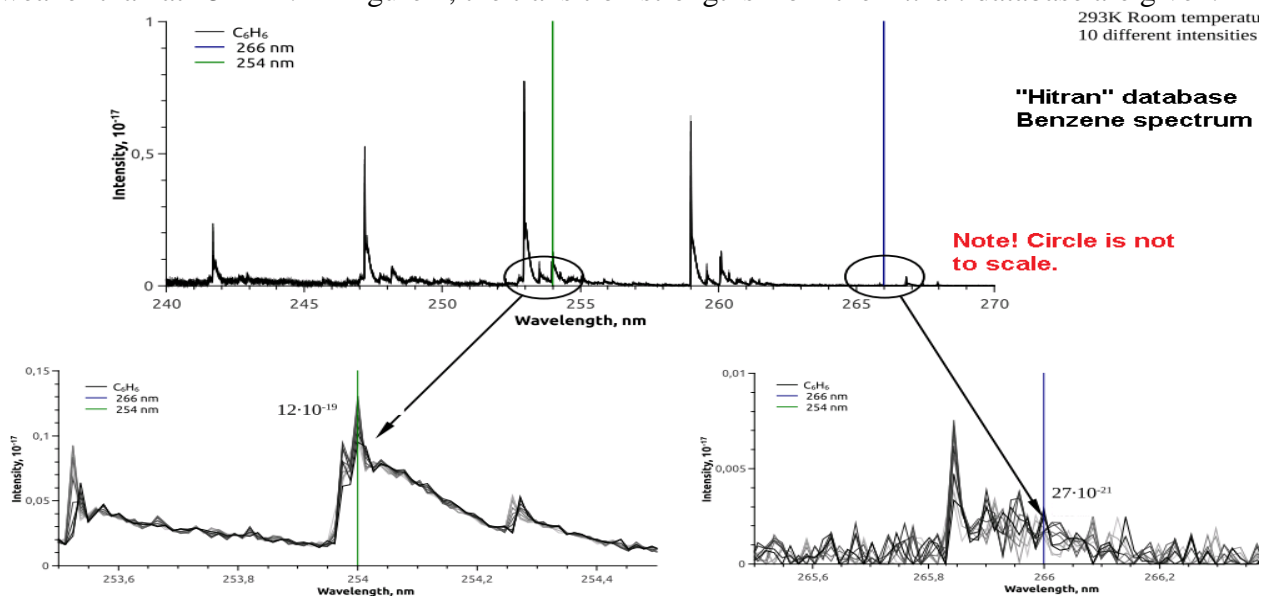


Figure 2. Benzene absorption lines around 254 nm and 266 nm region (*Hitran* database data).

First, we used a portable mercury analyzer Lumex RA-915M, that works on Zeeman atomic absorption (ZAAS) principle and is usually applied for mercury detection [6]. First results were promising. Then we tested the similar ZAAS set-up with different mercury isotope electrodeless

light sources [8]. In figure 3, the principle of benzene measurement using ZAAS with mercury electrodeless discharge lamp as the light source is given. The radiation, emitted from the light source, passes through a polarizing optical system. The light source is placed in a magnetic field. The emission light is split into the three polarized Zeeman components  $\sigma_+$ ,  $\sigma$ , and  $\sigma_-$ . Only the circularly polarized  $\sigma$  components will be registered by the photodetector.  $\sigma_+$  and  $\sigma_-$  components are separated by a polarization modulator with some modulation frequency. One of these polarization components is absorbed by detected atoms in the multi-pass cell; for another one in fact there is no atomic absorption. At the same time, non-selective absorption is present for both polarizations. Thus, at the modulation frequency, some signal is originated that is proportional to the concentration of atoms into the cell and the intensity of resonance radiation within a particular range.

