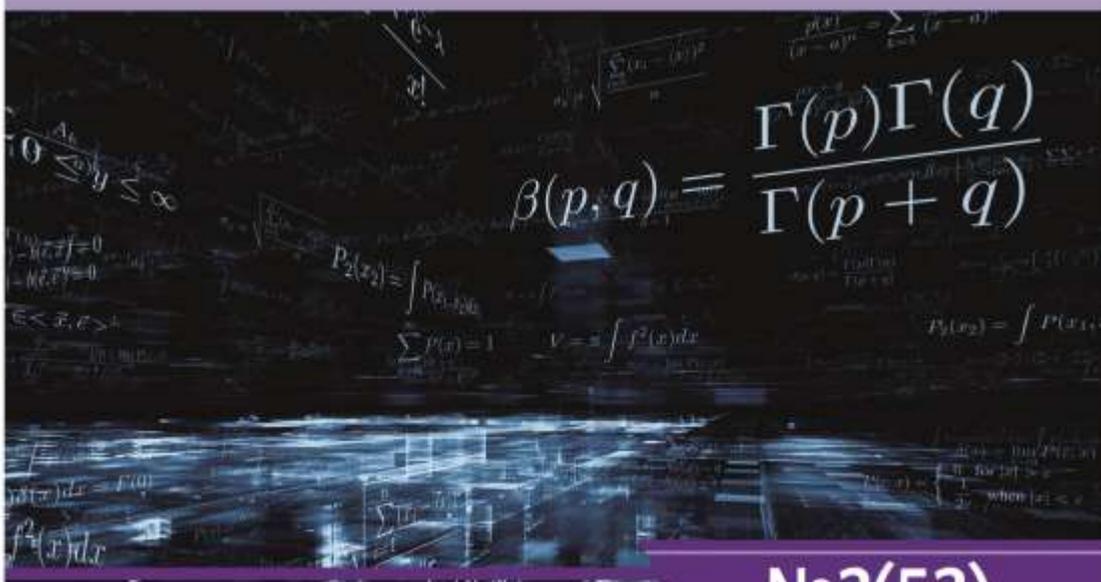




НАУЧНЫЙ  
ФОРУМ  
nauchforum.ru

ISSN: 2541-8394



№2(52)

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:  
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-  
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

МОСКВА, 2022



# НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам LI международной  
научно-практической конференции*

№ 2 (52)  
Апрель 2022 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва  
2022

УДК 51/53+62

ББК 22+3

НЗ4

Председатель редколлегии:

*Лебедева Надежда Анатольевна* – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, г. Киев, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

*Ахмеднабиев Расул Магомедович* – канд. техн. наук, доц. кафедры строительных материалов Полтавского инженерно-строительного института, Украина, г. Полтава;

*Данилов Олег Сергеевич* – канд. техн. наук, научный сотрудник Дальневосточного федерального университета;

*Маршалов Олег Викторович* – канд. техн. наук, начальник учебного отдела филиала ФГАОУ ВО "Южно-Уральский государственный университет" (НИУ), Россия, г. Златоуст.

**НЗ4 Научный форум: Технические и физико-математические науки:** сб. ст. по материалам LI междунар. науч.-практ. конф. – № 2 (52). – М.: Изд. «МЦНО», 2022. – 66 с.

ISSN 2541-8394

Статьи, принятые к публикации, размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ISSN 2541-8394

ББК 22+3

© «МЦНО», 2022

## **Оглавление**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Раздел 1. Технические науки</b>  | <b>5</b>  |
| <b>1.1. Авиационная и ракетно-космическая техника</b>   | <b>5</b>  |
| РАСЧЕТ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА   | 5         |
| Сыздыков Арман Базарбаевич<br>Жакупова Альмира Ерсаиновна<br>Сауан Рабиға Жақыпқызы                               |           |
| <b>1.2. Информатика, вычислительная техника и управление</b>  | <b>11</b> |
| ПРЕИМУЩЕСТВА КОЛОНОЧНОГО ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ В СУБД ДЛЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ, ХРАНИЛИЩ И ВИТРИН ДАННЫХ | 11        |
| Корнеев Никита Сергеевич  |           |
| МЕТОД ИТЕРАТИВНО-ПОРЯДКОВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОКАЛЬНОЙ ВАЖНОСТИ КРИТЕРИЕВ    | 23        |
| Тертерян Арам Саркисович<br>Бровко Александр Валерьевич   |           |
| ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  | 29        |
| Юнусова Альфия Шамилевна  |           |
| <b>1.3. Транспорт</b>   | <b>36</b> |
| РЕГИОНАЛЬНОЕ И МЕЖДУНАРОДНОЕ РАЗВИТИЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ  | 36        |
| Погосян Виген Гургенович  |           |
| <b>Раздел 2. Физика</b>   | <b>41</b> |
| <b>2.1. Лазерная физика</b>   | <b>41</b> |
| ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ  | 41        |
| Барило Кристина Александровна<br>Обоймова Светлана Павловна   |           |

**2.2. Оптика** **46**

ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ РАССЕЯНИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ НЕЭЛЕКТРОЛИТА С ОСОБОЙ ТОЧКОЙ 46

Сабиров Леонард Мухаммеджанович

Семенов Денис Иванович

Исмаилов Фахриддин Раимович

Каршибоев Шавкат Эсиргапович

Турсунбоев Олмос Вахоб ўғли

Утабоева Нилуфар Шавкатовна

ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОВЕДЕНИЕ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГИПЕРЗВУКА В РАСТВОРЕ АЦЕТОН-ВОДА 50

Сабиров Леонард Мухаммеджанович

Семенов Денис Иванович

Каршибоев Шавкат Эсиргапович

Турсунбоев Олмос Вахоб ўғли

Утабоева Нилуфар Шавкатовна

**2.3. Физика конденсированного состояния** **55**

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ПРИ СОЗДАНИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ 55

Рыков Евгений Валентинович

Шаталов Валерий Константинович

Штокал Александр Олегович

Артемьев Артём Валентинович

Баженова Ольга Петровна

Сергеев Даниил Владимирович

## РАЗДЕЛ 1.

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### 1.1. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

##### РАСЧЕТ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

**Сыздыков Арман Базарбаевич**

*ст. преподаватель*

*кафедры Космическая техника и технологий*

*Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева,  
Республика Казахстан, г. Нур-Султан*

**Жакупова Альмира Ерсановна**

*канд. техн. наук,*

*доц. кафедры «Космическая техника и технологий»*

*Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева,  
Республика Казахстан, г. Нур-Султан*

**Сауан Рабига Жақыпқызы**

*студент*

*кафедры Космическая техника и технологий*

*Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева,  
Республика Казахстан, г. Нур-Султан*

##### CALCULATION OF THE SPACECRAFT POWER SUPPLY SYSTEM

**Arman Syzdykov**

*Senior lecturer*

*of «Space technics and technologies»*

*at Eurasian National University of L.N. Gumilyov,  
Kazakhstan, Nur-Sultan*

***Almira Zhakupova***

*Associate professor, candidate of technical sciences  
of «Space technics and technologies»  
at Eurasian National University of L.N. Gumilyov,  
Kazakhstan, Nur-Sultan*

***Rabiha Sauan***

*Undergraduate student  
of «Space technics and technologies»  
at Eurasian National University of L.N. Gumilyov,  
Kazakhstan, Nur-Sultan*

**Аннотация.** В этой статье был сделан обзор развития солнечных батарей и разработана классификация современных конструкций солнечных батарей космических аппаратов. Кроме того, была предоставлена информация о производстве энергии из солнечной панели для КА в различных режимах.

**Abstract.** In this article, an overview of the development of solar cells was made and a classification of modern solar cell designs of spacecraft was developed. In addition, information was provided on the production of energy from the solar panel for spacecraft in various modes.

**Ключевые слова:** космический аппарат; солнечная панель; солнечная батарея; имитатор солнечной батареи; имитатор аккумуляторной батареи.

**Keywords:** spacecraft; solar panel; solar battery; solar battery simulator; battery simulator.

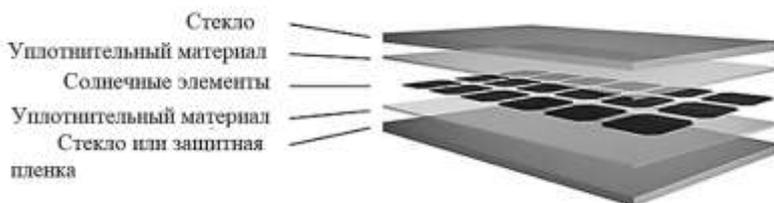
Космический аппарат - общее название всех технических устройств, используемых для выполнения различных задач в космическом пространстве и проведения исследований и других работ на поверхности небесных тел.

Космические аппараты, в свою очередь, получают электроэнергию от солнечных батарей. Солнечные батареи состоят из солнечных панелей. Солнечные батареи, солнечные панели и фотоэлектрические модули - это устройства, состоящие из различных подключенных фотоэлектрических элементов, которые используют фотоэлектрический эффект для выработки электроэнергии.

**Солнечная панель**

Солнечные батареи - они состоят из фотоэлектрических или солнечных модулей и солнечных элементов. Поскольку один солнечный

элемент не производит достаточно электроэнергии, несколько таких элементов собираются в солнечные панели, чтобы производить больше электроэнергии. За последнее десятилетие солнечная энергия в мире стремительно развивается, и солнечные электростанции становятся частью энергетической инфраструктуры многих стран. Панель представляет собой фотоэлектрический генератор, состоящий из стеклянной пластины, на обратной стороне которой расположены солнечные панели между двумя слоями герметизирующей пленки. Нижний слой герметизирующей пленки защищен специальным защитным слоем от внешних воздействий. Солнечные панели производятся разных размеров в зависимости от габаритов космического аппарата, самые мощные из которых - кремниевые солнечные панели (40-260 Вт).