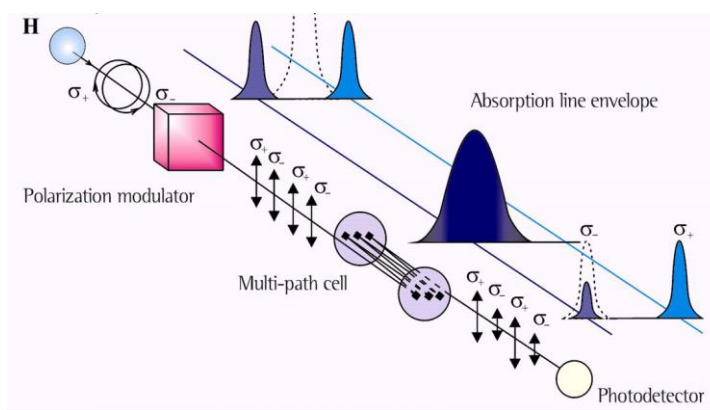


Figure 3. Principle of Zeeman atomic absorption method [6,7].

Later, we have built a cavity ringdown spectrometer (CRDS) (figure 4). In our CRDS system, a pulsed DPSS laser with a pulse length of 8 ns is coupled into a 50 cm long gas cell with high-reflectivity mirrors at the ends  $R=99.5\%$  each, giving photon lifetime in the cavity of around 150 ns. Optical components and sample handling is assembled on an optical breadboard (60x100 cm). We use Nd:YAG (CNI PSU-H-FDA) laser third harmonic at 266 nm. The signal is observed by PMT and oscilloscope. After passing the resonator the pulse is getting longer than the initial laser pulse. Absorption cell is evacuated between the measurements and then filled to 1000 mbar with gas. Photon decay rate is determined by the distance between the mirrors, mirror reflectivity coefficient and absorptivity of the gas at the certain wavelength. For calibration, we use the vacuum, nitrogen (purity class 5.5) and self-prepared benzene samples.

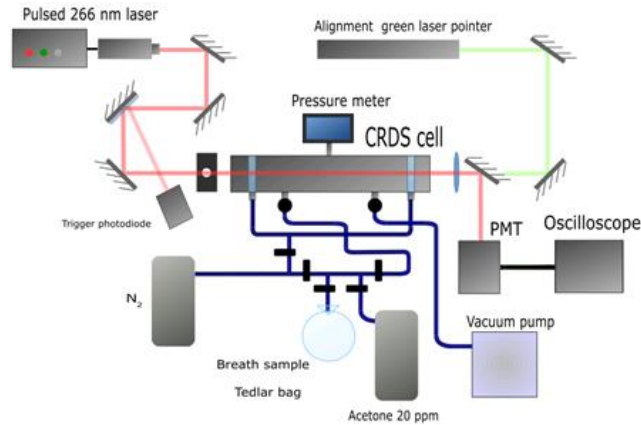


Figure 4. Set-up of our cavity ringdown spectrometer [10].

A C++ program was written to read out averaged oscilloscope trace, fit with the exponent and plot ring-down time constant evolution in time. Fitted lifetime has the noise of 0.002 us=2ns peak to peak in some wave-like structure that might be already electronics limitation. The scope sampling rate is 1Gs/s giving 1 ns time resolution.

Benzene concentration can be calculated from the lifetime measurements at 266 nm:

$$\text{Absorbance} = \sigma(\nu)nd = \frac{d}{c} \left( \frac{1}{\tau_{\text{atm}}} - \frac{1}{\tau_0} \right),$$

where

$\sigma$  is the absorption cross section of benzene,

$n$  is the benzene concentration,

$d$  is the cavity length,

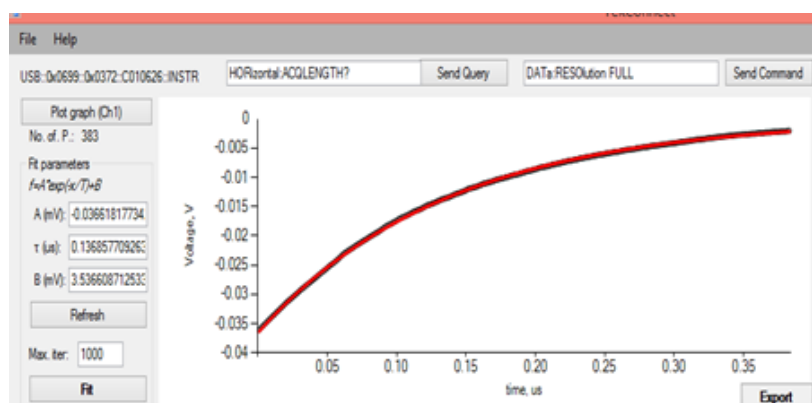
$c$  is the speed of light,

$\tau_0$  is the photon lifetime in pure nitrogen and

$\tau_{\text{atm}}$  is the lifetime when the cell is filled with a sample containing benzene.

## RESULTS AND DISCUSSION

In figure 5, the results for benzene CRDS signal are shown. In the upper part, there is an example of an exponential fit to the ringdown signal. In the lower part, we see the CRDS signal for different benzene concentrations, prepared with the benzene standard generator *KinTek FlexStream™* automated permeation tube system with nitrogen as a carrier gas,.





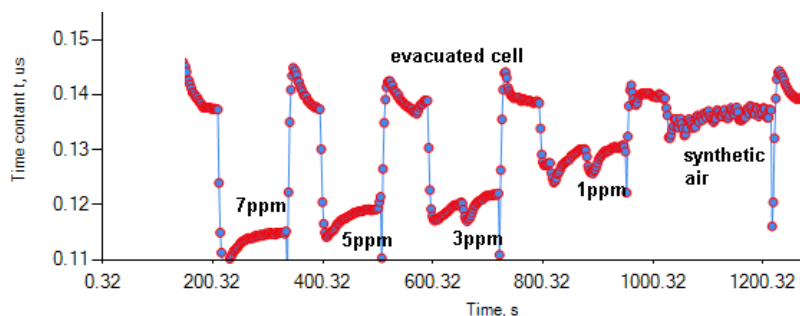


Figure 5. An example of the exponential fit and CRDS signal by different concentration of benzene in air.

Our CRDS time resolution is 1 ns. We have shown that we can detect benzene in the air by the CRDS technique the level below 0.5 ppm, that corresponds for benzene in the air - 3.19 mg/m<sup>3</sup> or 3.64 µl/m<sup>3</sup>. Comparison of the limits of detection for the benzene detection in air using three set-ups: 1) ZAAS *Lumex RA-915* [7], 2) Zeeman AAS [8], 3) CRDS [11] is shown in Table 1.

Table 1. Comparison of the limits of detection using ZAAS and CRDS.

Method	Limit of detection (benzene in air)	Signal averaging time
Zeeman AAS with RA915 [6]	<87.38 mg/m <sup>3</sup>	-
Zeeman AAS [7]	0.5 mg/m <sup>3</sup>	1 second
Zeeman AAS [7]	0.1 mg/m <sup>3</sup>	30 seconds
CRDS [10]	<1.595 mg/m <sup>3</sup>	-

As can be seen, both methods give the limits of detection lower than the Occupational Exposure Limit of 3.2 mg/m<sup>3</sup> regulated for benzene in the European Union. The limitation for the CRDS results is the lack of the calibration samples at very low benzene concentrations.

## CONCLUSIONS

In this work, we compared two different methods that we applied for the benzene detection in air using advanced absorption methods in UV spectral region – the Zeeman atomic absorption spectrometry with electrodeless mercury lamp working on 253,7 nm and the Cavity ring-down spectroscopy technique using 3<sup>rd</sup> harmonic of Nd:YAG laser at 266 nm. Both methods are promising non-invasive diagnostic technique for the detection of benzene in the air in real time and devices build are mobile and robust. Our experiments show that the CRDS method can give the results at the same level and better than the Zeeman atomic absorption technique. Our CRDS time resolution is 1 ns and the limits of detection are below 0.5 ppm in real time. Both methods give the limits of detection lower than the Occupational Exposure Limit of 3.2 mg/m<sup>3</sup> regulated for benzene in the European Union.