**Рисунок 1. Конструкция солнечной панели**

Панели могут быть подключены к солнечным батареям для увеличения мощности (например, две панели с пиковой мощностью 50 Вт эквивалентны 100 Вт панели). КПД панелей составляет от 5 до 20%, то есть такое же количество солнечной энергии полностью преобразуется в электрическую энергию.

Воспользуемся следующими формулами для расчета основных параметров солнечных батареи, влияющих на конструкцию космического аппарата, его технические характеристики [4]. Расчет параметров СБ определяется соотношением его площади и массы.

Расчет мощности АКБ производится по следующей формуле:

$$P_{\text{КБ}} t = \frac{P_{\text{Н}}}{\eta} t + \frac{P_{\text{Н}}}{\eta} t \tau$$

Площадь СБ определяют по формуле:

$$S_{\text{КБ}} = \frac{P_{\text{КБ}} K_3 K_0}{P_{\text{Уд}} \eta_{\text{КБ}}}$$

В целях упрощения расчета параметров можно также использовать программу общего назначения «Python», предназначенную для повышения производительности разработчика.

```

File Edit Format Run Options Window Help
|:import math as m

q_s = 1396 #
t_osc = 65; #Нахождение на солнце
tau_T = 35; #Нахождение в тени ОС
h_ab = 0.8; #КПД АБ
N_E = 200; # (Вт), энергия потребляемая КА при работе ОС и ОС
N_OC = 100; # (Вт), энергия потребляемая КА при работе ОС
tau_T = 35; #Нахождение в тени КА
h_fer = 0.27; #КПД ФЭП
psi_ab = 90; #косинус угла между направлением потока и нормалью к поверхности СВ
psi_ab_sr = 90;
k_zap = 0.8; #коэф заполнения площади СВ
k_d = 0.05; #коэф деградации ФЭП
T_cac = 7; #срок активного существования CSC
k_res = 0.2; #коэф резерва, учитываемая допустимую глубину разряда и деградацию
N_min = 200; #потребляемая КА энергия
t_b = 1; #время выведения и ввода в летную эксплуатацию 1/12
E_ab_p = 0; #расчетная емкость АБ
gamma_ab = 3; #удельная масса АБ = 3
alpha_ark = 1.50; #Массовый коэф АКР
gamma_pog = 0; #удельная масса приводных мех ориентации=0
alpha_fd = 0; #Массовый коэффициент мех раскр и фикс=0
rho_gamma_masa = 3.54; #Одм из метр массы СВ

# -----Расчет площади СВ -----
#Средняя мощность СВ = Энергия потребляемая КА ОС и ОС * (время на освещенной ча
N_sb_sr = N_E*(tau_osc * h_ab + tau_T) + N_OC * (tau_osc * h_ab - tau_osc * h_ab + tau_T -
print(N_sb_sr)

#Площадь СВ = средняя мощность СВ / (1396 Вт/м2)плотность потока солнца * КПД ФЭ
S_sb = (N_sb_sr)/(q_s * h_fer * k_zap * m.e*(-k_d*T_cac) * m.cos(psi_ab_sr))
print(S_sb)
#Мощность СВ при нормальном падении лучей = (1396 Вт/м2)плотность потока солнца
N_sb0 = q_s * S_sb * h_fer * k_zap * m.e*(-k_d * T_cac)
print(N_sb0)
#Мощность СВ на входе = Мощность СВ при нормальном падении лучей * косинус угла
N_sb = N_sb0 * m.cos(psi_ab)
print(N_sb)
Ln:1 Col:0

```

Рисунок 2. Вычисление в программе «Python»

```
File Edit Format Run Options Window Help
#Площадь SE = средняя мощность SE / (1396 Вт/м2)плотность потока солнца * КПД #3
S_sb = (N_sb_es)/(q_s * h_fer * k_zar * m.e*(-k_d*I_osc) * m.cos(pai_sb_ar))
print(S_sb)
#Мощность SE при нормальном падении лучей = (1396 Вт/м2)плотность потока солнца
N_sb0 = q_s * S_sb * h_fer * k_zar * m.e*(-k_d * I_osc)
print(N_sb0)
#Мощность SE на вышке = Мощность SE при нормальном падении лучей * косинус угла
N_sb = N_sb0 * m.cos(pai_sb)
print(N_sb)
# ----- Масса солнечных батарей -----
#Масса солнечных батарей = удельная масса SB * площадь SE
sb_mass = metc_mass * S_sb
print(sb_mass)
# -----Масса аккумуляторных батарей -----
#рассчитанная емкость AB = коэф резерва, учитывающая допустимую глубину разряда и де
E_ab = k_res * N_min * t_b
print(E_ab)
#Масса аккумуляторных батарей = рассчитанная емкость AB * удельная масса AB = 3
ab_mass = E_ab * p * y_ab
print(ab_mass)
# -----Масса аккумуляторных батарей -----
#Масса аппаратуры регулирования и контроля = массовый коэф АКК * масса SB
ark_mass = a_ark * sb_mass
print(ark_mass)
# -----Масса мех раскрытия и фиксации SE / Масса приводных механизмов ори
#Масса механизма раскрытия и фиксации SE = Массовый коэффициент мех раскр и фик
m_rf = a_rf * sb_mass
print(m_rf)
#Масса приводных механизмов ориентации SE = удельная масса приводных мех ориента
rog_mass = y_rog * S_sb
print(rog_mass)
#Вся масса систем энергоснабжения спутника
total_mass = sb_mass + ab_mass + ark_mass + rog_mass
print(total_mass)
```

Рисунок 3. Вычисление в программе «Python»

```
Python 3.8.2 Shell
File Edit Shell Debug Options Window Help
Python 3.8.2 (tags/v3.8.2:7b3ab59, Feb 25 2020, 23:03:10) [MSC v.1916 64 bit (AM
D64)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>>
-----RESTART: C:\Users\777\Downloads\lab2Full.py-----
17400.0
135.36244193925188
-38832.90462472565
17399.999999999996
479.18304446496165
40.0
0
718.7745666974274
0.0
0.0
1197.9576111623792
>>>
```

Рисунок 4. Вычисление в программе «Python»

### Заключение

В этой статье был сделан обзор развития солнечных батарей и разработана классификация современных конструкций солнечных батарей космических аппаратов. Кроме того, была предоставлена информация о производстве энергии из солнечной панели для КА в различных режимах. Космические аппараты, работающие во внутренней Солнечной системе, обычно основаны на использовании фотоэлектрических солнечных панелей для производства электроэнергии от солнца. Солнечные панели должны иметь большую поверхность, направленную к Солнцу при движении КА. Чем ярче и шире площадь поверхности, тем больше значит, что электричество можно преобразовать из энергии солнечного света.

### Список литературы:

1. Бессель В.В., Кучеров В.Г., Мингалеева Р.Д., «Изучение солнечных фотоэлектрических элементов» Учебно-методическое пособие. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2016. – 6 ст.
2. Скребушевский Б.С. Космические энергетические установки с преобразованием солнечной энергии. М. : Машиностроение, 1992. 224-бет.
3. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей: пер. с англ. М. : Энергоатомиздат, 1983. 360 ст.
4. Конструирование автоматических космических аппаратов» авторы: Д.И. Козлов, Г.Н. Аншаков, В.Ф. Агарков, Ю.Г. Антонов § 7.5

## **1.2. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

### **ПРЕИМУЩЕСТВА КОЛОНОЧНОГО ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ В СУБД ДЛЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ, ХРАНИЛИЩ И ВИТРИН ДАННЫХ**

*Корнеев Никита Сергеевич*

*магистрант,*

*Федеральное государственное автономное*

*образовательное учреждение высшего образования*

*«Сибирский федеральный университет»,*

*РФ, г. Красноярск*

### **ADVANTAGES OF COLUMN DATA STORAGE IN DBMS FOR ANALYTICAL INFORMATION SYSTEMS, DATA WAREHOUSES AND DATA MARTS**

*Nikita Korneev*

*Undergraduate,*

*Federal State Autonomous*

*Educational Institution of Higher Education*

*"Siberian federal university",*

*Russia, Krasnoyarsk*

**Аннотация.** Один из первых этапов создания любой информационной системы является выбор СУБД для реализации функции хранения и обработки данных. В зависимости от типа решаемых задач, структур хранимых данных, их количества и внутренних взаимосвязей, выбор может сильно колебаться. От выбора платформы СУБД, типа хранения и внутренней организации хранимых данных зависит не только быстродействие программного кода проекта, но и дальнейшие возможности масштабирования, применяемые технические средства и серверные комплексы. Это напрямую связано с возможностями реализации и конечной стоимостью проектов.

**Abstract.** One of the first steps in creating any information system is the choice of a DBMS to implement the function of storing and processing data. Depending on the type of tasks being solved, the structures of the stored data, their number and internal relationships, the choice can vary greatly. The choice of the DBMS platform, the type of storage and the internal organization of the stored data determine not only the speed of the program code of the project, but also further scalability, the technical means and server complexes used. This is directly related to the implementation possibilities and the final cost of projects.

**Ключевые слова:** СУБД; Хранилища данных; Витрины данных; Аналитические информационные системы; Колоночное хранение.

**Keywords:** DBMS; Data Warehouse; Data Marts; Analytical Information Systems; Column Storage.

## 1. Введение

Рыночные отношения на современном этапе развития отличаются бурным ростом цифровых технологий во всех сферах бизнеса и общественных отношений. Еще 20-30 лет назад на создание и внедрение новых технологий и производств уходили годы, а сейчас на внедрение нового уходят считанные месяцы: от идеи до массовых продаж по всему миру. Глобальные социальные сети, технологические гиганты и финансовые институты способствуют этим процессам и человеческий фактор становится одной из ключевых проблем в этой гонке на выживание. Тысячи компаний и технологических стартапов появляются на рынке для того, чтобы дать что-то новое миру и исчезнуть по причине жёсткой конкуренции на этом рынке.

Чтобы выживать в таких условиях требуется не только персональные навыки и знания руководителей бизнеса, но и следование законам рынка, умение предсказывать его развитие или хотя-бы быть в курсе его текущего состояния, наличия технологических ниш, в которых можно успешно заниматься развитием, а не тратить все усилия на конкурентную борьбу.