## REFERENCES

- [1] The Second Strategic Research Agenda in Photonics (SRA) “Lighting the way ahead”, published by Photonics21, EU, 2010 .
- [2] Day Of Photonics, <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/news/21st-october-day-photonics>, retrieved 15.09.2018.

- [3] Air Quality Monitoring - Global Market Size, Share, Development, Growth, and Demand Forecast, 2013-2023, [https://www.researchandmarkets.com/research/b6q846/air\\_quality?w=4](https://www.researchandmarkets.com/research/b6q846/air_quality?w=4), retrieved 15.09.2018.
- [4] International Agency for Research on Cancer, Lyon, France. Chemical agents and related occupations, volume 100F: A review of human carcinogens. Benzene (2012) 249–294. (<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100F/mono100F-24.pdf>).
- [5] A. Khalade, M.S. Jaakkola, E. Pukkala, J.J. Jaakkola, Exposure to benzene at work and the risk of leukemia: a systematic review and meta-analysis, *Environ. Health* 9 (2010) 31.
- [6] Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for benzene European Commission. *Employment, Social Affairs and Inclusion* (1991) 1-28.
- [7] Alnis, J., Revalde, G., Vrublevskis, A., Gavare, Z., Optical diagnostic method for benzene detection in air, *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* (2014) 94210E.
- [8] Gita Revalde et al., Use of radiation sources with mercury isotopes for real-time highly sensitive and selective benzene determination in air and natural gas by direct differential absorption spectrometry with the direct Zeeman effect, *Analytica Chimica Acta* 887 (2015) 172-178.
- [9] A.A.Ganeev, Z. Gavare, V.I.Khutorshikov, S.V.Khutorshikov, G. Revalde, A.Skudra G.M.Smirnova, N.R.Stankov, High-frequency electrodeless discharge lamps for atomic absorption, *Spectrochimica Acta B*, Vol. 58, Issue 5 (2003) 879-889.
- [10] Revalde, G., Grundsteins, K., Alnis, J. et al. First results of cavity ring down signals from exhaled air, *Proc. of SPIE* 10592 (2017) Paper No: UNSP 1059209.
- [11] Revalde, G., Grundsteins K., Alnis J., Skudra A., Cavity ring down spectrometry for disease diagnostics using exhaled air, *Proc. SPIE* 10592 (2017) 1059208-5.

**Аннотация.** Мониторинг летучих органических соединений, таких как бензол, толуол и другие, приобретает все большее значение во многих областях, таких как мониторинг окружающей среды, качество воздуха в помещениях, применение в здравоохранении и промышленная безопасность. В статье мы представляем наши результаты и даем сравнение обнаружения бензола в воздухе с двумя передовыми методами поглощения в ультрафиолетовой области спектра: методом зеемановской атомной абсорбционной спектроскопии (ZAAS) при 253,7 нм и кольцевой спектроскопией в резонаторе (CRDS) при 266 нм. Оба метода дают пределы обнаружения бензола в воздухе в режиме реального времени ниже, чем предел воздействия на рабочем месте в 3,2 мг/м<sup>3</sup>, регулируемый для бензола в Европейском Союзе.

**Ключевые слова:** обнаружение бензола, кольцевая спектроскопия, загрязнение воздуха, атомная абсорбционная спектроскопия Зеемана, кольцевая спектроскопия в резонаторе.