В конечном итоге именно наличие таких знаний приводит компании на вершины технологического прогресса и позволяют им долгие годы оставаться на ведущих ролях в бизнесе, а для этого требуется принятие грамотных и эффективных управленческих решений, что невозможно без систем поддержки принятия решений, аналитических информационных систем и информационных хранилищ.

Создание внутренних современных аналитических систем для поддержки управленческого учёта в компании – это обязательный процесс

для любого крупного бизнеса, кроме того, достаточно важно получить этот инструмент как можно раньше, чтобы сделать управление наиболее эффективным на этапах становления бизнеса или отдельных его направлений.

Кроме работы команды бизнес-аналитиков это требует не меньшей работы со стороны IT-подразделений, поскольку правильный выбор платформы для реализации важен как для сроков реализации проекта, так и в дальнейшем для скорости внедрения, удобства и скорости работы системы, а значит и для конечного результата.

В настоящей работе делается акцент на сложностях реализации аналитических информационных систем, хранилищ и витрин данных с использованием обычных реляционных СУБД, в которых преимущественно используется строчное хранение. В каких случаях это оправдано, а где обязательно требуется применение метода колоночного хранения данных и СУБД, специализирующихся именно на этой технологии.

Цель данной работы состоит в том, чтобы выработать перечень рекомендаций, с помощью которого можно было бы быстро и эффективно решать задачу выбора СУБД и типа хранения данных при построении аналитических информационных систем. Учитывая размеры хранилищ данных в современных информационно-аналитических системах, именно данный выбор определяет жизнеспособность практической реализации проекта, возможности его дальнейшего масштабирования и напрямую влияют на конечную стоимость проекта.

## **2. Современное положение на рынке бизнес-аналитики**

Прежде всего, для того чтобы понять суть задачи построения аналитических информационных систем для бизнеса, необходимо разобраться, какие системы применяются обычно в существующих компаниях, какие программные платформы присутствуют на рынке и используются для их реализации, какие СУБД при этом наиболее востребованы и по каким критериям они отбирались.

Реальные данные по архитектуре существующих систем чаще всего публикуются только в документации к системе, либо в аналитических источниках в сети Интернет.

Компания Gartner [1], одна из ведущих консалтинговых и исследовательских компаний мира, опубликовала собственное схематичное представление о составе и иерархии систем построения аналитики бизнеса – analytical stack, которое часто называют «аналитическая пирамида».



**Рисунок 1. Аналитическая пирамида**

В основании пирамиды находятся транзакционные системы – это класс систем, предназначенный для отражения текущих операций бизнеса, например, системы бухгалтерского или налогового учёта, учётные системы управления персоналом и мероприятиями, логистики и учёта материально-технических ресурсов. Ключевая характеристика данного типа систем состоит в том, что они собирают наиболее полную объективную информацию по происходящим в компании производственным бизнес-процессам.

У крупных компаний для этих целей используются ERP-системы корпоративного уровня: «1С: ERP», «Business Central by Navicon», «SAP», «Галактика ERP», «Lexema-ERP» [2].

Все перечисленные системы имеют высокую стоимость как для покупки, так и для дальнейшего внедрения, что объясняется масштабом самого бизнеса. Также эти системы поставляются с полным функционалом, высокой степенью интеграции решений и широкими возможностями наращивания функционала за счёт встроенных средств настройки, разработки или подключения дополнительных модулей.

Системы управления базами данных, используемые в системах, относятся к реляционным СУБД верхнего, наиболее развитого, технологического сегмента: Oracle Database, Microsoft SQL Server, IBM DB2 Database, PostgreSQL Pro, Pervasive PSQL. Все перечисленные СУБД

имеют высокие показатели в части надёжности, отказоустойчивости и масштабируемости (кластеризация), предназначены для корпоративного рынка и больших высоконагруженных систем.

Для малого и среднего бизнеса такие решения не по карману, поэтому там чаще используются отдельные транзакционные системы для разных функций, такие как: «Инфо-Бухгалтер», «1С-Бухгалтерия», «БЭСТ-Бухгалтерия», «Парус-Бухгалтерия». Подобные системы есть у крупных российских производителей ПО для Материального учёта, Управления кадрами, Бюджетирование и т.д. В указанных системах используются менее мощные локальные файловые СУБД DBASE, либо малые выделенные сервера: Microsoft SQL Server, Oracle Database.

Нижний транзакционный уровень обработки информации традиционно обозначают OLTP – On-Line Transaction Processing – Обработка транзакций в режиме реального времени. На этом уровне у систем тоже есть небольшие возможности для построения аналитических отчётов, однако эти возможности сильно ограничены. По мере роста количества данных в транзакционных системах существенно падает скорость формирования аналитических отчётов и создаёт большую нагрузку на СУБД. Кроме этого, для построения аналитических систем часто недостаточно данных из транзакционных системы, требуются внешние источники информации. По этой и по некоторым другим причинам в профессиональном сообществе не рекомендуется использовать транзакционные СУБД и системы для построения аналитик.

В аналитической пирамиде слева и справа стрелками обозначены переносы данных с нижестоящих уровней на вышестоящие. Чаще всего эти данные переносятся в агрегированном виде, предварительно готовом для построения аналитики. Стрелка слева «BYPASS» означает, что OLAP-системы и аналитические приложения могут получать данные непосредственно с транзакционного уровня, минуя хранилища и витрины данных.

Для малого и среднего бизнеса задачи построения аналитических информационных систем во многом сходны с задачами крупного бизнеса, поскольку крупный бизнес использует в работе как малые аналитические системы, так и системы бизнес-аналитики корпоративного уровня, чтобы обеспечивать аналитику для крупных корпоративных систем. Широко используются возможности Microsoft Excel, поскольку платформа обеспечивает как OLAP-хранилище малого размера и построение аналитики, так и уровень представления данных для внешних аналитических систем, например: SAP BI.

Из бесплатного аналитического ПО можно выделить следующие часто используемые системы: Tableau (сайт: [www.tableau.com](http://www.tableau.com)), Microsoft Power BI (существует бесплатная версия), QlikView Personal Edition.

Среди платных систем наиболее распространёнными являются: Oracle Business Intelligence, Microsoft Power BI, IBM Cognos Analytics, SAS Visual Analytics, SAP BusinessObjects BI Suite. Системы приведены не столько для описания их возможностей и относительных преимуществ, сколько для выявления тенденций, которые прослеживаются в применении СУБД для эффективной обработки аналитической информации, многомерных кубов данных, витрин данных.

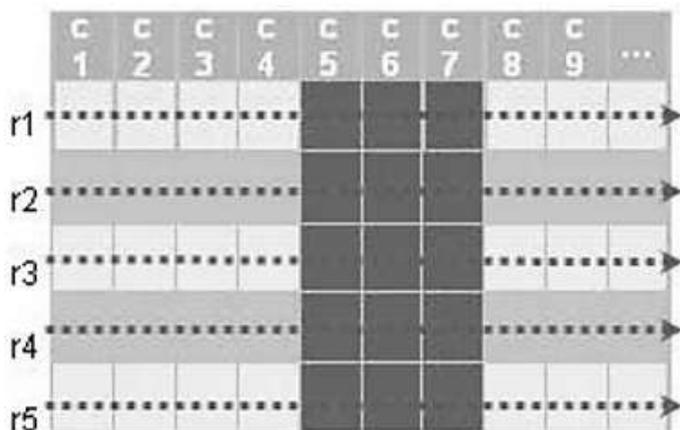
Крупные компании, создатели аналитических систем, такие как SAP, Microsoft, Oracle и IBM используют в качестве хранилищ собственные СУБД: SAP HANA (High performance ANalytics Appliance), Microsoft SQL Server, Oracle Database, DB2 On Cloud. Небольшие компании не имеют такой возможности, поэтому используют адаптеры для подключения к внешним СУБД, что даёт широкие возможности выбора.

Кроме указанных выше имеется множество специализированных СУБД, не являющихся реляционными в классическом понимании, однако успешно себя зарекомендовавших в разработке аналитических систем малого и среднего, а некоторые и глобального уровня: PostgreSQL, HBase (СУБД от Apache Hadoop), Cassandra (проект СУБД от Facebook, переданный как OpenSource фонду Apache), Hipertable, CouchDB, Sybase IQ, KDB+, LucidDB [3], MariaDB (клон СУБД MySQL). Более подробно можно посмотреть актуальный перечень аналитических СУБД в следующем источнике [4].

### 3. Колоночное хранение данных

Внешне кажется, что нет разницы между СУБД транзакционного уровня и СУБД для аналитических систем, однако это не совсем так. Если даже наименование СУБД совпадает, то используются скорее всего аналитические возможности. Дело в том, что крупные производители СУБД существенным образом доработали собственные продукты и теперь кроме реляционной модели данных, те же самые СУБД поддерживают и аналитические возможности и прежде всего – это возможность колоночного хранения данных.

Обычные реляционные СУБД основаны на том, что данные хранятся на диске построчно в виде кортежей полей, как показано на рисунке ниже.



**Рисунок 2. Построчное хранение данных**

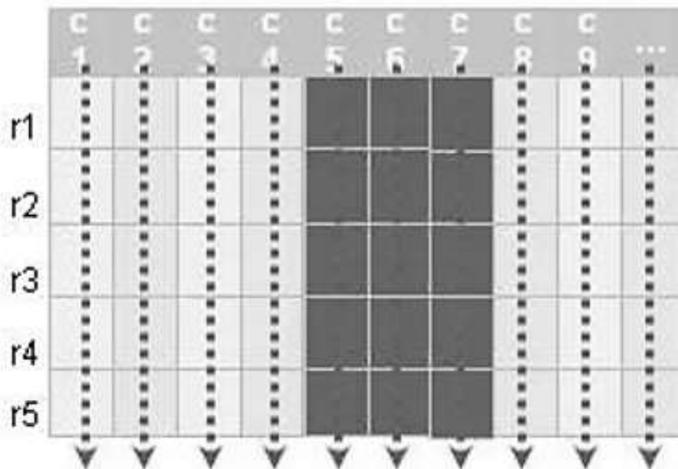
На рисунке показано стрелочками направление увеличения адресации хранимых данных при считывании, конец одной строки совпадает с началом следующей и так далее до конца таблицы. Этот способ записи удобен для построчного считывания всех полей таблицы. Реляционная модель данных нормализует данные таким образом, что по ключевым полям однозначно определяются все остальные атрибуты – не ключевые поля записи. Поэтому в рамках реляционной модели удобнее всего адресовать строки, строить бинарные индексы для поиска строк по значению индексного выражения – в любом случае происходит построчное считывание.

Однако предположим, что для работы наших запросов к СУБД требуется обращение только к полям с номерами 5, 6 и 7 – выделены серым, а остальные поля не нужны. При каждом считывании строк с этими полями СУБД вынуждена будет отбрасывать все поля, кроме 5, 6 и 7. Но остальных полей бывает много, а считывание из файлового хранилища СУБД происходит блоками, включающими в себя все поля. Таким образом считывая 10Мб из СУБД, полезной информации может оказаться не более 1Мб, а иногда и меньше. Это снижает эффективность работы СУБД на подобных запросах, и она может не превышать 5-10% от расчётной мощности, что ведёт к нерациональному использованию оборудования, повышенным потребностям к скорости закупаемого серверного оборудования – то есть к дополнительной стоимости проекта.

Между тем, как раз аналитические системы в своей работе чаще всего используют запросы к отдельным показателям, а не ко всему набору показателей, хранимых в транзакционной СУБД. Для анализа выбираются

только те данные, которые имеют непосредственное отношение к формированию агрегированных показателей аналитической отчётности, а это значит, что строковое хранение исходных данных для потребностей систем выше транзакционного уровня неэффективно, хотя и может применяться для хранения справочных и служебных данных.

Для решения проблемы строкового хранения данных в СУБД был реализован механизм колоночного хранения.



**Рисунок 3. Колоночное хранение данных**

При таком способе хранения столбцы таблиц хранятся отдельно и могут считываться по направлению стрелок. Запись данных в такие таблицы производится больше, чем с строчным варианте, однако такие таблицы имеют ряд существенных преимуществ как раз для аналитических вычислений. Если мы сделаем запрос к СУБД чтобы выбрать только колонки 5, 6 и 7, то в отличие от варианта описанного выше мы имеем возможность считать целиком все 3 поля поочерёдно и при считывании не возникнет ненужной информации – считается ровно то, что было запрошено. Это говорит о высокой эффективности СУБД с колоночным чтением для подобных запросов.

В отличие от традиционных реляционных СУБД основная нагрузка и соответственно оптимизация работы аналитических СУБД в расчёте на непредвиденное чтение больших объемов исторических данных по отдельным показателям. Одной из первых реализаций колоночной СУБД, оптимизированной под такую нагрузку, была разработана в 1993-95 годах является Sybase IQ от компании Expressway Technologies [5].

В среднем выигрыш в скорости выполнения запросов от смены механизма хранения данных может сильно варьироваться и очень зависит от размеров таблиц в СУБД. Дело в том, что для того, чтобы считать одно поле целиком из всей таблицы при строковом хранении придётся считать всю таблицу и выбрать из неё только одно поле. Когда речь идёт о таблице в 10 записей, задача не представляется сложной или затратной по времени и ресурсам сервера. Если же таблица содержит 100 млн записей, задача становится совсем не простой, а главное неэффективность строкового хранения на такой операции станет более чем очевидна.

Существует ещё один немаловажный фактор, способствующий наиболее оптимальной обработке колоночных данных, это однородность данных, хранимых в одной колонке, что позволяет эффективно использовать архивацию данных колонки при хранении в СУБД как In-memo, так и обычном дисковом хранении. Это существенно увеличивает скорость считывания данных с дисковых устройств и экономит оперативную память сервера СУБД. Такая возможность при строчном хранении отсутствует [6].

При это вполне очевидно, что колоночные СУБД не обязательно поддерживают все возможности реляционных. Ориентировка аналитических СУБД на создание хранилищ и витрин данных большого объёма накладывает существенные ограничения на функции обеспечения структурированности и целостности хранимых данных. Целостность данных обычно проверяется на уровне ПО аналитической информационной системы или вручную. С точки зрения ведения разработки, колоночные СУБД преимущественно поддерживают стандарт SQL-99.

Чаще всего в таких системах медленнее работают операции записи данных в СУБД, но таких операций из общего потока операций обычно очень мало – менее 1% и это не сказывается на общей скорости и доступности данных на чтение. Это очень важный показатель, поскольку объемы хранилищ данных могут быть чрезвычайно большими — есть примеры по 300-500ТБ и даже случаи с >1ПБ данных.

Чтение и обработка данных из аналитических систем производится большими блоками данных, и чтобы при этом не страдала скорость выборки, обработка производится параллельно из различных частей СУБД, участвующих в построении аналитики. Эта технология получила название MPP – massive parallel processing. В отдельных случаях анализу подвергается вся накопленная информация в аналитической СУБД и такие задачи вполне выполнимы и эффективно решаются благодаря современным технологиям оптимизации хранилищ данных.

Практически все платформы аналитических СУБД поддерживают кластеризацию и распределённое хранение данных, что позволяет создавать хранилища большого размера с географически распределёнными серверами и данными, которые функционируют как единое целое. Благодаря технологии MPP возможно горизонтальное масштабирование до сотен узлов, что существенно увеличивает производительность создаваемого хранилища и позволяет работать с BigData. Также поддерживаются технологии вертикального и горизонтального партиционирования, шардинга и репликации.

Важным классом аналитических СУБД являются системы управления базами данных in-memory [7]. Данная технология позволяет хранить и обрабатывать все данные в оперативной памяти, тем самым убрать операции ввода/вывода, которые отнимают большую часть времени при операциях над данными у традиционных СУБД. Скорость чтения в СУБД in-memory возрастает в 4 раза, а скорость записи в 420 раз. Наиболее яркими представителями СУБД, использующими данную технологию, являются SAP HANA, VoltDB. Также в последние годы эту технологию стали поддерживать и СУБД, традиционно работавшие с дисковым хранилищем СУБД – MemSQL, SQLite. К аналитическим СУБД in-memory относятся SAP HANA и MemSQL.

При реализации конкретного проекта необходимо отдельно рассчитывать указанные параметры для обеспечения оптимального быстродействия и масштаба решения. В зависимости от полученных результатов требуется уточнять какие СУБД поддерживают описанные технологии и каковы максимальные поддерживаемые значения. Вся эта работа должна выполняться на уровне планирования проекта – после того, как вся архитектура будет собрана на конкретных серверных мощностях, стоимость внесения архитектурных изменений возрастает многократно.

Необходимо учитывать тот факт, что аналитические системы малого размера можно создать и на обычной реляционной СУБД, без необходимости выделения дополнительных серверных мощностей и мук выбора наиболее подходящей аналитической СУБД.

#### **4. Базовые рекомендации по выбору СУБД**

На основании вышеизложенного материала попробуем сформулировать несколько рекомендаций для выбора СУБД при планировании проекта создания аналитической информационной системы, хранилища или витрины данных.

Прежде всего, необходимо определить масштаб создаваемой системы. Для этого необходимо произвести расчёт объёмов хранимых

данных с учётом скорости роста хранилища – поступления данных с транзакционного уровня и внешних систем. Если объемы хранимых данных менее 100Мб и годовой прирост данных менее 10Мб, вполне возможно для их обработки не требуется аналитическая СУБД даже малого размера. Можно обойтись обычной транзакционной СУБД MySQL или MS SQL Server, либо для реализации можно использовать аналитические СУБД малого класса MariaDB или LucidDB (в случае, если не требуется поддержка транзакционных возможностей).

В случае, если объемы СУБД превышают 100Гб и выше, для построения аналитической информационной системы необходимо использовать колоночные СУБД среднего и корпоративного уровня: PostgreSQL, HBase, Cassandra, Hiptable, CouchDB, Sybase IQ, SAP HANA, KDB+, IBM DB2, Oracle Database. Использование обычных реляционных СУБД без аналитических расширений и колоночного хранения данных при таких объёмах неэффективно.

Вторым немаловажным показателем для определения выбора СУБД служит максимальное время отклика аналитической системы при расчёте каждого из показателей, а также критичность выполнения данного показателя при последовательных выборках. Реляционные СУБД могут обеспечивать хорошее время отклика только на небольших объемах выборки. Например, выдавать за 1 секунду аналитический отчёт, который обрабатывает порядка 1 млн записей. Если же речь идёт об обработке более 1 млн записей со сложной аналитикой и сроках выдачи аналитики в пределах 0,5 сек и менее, то рекомендуется применять именно колоночные СУБД. Для увеличения скорости работы потребуется использовать возможности кластеризации и технологии MPP – горизонтальное масштабирование.

В случае нехватки расчётного быстродействия аналитической системы или объёмов хранилища, есть возможность обратить внимание на аналитические системы с технологией in-memory. За счёт отсутствия операций ввода/вывода быстродействие таких систем в разы превосходит аналоги. Для этого потребуется покупка серверов с большим объёмом оперативной памяти – более 8Тб и выше, а также приобретение SAP HANA в качестве аналитической СУБД. Сервера SAP HANA оптимизированы под обработку десятков миллиардов записей в режиме online, имеют множество внедрений по всему миру, активно развиваются и хорошо документированы. Покупку подобных комплексов может себе позволить только средний и крупный бизнес.

Для малого бизнеса возможно использование бюджетного варианта на MemSQL и в данном случае это не означает серьёзных ограничений по скорости работы или возможностям построить полноценную аналитическую информационную систему.

Когда создаётся аналитическая система, часто требуется рассматривать варианты её развития на годы вперёд. Объём хранимых данных обычно только увеличивается, в среднем на 10-20% в год, необходимо определить рамки роста СУБД и механизмы архивации данных.