**Аңдатпа.** Бензол, толуол және басқа да ұшпа органикалық қосылыстардың мониторингі қоршаған орта, жайлардағы ауа сапасы, денсаулық сақтауда қолдану және өнеркәсіптік қауіпсіздік мониторингі сияқты көптеген салаларда үлкен маңызы бар. Мақалада жұмыс нәтижелерімен бөлісеміз және спектрдің ультракүлгін саласында сіңірудің екі беріліс, яғни 253,7 нм-да зееман атомдық абсорбциялық спектроскопия (ZAAS) және 266 нм-да айналмалы резонаторы бар спектроскопия (CRDS) әдісімен бензолдың ауада анықталуын салыстырамыз. Бұл екі әдіс те Еуропалық Одақта бензол үшін реттелетін, 3,2мг/м<sup>3</sup> жұмыс орнындағы әсер ету шегінен төмен, нақты уақыт режимінде ауадағы бензолды табу шегін береді.

**Түйінді сөздер:** бензолды табу, айналмалы спектроскопия, ауаның ластануы, Зееман атомдық абсорбциялық спектроскопиясы.

## ЮБИЛЯР

### ДАУМЕНОВ ТЛЕУХАН ДАУМЕНОВИЧ

д.ф.-м.н., профессора кафедры «Техническая физика»  
Алматинского университета энергетики и

связи

(к 75 – летию со дня рождения)



Дауменов Т., 1944 года рождения. В 1969 году закончил Казахский Государственный университет им С.М. Кирова по специальности «Физика, ядерная физика».

В период с 1969 по 1994 год работал в Целиноградском Государственном педагогическом институте им. С. Сейфуллина в различных должностях: работал преподавателем, заведующим кафедрой, деканом физико-математического факультета, проректором по научной и учебной работе, и.о. ректора ЦГПИ, профессором кафедры общей и теоретической физики (нынешний Евразийский университет в г. Астане), в 1994-2003 гг.- в КазНУ им. аль-Фараби, в 2003-2005 гг.- в КБТУ.

Учился в аспирантуре при лаборатории масс-спектрометрии ИЯФ АН КазССР 1971-74 гг. В 1985 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

На кафедре физики АИЭС работает с 1 сентября 2005 года. Читает лекции, ведет практические и лабораторные занятия по общему курсу физики на казахском и русском языках. Все виды занятий ведет на высоком научно - методическом уровне, проводил открытую лекцию с демонстрацией виртуальных опытов в телевизионной аудитории. Он участвовал в работе экспертной группы по заданию МОН РК по экспертизе тестов по физике ПГК для вузов республики. Рецензировал методические работы коллег по работе, а также диссертационные работы выпускников КазНУ им. аль-Фараби, КазНТУ им К. Сатпаева и др.

Дауменов Т.Д. является руководителем и исполнителем индивидуальной темы: «Использование элементов электронной оптики в масс- спектрометрии и в приборах СВЧ-электроники.», ежегодно выполняются и сдаются отчеты по теме НИР.

Дауменов Т. занимается научной работой по своей специальности, имеет три инновационных патента РК. Участвует в научной работе по кафедральной тематике ОНИР-2. Им опубликовано более 100 научных и научно - методических работ, в том числе за годы работы в АУЭС - 24 работы.

Дауменов Т.Д. имеет сертификаты об окончании организованной Министерством энергетики США, NNSA и Комитетом атомного и энергетического надзора и контроля Министерства энергетики Республики Казахстан, «Информационный семинар по осуществлению Дополнительного протокола» г. Астана, 14 сентября 2016г.

Общий стаж работы – 59 лет, из которых 50 лет составляет работа в ВУЗах.

**Уважаемый Дауменов Тлеухан Дауменович!**

**Позвольте поздравить Вас со знаменательным юбилеем – 75-летием! Вы – яркий пример высококвалифицированного специалиста и требовательного педагога! Вы продолжаете восхищать нас своим интеллектом, творчеством, энергией и удивительным трудолюбием. От всей души желаем Вам крепкого здоровья, духовных и физических сил. Пусть Ваша жизнь всегда остается наполненной пониманием и поддержкой вашего коллектива, теплом домашнего очага, любовью родных и близких.**