Кроме того, по мере развития аналитической системы появляются новые пожелания заказчика в части разработки дополнительных аналитических приложений, витрин данных и т.д., что ещё более увеличивает размеры хранилища в перспективе.

Это означает, что на раннем этапе важно предусмотреть запас объёмов хранилища данных и возможности горизонтального и вертикального масштабирования. Не все СУБД одинаково легко масштабируются, необходимо выбрать наиболее подходящий вариант в соответствии с потребностями бизнеса и написать в план проекта.

Также на раннем этапе необходимо предусмотреть и варианты интеграции аналитической СУБД с поставщиками и потребителями информации. Каждая СУБД имеет такие возможности в разной степени, необходимо убедиться в совместимости протоколов обмена и версий.

## 5. Заключение

Задача создания аналитической информационной системы является сложным многоэтапным проектом. Планирование и реализация проекта должна учитывать потребности бизнеса. Руководство компании должно быть обеспечено полноценной и своевременной аналитической информацией. Для этого требуется на начальных этапах правильно выбрать платформу и СУБД для построения такой системы.

Одной из ключевых целей данной работы является выработка рекомендаций для осуществления обоснованного выбора СУБД для аналитической системы с акцентом на колоночное хранение данных, как наиболее эффективного, но не единственного механизма хранения данных. Именно колоночные СУБД позволяют увеличить скорость обработки данных в десятки раз, а также оптимизировать объёмы хранимых данных в СУБД за счёт использования компрессии колонок. На ограниченных объёмах СУБД особенно эффективны хранилища с технологией In-memory.

В работе были рассмотрены различные аспекты и технологии, влияющие на выбор того или иного класса СУБД, даны соответствующие рекомендации по модели хранения данных.

Следование данным рекомендациям позволяет создать более оптимальную модель хранения аналитических данных, улучшить эксплуатационные характеристики аналитической информационной системы. Эта информация будет полезна для планирования проекта и может служить руководством к действию технических специалистов.

### Список литературы:

1. Сайт компании [сайт] URL: <https://www.gartner.com/>.
2. Market.CNews опубликовал первый в России рейтинг ERP-систем [сайт]. URL: [https://market.cnews.ru/research/erp\\_2021/2021-03-30\\_marketcnews\\_opublikoval\\_pervyj](https://market.cnews.ru/research/erp_2021/2021-03-30_marketcnews_opublikoval_pervyj)
3. LucidDB [сайт] URL: [www.luciddb.org](http://www.luciddb.org).
4. Перечень аналитических СУБД [сайт] URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_column-oriented\\_DBMSes](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_column-oriented_DBMSes).
5. Описание СУБД Sybase IQ [сайт] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Sybase\\_IQ](https://ru.wikipedia.org/wiki/Sybase_IQ)
6. Перевод статьи: М. Стоунбрекер "«One Size Fits All»: An Idea Whose Time Has Come and Gone"—[сайт] URL: [citforum.ru/database/articles/one\\_size\\_fits\\_all](http://citforum.ru/database/articles/one_size_fits_all)
7. СУБД In-Memory [сайт] URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:In-Memory\\_Computing\\_\(%D0%92%D1%8B%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5\\_%D0%B2\\_%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B9\\_%D0%BF%D0%B0%D0%BC%D1%8F%D1%82%D0%B8\)](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:In-Memory_Computing_(%D0%92%D1%8B%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B2_%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%BF%D0%B0%D0%BC%D1%8F%D1%82%D0%B8))

## МЕТОД ИТЕРАТИВНО-ПОРЯДКОВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОКАЛЬНОЙ ВАЖНОСТИ КРИТЕРИЕВ

**Тертерян Арам Саркисович**

*аспирант кафедры Прикладные информационные технологии,  
Специалист по информационной безопасности в EPAM Systems,  
Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А.,  
РФ, г. Саратов*

**Бровко Александр Валерьевич**

*д-р физ.- мат. наук, доцент,  
Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А.,  
РФ, г. Саратов*

**Аннотация.** Предложен итеративно-порядковый алгоритм оптимизации многокритериальных задач, поддерживающий как глобальную, так и локальную важность критериев.

**Ключевые слова:** многокритериальные задачи; оптимизация; важность критериев; системы поддержки принятия решений.

Математический аппарат в данной работе согласен с [1]-[2].

Итеративный подход к оптимизации многокритериальных задач с использованием качественной важности критериев описан в работах [3]-[4]. Сводится он к двум основным положениям:

1) В первую очередь следует получать более простую и надежную информацию о предпочтениях, и лишь потом, в случае необходимости (когда такой информации недостаточно), привлекать более сложную и потому менее надежную информацию;

2) Необходимо проводить проверку ранее накопленной и получаемой дополнительно информации на непротиворечивость и при выявлении противоречий осуществлять ее корректировку; при этом проверку менее надежного сообщения надо проводить при помощи более надежных или хотя бы нескольких столь же надежных сообщений.

Допустим, на  $k$ -м шаге имелась информация о предпочтениях  $\Omega(k)$  и на ее основе были построены на множестве векторных оценок отношения предпочтения  $P(k)$  и безразличия  $I(k)$ . Предположим, далее, что на следующем,  $k + 1$ -м шаге получена дополнительная информация и на основе всей накопленной информации  $\Omega(k + 1)$  построены отношения  $P(k + 1)$  и  $I(k + 1)$ . При этом должно выполняться следующее требование непротиворечивости к уточнению информации о предпочтениях: если на  $k$ -м шаге было выявлено, что одна из векторных оценок более предпочтительна, чем другая, или же что они одинаковы по предпочтительности, то такое же соотношение между ними должно остаться и на следующем,  $k + 1$ -м шаге, т.е. для любых векторных оценок  $K(v)$  и  $K(v')$  должно быть выполнено условие:

$$K(v) P(k) K(v') \text{ влечет } K(v) P(k + 1) K(v');$$

$$K(v) I(k) K(v') \text{ влечет } K(v) I(k + 1) K(v').$$

На первом шаге процесса в качестве отношения  $P(0)$  обычно принимается отношение  $P^0$ , а в роли отношения  $I(0)$  выступает отношение равенства. В случае, когда результаты  $k$ -го шага не позволяют выделить один наилучший вариант, а указывают несколько недоминируемых и несравнимых между собой вариантов, необходимо перейти к очередному,  $k + 1$ -му шагу и организовать получение дополнительной информации о предпочтениях. Если возможности получения информации исчерпаны, то итеративный процесс анализа задачи заканчивается.

Фактически, введение информации о равноважности/локальной равноважности критериев лишь косвенно способствует сужению множества недоминируемых вариантов через отношение транзитивности, ведь при информации  $\Omega = \{K_1 \succ K_2, K_2 \approx K_3, K_2 \succ K_3\}$  мы имеем  $K_1 \succ K_3$ . При отсутствии сообщения  $K_2 \approx K_3$  мы бы не смогли сделать такой вывод. То есть в рассмотренном итеративном подходе подразумевается три возможных отношения между двумя произвольными критериями:

- 1) Отсутствие информации о предпочтениях;
- 2) Оба критерия равноважны;
- 3) Один критерий важнее другого.

Подразумевается, что изначально отсутствует какая-либо информация о прдпочтениях между любыми двумя критериями, а на каждом шаге добавляется информация о равноважности двух критериев или большей важности одного критерия относительно другого.

Однако вместо того, чтобы за начальное условие брать отсутствие какой-либо информации  $\Omega = \{\}$  можно сделать начальное предположение о равноважности всех критериев друг относительно друга, то есть  $\Omega = \{K_i \approx K_j\}$  для любых  $0 < i, j < m$ . В силу транзитивности то же самое можно записать как  $\Omega = \{K_1 \approx K_2, K_2 \approx K_3, \dots, K_{m-2} \approx K_{m-1}, K_{m-1} \approx K_m\}$ .

Рассмотрим следующее определение из работы [1]. Качественные величины (а также и коэффициенты) важности критериев, полностью упорядоченных по важности, т.е. соответствующие полной непротиворечивой информации  $W$ , называются *порядковыми*, или *ординальными*. Именно такой порядковости мы и добьемся, с самого начала задав равноважность всех критериев.

При этом сохранится итеративный опрос ЛПР, но вносить он будет только сообщения о большей предпочтительности некоего критерия относительно следующего за ним. То есть, внося сообщение  $K_i \succ K_{i+1}$ , мы будем не добавлять его к множеству  $\Omega$ , а заменять в информации  $\Omega$  сообщение  $K_i \approx K_{i+1}$  на сообщение  $K_i \succ K_{i+1}$ . Из  $K_i \succ K_{i+1}$  в этом случае следует  $K_i \succ K_j$  для любого  $i + 1 \leq j \leq m$ . Изначально мы можем расположить критерии в произвольном порядке, что позволит добиться нужных нам соотношений.

Также введём следующее понятие. *Важностным разбиением* множества критериев называется множество подмножеств, состоящих из равноважных критериев, причём подмножества разделены знаком, соответствующим относительной важности критериев предыдущего подмножества относительно критериев следующего за ним подмножества. Обозначим такое разбиение символом  $K_\Omega$ .

Рассмотрим пример. Пусть изначально имеется 10 критериев  $K = \{K_1, \dots, K_{10}\}$ , информация о важности  $\Omega = \{K_1 \approx K_2, K_2 \approx K_3, \dots, K_8 \approx K_9, K_9 \approx K_{10}\}$ ,  $K_\Omega = \{\{K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8, K_9, K_{10}\}\}$ .

Таблица 1.

## Входные условия примера

| Название критерия | Важность относительно следующего |
|-------------------|----------------------------------|
| K <sub>1</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>2</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>3</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>4</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>5</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>6</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>7</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>8</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>9</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>10</sub>   | Равноважен                       |

На первом шаге опроса ЛПР вносит сообщение  $K_3 \succ K_4$ . Значит, что  $\Omega = \{K_1 \approx K_2, K_2 \approx K_3, K_3 \succ K_4, K_4 \approx K_5, \dots, K_8 \approx K_9, K_9 \approx K_{10}\}$ ,  $K_\Omega = \{\{K_1, K_2, K_3\} \succ \{K_4, K_5, K_6, K_7, K_8, K_9, K_{10}\}\}$ .

Таблица 2.

## Первый шаг опроса ЛПР

| Название критерия | Важность относительно следующего |
|-------------------|----------------------------------|
| K <sub>1</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>2</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>3</sub>    | Важнее                           |
| K <sub>4</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>5</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>6</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>7</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>8</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>9</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>10</sub>   | Равноважен                       |

На втором шаге опроса ЛПР вносит сообщение  $K_8 \succ K_9$ . Значит, что  $\Omega = \{K_1 \approx K_2, K_2 \approx K_3, K_3 \succ K_4, K_4 \approx K_5, \dots, K_7 \approx K_8, K_8 \succ K_9, K_9 \approx K_{10}\}$ ,  $K_\Omega = \{\{K_1, K_2, K_3\} \succ \{K_4, K_5, K_6, K_7, K_8\} \succ \{K_9, K_{10}\}\}$ .

Таблица 3.

**Второй шаг опроса ЛПР**

| Название критерия | Важность относительно следующего |
|-------------------|----------------------------------|
| K <sub>1</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>2</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>3</sub>    | Важнее                           |
| K <sub>4</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>5</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>6</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>7</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>8</sub>    | Важнее                           |
| K <sub>9</sub>    | Равноважен                       |
| K <sub>10</sub>   | Равноважен                       |

Назовём рассмотренный метод *итеративно-порядковым*. Он является частным случаем итеративного подхода. Но почему же он достоин отдельного рассмотрения? Ключевым моментом является избавление от необходимости проверки новых сообщений на непротиворечивость, что кардинально облегчает задачу ЛПР в задачах с большим количеством критериев, т.к. в итеративном методе сложно отслеживать все транзитивные зависимости.

Кажется очевидным, что первая часть условия непротиворечивости « $K(v) P(k) K(v')$  влечет  $K(v) P(k+1) K(v')$ » будет в итеративно-порядковом методе выполняться всегда, но докажем это. Пусть на  $k$ -м шаге имеется некое множество  $K = \{\dots, K_i, \dots, K_j, \dots\}$ , информация о важности  $\Omega = \{K_i \succ K_j, \dots\}$ . Следовательно, в важностном разбиении критерии  $K_i$  и  $K_j$  лежат в разных подмножествах  $B$  и  $D$  соответственно (названия подмножеств даны для удобства), причём подмножество  $B$  находится раньше (левее/выше), чем подмножество  $D$ . Пусть вероятностное разбиение выглядит следующим образом:  $K_\Omega = \{A, B, C, D, E\}$ , причём  $K_i \in B, K_j \in D$ . Другие варианты подмножеств являются частными случаями рассмотренного. Возможны следующие варианты:

1) ЛПР на шаге  $k+1$  вносит новое сообщение об элементах из подмножества  $A$ , то есть некий критерий из  $A$  отныне более важен, чем

последующий за ним из того же подмножества  $A$ . Тогда данное обобщение  $k + 1$  разбивает подмножество  $A$  на подмножества  $A_1, A_2$ . Тогда получим  $K_Q = \{A_1, A_2, B, C, D, E\}$ . Очевидно, что отношение между критериями  $K_i$  и  $K_j$  из подмножеств  $B$  и  $D$  не изменится, сохранится отношение предпочтения  $K_i > K_j$ .

2) ЛПП на шаге  $k + 1$  вносит новое сообщение об элементах из подмножества  $B$ , то есть некий критерий из  $B$  отныне более важен, чем последующий за ним из того же подмножества  $B$ . Тогда данное обобщение  $k + 1$  разбивает подмножество  $B$  на подмножества  $B_1, B_2$ . Тогда получим  $K_Q = \{A, B_1, B_2, C, D, E\}$ . При этом нам не важно, в каком из получившихся подмножеств оказался критерий  $K_i$ , ведь в силу транзитивности отношение предпочтения  $K_i > K_j$  сохранится.

3) ЛПП на шаге  $k + 1$  вносит новое сообщение об элементах из подмножества  $C$ , то есть некий критерий из  $C$  отныне более важен, чем последующий за ним из того же подмножества  $C$ . Тогда данное обобщение  $k + 1$  разбивает подмножество  $C$  на подмножества  $C_1, C_2$ . Тогда получим  $K_Q = \{A, B, C_1, C_2, D, E\}$ . Очевидно, что отношение между критериями  $K_i$  и  $K_j$  из подмножеств  $B$  и  $D$  не изменится, сохранится отношение предпочтения  $K_i > K_j$ .

4) ЛПП на шаге  $k + 1$  вносит новое сообщение об элементах из подмножества  $D$ , то есть некий критерий из  $D$  отныне более важен, чем последующий за ним из того же подмножества  $D$ . Тогда данное обобщение  $k + 1$  разбивает подмножество  $D$  на подмножества  $D_1, D_2$ . Тогда получим  $K_Q = \{A, B, C, D_1, D_2, E\}$ . При этом нам не важно, в каком из получившихся подмножеств оказался критерий  $K_j$ , ведь в силу транзитивности отношение предпочтения  $K_i > K_j$  сохранится.

5) ЛПП на шаге  $k + 1$  вносит новое сообщение об элементах из подмножества  $E$ , то есть некий критерий из  $E$  отныне более важен, чем последующий за ним из того же подмножества  $E$ . Тогда данное обобщение  $k + 1$  разбивает подмножество  $E$  на подмножества  $E_1, E_2$ . Тогда получим  $K_Q = \{A, B, C, D, E_1, E_2\}$ . Очевидно, что отношение между критериями  $K_i$  и  $K_j$  из подмножеств  $B$  и  $D$  не изменится, сохранится отношение предпочтения  $K_i > K_j$ .

Все остальные варианты подмножеств, являясь частными случаями, будут иметь тот же принцип доказательства. Соответственно, мы доказали, что рассматриваемая первая часть условия непротиворечивости в итеративно-порядковом методе выполняется всегда.

От второй же части условия непротиворечивости « $K(v) I(k) K(v')$ » влечет  $K(v) I(k + 1) K(v')$ » мы вовсе отказываемся в силу изначального предположения о равнозначности всех критериев друг относительно

друга и логики внесения сообщений от ЛПР, заключающейся как раз в замене отношения равнозначности на предпочтительность.

Таким образом, необходимость проверки непротиворечивости полностью отпадает, что заметно упрощает процесс внесения сообщений лицом, принимающим решения. Также поддерживается задание как глобальной, так и локальной важности.

### **Список литературы:**

1. Podinovski V.V. Criteria importance theory // Mathematical Social Sciences. 1994.
2. Подиновский В.В. Идеи и методы теории важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений / В.В. Подиновский. – М.: Наука, 2019.
3. Озерной В.М., Гафт М.Г. Построение решающих правил в многокритериальных задачах // Проблемы принятия решений – М.: Институт проблем управления, 1974.
4. Озерной В.М., Гафт М.Г. Методология решения дискретных многокритериальных задач // Многокритериальные задачи принятия решений – М.: Машиностроение, 1978.

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

***Юнусова Альфия Шамилевна***

*магистрант,  
ФГБОУ ВО Уфимский государственный  
авиационный технический университет,  
РФ, г. Уфа*

## **SIMULATION MODELING OF LOGISTICS PROCESSES**

***Alfiya Yunusova***

*Undergraduate,  
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
Ufa State Aviation Technical University,  
Russia, Ufa*

**Аннотация.** В работе использовалась модель Beer Game для управления логистическими процессами на предприятии. Имитационная модель была выполнена в пакете AnyLogic. Это позволило осуществить эксперименты и определить оптимальный размер запасов продукции на предприятии и складах его заказчиков.

**Abstract.** The work used the Beer Game model to manage logistics processes at the enterprise. The simulation model was made in the AnyLogic package. This made it possible to carry out experiments and determine the optimal size of product stocks at the enterprise and the warehouses of its customers.

**Ключевые слова:** логистические процессы; управление запасами; модель; моделирование; оптимизация; имитационное моделирование; затраты.

**Keywords:** logistics processes; inventory management; model; simulation; optimization; simulation; costs.

На сегодняшний день перед руководителями многих компаний возникает вопрос рационального управления логистическими процессами разного уровня, начиная с внутренней логистики предприятия и заканчивая глобальной логистикой (перевозка груза по всему миру). Для этого применяют различные методы: как аналитические, так и имитационные способы моделирования. При аналитическом моделировании логистические процессы описывают в виде некоторых функциональных соотношений (алгебраических, дифференциальных, интегральных уравнений).

Имитационное моделирование – это гибкий многофункциональный подход для описания процессов складской логистики, транспортной логистики и управления цепями поставок в планировании, контроле и управлении. Имитационная модель позволяет отображать взаимосвязи между элементами логистической системы, прогнозировать альтернативные варианты развития событий, помогает выявить ситуации, что требует особого внимания менеджеров, создавать отчеты для детального понимания поведения логистической системы и принимать стратегические решения. Целью предприятия является эффективное управление своими ресурсами, включая готовую продукцию, на всей цепи поставок в необходимом количестве, в необходимой комплектации, в указанное время и по конкурентоспособной цене.

За последние годы значительно возрос интерес отечественных и зарубежных ученых к управлению логистическими процессами на предприятиях, таких как:

О.И. Бабина, Д.Дж. Бауэрсокс, Е.А. Бакаев, Р.Н. Цветной, В. Криковский, О.П. Углах, И.С. Рыкованова, З.М. Соколовская, Л.А. Янковская и другие. Ученые постоянно совершенствуют методики

управления и стараются улучшить деятельность предприятия в целом. Бакаев Е.А. описал главные модели логистических процессов и современные информационные технологии для их реализации, уделил значительное внимание новым принципам и средствам логистического управления, разным логистическим концепциям. Бабина О.И. пыталась соединить аналитические и имитационные методы моделирования в логистике. В США ежегодно проводится Winter Simulation Conference, где представляются основные достижения имитационного моделирования цепей поставок. Однако, возникает необходимость в имитационном моделировании логистических процессов на основе специфики деятельности предприятия.

В процессе исследования использовался системный метод для отображения логистических процессов при построении имитационной модели применялись методы имитационного моделирования. Также для достижения поставленной цели методологической основой исследования стали такие приемы, как группировка и графическое представление результатов исследования

Целью исследования является проведение имитационного моделирование логистических процессов на предприятии с динамическим спросом, что позволит оптимизировать уровень складских запасов в цепи поставок при минимальных логистических затратах

Имитационное моделирование помогает при решении оптимизационных логистических задач, а также при:

- проведении экспериментов для определения изменения поведения изучаемого объекта (оценка воздействия на запасы, ресурсы, склады, количество выполненных заказов при динамическом спросе);
- анализе чувствительности модели при изменении различных параметров;
- определении оптимального размещения и размеров составов;
- определении оптимальных маршрутов доставки и количеству транспортных средств;
- формировании графика поставки продукции.

За последние годы широкое применение получила концепция оптимизации имитационного моделирования (simulation optimization), на базе которой разработаны пакеты оптимизации, интегрированные в системы имитационного моделирования и позволяющие пользователям автоматически находить оптимальные решения.

Имитационная модель – программа, позволяющая исследовать процесс функционирования системы путем проведения экспериментов на компьютере. Структура имитационной модели в значительной степени зависит от выбора подхода моделирования, соответствующее выбранному уровню абстракции на этапе постановки задачи моделирования.

На сегодняшний день существуют три наиболее распространенных подхода к имитационному моделированию: системная динамика, дискретно-событийное моделирование (процессно-ориентированное), агентное моделирование. Для каждого из подходов разработаны свои пакеты имитационного моделирования.

Первые два подхода являются "традиционными" методами имитационного моделирования, появившимися в 50-60-х годах.

Агентное моделирование – относительно новый метод, получил широкое практическое распространение только после 2000 года, но уже успел набрать обороты. Системная динамика и дискретно-событийное моделирование рассматривают систему сверху вниз, работая на системном уровне. Агентное моделирование – это подход снизу вверх: создатель модели фокусируется на поведении личных объектов.

Системная динамика предполагает высокий уровень абстракции и используется в основном для задач стратегического уровня. Процессно-ориентированный (дискретно-событийный) подход используется в основном на операционном и тактическом уровне. Применение агентных моделей включает задачи любого уровня абстракции: агент может представлять компанию на рынке, покупателя, проект, идею, транспортное средство, ресурсы и т. д.

Оптимизационная модель – модель, которая может включать одну (однокритериальная модель) или несколько (многокритериальная модель) целевых функций, позволяющих находить оптимальное решение по рассматриваемым альтернативам.

Оптимизация заключается в последовательном выполнении нескольких прогонов модели с разными значениями параметров и нахождении оптимальных результатов, при которых целевая функция достигает своего экстремума.

Структура оптимизационной модели состоит из трех основных элементов: целевой функции, ограничений и его переменных.

Целевая функция строится как математическое выражение, в состав которого входят исходные показатели и (иногда) заданные параметры модели. Ограничения модели сужают область допустимых решений модели, задают диапазон допустимых значений для переменных, удовлетворяющих всем заданным ограничениям, и тем самым позволяют находить приемлемые решения задачи моделирования. Ограничения могут быть двух типов: те, которые накладываются на одну переменную (иногда в литературе их называют границами) и накладываются на связь между переменными моделями (чаще их называют требованиями).

Пределы модели задают верхний и/или нижний диапазон значений переменных. Сменные модели – это величины, значение которых необходимо оптимизировать.

Как правило, работа алгоритмов оптимизации связана с необходимостью выполнять сотни и тысячи прогонов модели, поэтому требование высокой производительности оптимизационной имитационной модели очень важно. Основными факторами, влияющими на поисковую производительность есть следующие:

- степень стохастичности имитационной модели;
- количество сменных модели;
- начальные значения переменных модели;
- ограничения, налагаемые на переменные модели;
- вид целевой функции;
- скорость выполнения прогона модели.

Между элементами логистической системы, а именно: ритейлерами, оптовиками и предприятием возникают информационные и материальные потоки. Информационный поток представляет собой поток уведомлений между участниками логистической цепи (предприятием, дистрибьюторами, магазинами, поставщиками и другими) для обеспечения движения материального потока от одной логистической системы к другому или к конечному потребителю. Информационным входным параметром является спрос на продукцию, а выходным – исполнение заказа.

Материальный поток – поток ресурсов, готовой продукции и другие, характеризующиеся следующими параметрами: номенклатурой и количеством продукции; размерностью и весовыми характеристиками; физико-химическими особенностями материалов; условиями транспортировки и хранения; стоимостными характеристиками (тарифами) и другими. Материальным входным потоком является уровень запасов, транспортных средств, а выходным – отгрузка продукции (рис. 1).



**Рисунок 1. Схема имитационной модели управления запасами между элементами логистической системы**

В пакете AnyLogic была адаптирована задача Beer Game для мясо-перерабатывающего предприятия АО "УМКК". Логистическая задача имитационной модели заключается в управлении цепочкой поставок, в состав в который входят ритейлеры, оптовики и предприятие.

Клиенты (покупатели) обращаются в магазины (ритейлеры) и формируют спрос на товар, который может изменяться в времени. Если товар в наличии - его продают, иначе – заказывают у оптовиков. При превышении спроса над предложением ведется учет задолженности по заказу. В начале каждого дня ритейлеры и оптовики проводят ревизию своих запасов и решают какое количество товара нужно заказать. Так же и на предприятии принимается решение о том, сколько единиц товара следует изготовить или заказать у поставщика (если это торговое предприятие). Целью имитационной модели является минимизация общих логистических затрат, связанных с хранением запасов, доставкой заказа и возможным дефицитом продукции.

В программе AnyLogic была построена оптимизация модели Beer Game. Оптимизация заключается в нахождении таких параметров модели, при которых достигается оптимальное значение заданной целевой функции. Также задаются ограничения на значения параметров и переменных моделей.

Таким образом, имитационное моделирование логистических процессов является неотъемлемой частью многих экономических проектов, направленных на создание или усовершенствование логистических систем. Результатом имитационного моделирования является разработка оптимальной стратегии управления, предполагающей решение поставленных логистических задач и проведение многочисленных экспериментов.

Благодаря пакету AnyLogic можно рассматривать логистические процессы как целостную систему, позволяющую достичь более эффективные решения. Управление логистическими процессами предполагает объединение рынка сбыта, распределением и производством таким образом, чтобы обеспечить высокий уровень обслуживания клиентов при общих минимальных затратах.

Примененная имитационная модель Beer Game для управления логистическими процессами позволила провести эксперименты и определить оптимальный размер запасов продукции на предприятии "УМКК" и складах его заказчиков при минимальных затратах.

### Список литературы:

1. Бабина О.И. Имитационное моделирование процессов планирования на промышленном предприятии: монография / О.И. Бабина, Л.И. Мошкович. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 152 с.
2. Бакаев О.А. Теоретические основы логистики / О.А. Бакаев, О.П. Углах, Л.А. Пономаренко – М.: Киевский ун-т экономики и технологии транспорта, 2003. – Т.1. – 430 с.
3. Компьютерное моделирование систем и процессов. Методы вычислений / [Р.Н. Цветной, И.В. Богач, О.Р. Бойко и др.]. – Винница. нац. техн. ун-т. Ч. 1, 2013. – 234 с.
4. Криковский Е.В. Инновационные решения в фармацевтической логистике / Е.В. Криковский, И.С. Рыкованова, Л.А. Янковская. – Логистика, 2011. – С. 223.
5. Средние цены производителей по основным видам пищевых продуктов, напитков / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/>
6. Anylogic [Электронный ресурс] / Anylogic – Режим доступа: <http://www.anylogic.ru/multimethod-modeling>
7. Molnár B. Planning of order picking processes using simulation and a genetic algorithm in multicriteria scheduling optimization // Proceedings 16th European Simulation Symposium. – 2004. – P. 1–6.
8. Oren T.I. Concepts for Advanced Simulation Methodologies, Simulation / T.I. Oren, B.P. Zeigler. – North-Holland Publishing company, 2009, pp. 78 – 88.
9. Pichitlamken P. Optimization via simulation: a combined procedure for optimization via simulation / P. Pichitlamken, B.L. Nelson // Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference. – 2002. – P. 292–300.

### 1.3. ТРАНСПОРТ

#### РЕГИОНАЛЬНОЕ И МЕЖДУНАРОДНОЕ РАЗВИТИЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

*Погосян Виген Гургенович*

*магистрант*

*Национальный Политехнический Университет Армении,  
РА, г. Ереван*

#### REGIONAL AND INTERNATIONAL DEVELOPMENT OF A MULTIMODAL TRANSPORT SYSTEM

*Vigen Poghosyan*

*Master student,*

*National Polytechnical University of Armenia,  
RA, Yerevan*

**Аннотация.** Учитывая большую важность экспорта и необходимость увеличения оборота грузов в рамках международных транспортных коридоров, вопросы эффективной организации перемещения товаров в международном движении становятся особенно актуальными как в национальном масштабе, так и в каждом промышленном предприятии. В этом докладе представлены обобщенные перспективы регионального и международного развития мультимодальной транспортной системы.

**Abstract.** Given the great importance of exports and the need to increase the turnover of goods within international transport corridors, the issues of effective organization of the movement of goods in international traffic are becoming particularly relevant both on a national scale and in every industrial enterprise. This report presents generalized prospects for the regional and international development of the multimodal transport system.

**Ключевые слова:** экспорт; мультимодальные транспортные системы; перевозки; грузы.

**Keywords:** export; multimodal transport systems; transportation; cargo.

Формирование транспортного рынка Армении происходит в условиях распада централизованной административной системы управления транспортом, территориальной, технологической и экономической целостности транспортной системы.

Особенностью переходного периода является наличие крупных транспортных комплексов, не имеющих аналогов в мире, - река-море грузовых компаний-железных дорог. В них сконцентрирован мощный или во многом устаревший потенциал. Транспорт и перегрузочные станции, резервуары для хранения, подъездные пути, информационные центры.

В условиях перехода от административной к хозяйственной специализации эффективность крупных транспортных комплексов зависит от того, насколько они следуют принципам и тенденциям логистики. Открытый рынок предполагает широкий спектр различных договорных отношений, вхождение в которые крупных транспортных компаний связано с необходимостью организационно-правовой реорганизации их деятельности.

В случае мультимодальной перевозки материально-техническая цепочка доставки включает в себя следующие звенья отношений: производитель, поставщик, перевозчик, грузоотправитель, покупатель.

Производитель товара также может выступать в качестве поставщика товара. Если производитель товара не выступает поставщиком, то договор купли-продажи заключается между производителем товара как продавцом и поставщиком как покупателем. Договор поставки заключается между поставщиком как «покупателем» продавца, осуществляющего коммерческую деятельность, в соответствии с которым поставщик обязуется передать произведенные или приобретенные им товары покупателю для использования в служебных или иных целях, не связанных с личными, семейными, бытовой или с домом. другое использование.

Договор поставки является разновидностью договора купли-продажи.

Как и договор купли-продажи, он направлен на передачу права собственности от продавца (поставщика) покупателю.

Сроки и даты доставки возможны при организации мультимодальной перевозки. Срок поставки может быть определен в разных формах, например, путем указания конкретной даты (месяца, квартала) или путем указания даты поставки в течение срока действия договора. В случаях, когда стороны предусматривают поставку товаров отдельными партиями в течение срока действия договора поставки, когда сроки поставки не указаны, товары должны поставляться ежемесячно отдельными партиями.

В договоре поставки может быть указан график поставки (декадный, суточный, почасовой) вместе с определенным периодом поставки. График поставки, определяемый сторонами, определяет время доставки

товара в течение срока поставки. Досрочная доставка товара может быть осуществлена с согласия покупателя. По договору поставки покупатель может быть посредником. Конкретный получатель товара указывается в заказе на доставку, в этом документе покупатель указывает получателей товара и реквизиты их доставки. Доставка товара осуществляется поставщиком транспортом, предусмотренным договором поставки, путем перевозки на условиях, указанных в договоре (скорость доставки, тип тары и т. п.).

В случае, если в договоре не указан вид отгрузки или условия, на которых осуществляется отгрузка, поставщик вправе выбрать способ отгрузки или определить условия поставки товара. В договоре поставки может быть предусмотрено, что покупатель получит товар в месте нахождения поставщика. При этом перевозка осуществляется либо через получателя, либо по договору перевозки с тем или иным перевозчиком. Следует отметить, что продажа некоторых товаров с особыми свойствами, например судов внутреннего плавания, осуществляется не по договору поставки, а по договору купли-продажи недвижимого имущества.

Между грузоотправителем (грузополучателем) и транспортным предприятием (перевозчиком) заключается договор перевозки, согласно которому перевозчик обязуется доставить вверенный ему перевозчиком груз до места назначения и для предоставления его лицу, имеющему право на получение груз (грузоперевозчик) и отправитель обязан оплатить установленную плату за перевозку груза. ...

Заключение договора перевозки груза подтверждается подготовкой и доставкой груза. В качестве перевозчика выступает лицензированное юридическое или физическое лицо. Взаимоотношения транспортных компаний при осуществлении мультимодальных (прямых смешанных, комбинированных) перевозок определяются договорами.

Не исключена организация перевозки оператором мультимодальных перевозок, особенно при международной перевозке грузов через территорию России.

В случае смешанных сообщений могут быть заключены договоры на организацию перевозки грузов. Договор перевозки не является договором перевозки в силу своих существенных признаков.

Перевозчик обязан предоставить грузоперевозчику обслуживаемые транспортные средства в срок, определенный полученной от него заявкой (заказом), договором перевозки или договором организации перевозки, в состоянии, пригодном для перевозки соответствующего груза.

Погрузка (выгрузка) груза осуществляется отправителем (получателем) груза или транспортной организацией в порядке, предусмотренном договором. Между различными видами транспорта могут заключаться договоры об организации погрузочно-разгрузочных работ (ключевые договоры, централизованные экспортные контракты и т.п.). Данный вид

документа не является договором перевозки. Это договоры контрактного типа со своими особенностями. Их заключение, содержание и исполнение определяются транспортными правилами и кодексами.

Регулирование деятельности по доставке имеет большое значение для организации мультимодальных перевозок. По договору перевозки одна сторона (перевозчик) обязуется оплатить или организовать выполнение указанных в договоре перевозки услуг за счет другой стороны (заказчика, перевозчика или грузополучателя) в обмен на оплату.

В этом договоре могут быть установлены обязанности перевозчика по организации груза, перевозчика по выбору маршрута, выбранного перевозчиком, а также заказчика или грузоотправителя по заключению договора перевозки груза от его имени, а также иные грузовые обязанности. В качестве дополнительных услуг договором перевозки могут быть предусмотрены необходимые операции по перевозке грузов, такие как получение необходимых документов для экспорта и импорта, таможенное оформление, проверка количества и состояния груза, погрузка и выгрузка, оплата пошлины, пошлины и другие расходы заказчика. Обязательна, хранение товара, получение в месте назначения, немедленная доставка потребителю и т.д.

Заказчиком вместе с отправителем или получателем груза может быть и другое лицо - собственник груза - перевозчик. Грузоотправителем может быть юридическое или физическое лицо, получившее соответствующую лицензию. Перевозчик может выступать в качестве перевозчика для другого лица (например, при организации переправки груза по новому транспортному документу) и выполнять функции перевозчика по заключенному им договору перевозки.

Договор перевозки может обязывать перевозчика заключить договор перевозки от имени заказчика или от его имени. При исполнении перевозчиком обязанностей перевозчика он не вправе заключать договор перевозки от своего имени.

На практике перевозку груза часто выполняет транспортная компания, не являющаяся перевозчиком данного груза. Например, компания речных грузоперевозок предоставляет клиенту автомобильный фрахт. В такой ситуации грузоотправитель не является перевозчиком, его отношения с заказчиком регулируются только договором поставки.

В последнее время грузовые компании и порты выступают не только как грузоперевозчики или производители, но и как поставщики товаров. Речь идет не только о традиционной продукции речных предприятий, собственных строительных материалах. Многие компании с рек выступают поставщиками угля, нефтепродуктов, леса, покупая их у соответствующих производителей. Следовательно, нормализация отношений

снабжения распространяется на них как на поставщиков, накладывая дополнительные ограничения и в то же время открывая новые экономические возможности. Веление времени – вхождение речных предприятий в сферу доставочной деятельности.

В то же время существуют противоречия в выполнении основной функции носителя.

Таким образом, он не имеет права заключать договор перевозки от своего имени. Необходимо искать экономичные способы разрешения споров и изменения правового статуса ряда ведомств. Первым этапом этого пути является создание двух основных структур на уровне управления Речной грузовой компании (ЗАО «Генеральное управление»): экономически независимой и ответственной логистической компании и грузовой компании. Их статус представлен филиалом ОАО или дочерней компанией (ДАО). В отличие от ДАО, являющегося юридически самостоятельным акционерным обществом, акции которого принадлежат ОАО, филиал не является юридическим лицом, а распоряжается частью имущества ОАО с полными правами хозяйственной собственности.

В структуру логистической компании входят соответствующие подразделения как производственного назначения (терминалы, склады), так и логистического (грузо-грузовые офисы, информационно-вычислительные центры).

Крупные порты, входящие в состав ОАО, передают часть своих акций в собственность логистической компании, сосредоточив свою деятельность только на производственных функциях. Региональные офисы и малые порты входят в состав логистической компании в качестве подразделений (представительств) и выступают ее агентами. ОАО «Логистика» разрабатывает, реализует гибкую тарифную политику, осуществляет транспортно-доходный учет и учет, а также работает по транспортным услугам, претензиям, взысканию юридических прав. В соответствии с международной практикой логистическая компания выступает арендатором автопарка грузовой компании и оплачивает с ней счета за использование автопарка. Создание логистических компаний станет первым условием развития объединенных транспортно-логистических систем.

### **Список литературы:**

1. Мальшев А.И. Экономика автомобильного транспорта. М.: Транспорт, 1983.
2. Мате Э., Тиксье Д. Логистика: Издательский дом <<Нева>>, Москва 2003.
3. В.П. Бычков : Предпринимательская деятельность на автомобильном транспорте: Учебное пособие Издание второе, переработанное, Воронеж 2010.
4. Инженерная экология; Учебник /Под.ред.Б.Т.Медведева; М.; Гардарики. 2002.

## РАЗДЕЛ 2.

## ФИЗИКА

### 2.1. ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА

#### ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ

**Барило Кристина Александровна**

*студент,*

*Донской Государственный Технический Университет,  
РФ, г. Ростов-на-Дону*

**Обоймова Светлана Павловна**

*студент,*

*Донской Государственный Технический Университет,  
РФ, г. Ростов-на-Дону*

#### BASIC PRINCIPLES OF LASER METAL CUTTING TECHNOLOGY

**Kristina Barilo**

*Student,*

*Don State Technical University,  
Russia, Rostov-on-Don*

**Svetlana Oboimova**

*Student*

*Don State Technical University,  
Russia, Rostov-on-Don*

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены сущность и технология использования лазера при резке металла, достоинства и недостатки станков лазерной резки, некоторые виды лазеров.

**Abstract.** This article discusses the essence and technology of using a laser when cutting metal, the advantages and disadvantages of laser cutting machines, some types of lasers.

**Ключевые слова:** лазерная обработка; лазерные установки; лазер; лазерная резка.

**Keywords:** laser processing; laser installations; laser; laser cutting.

Открытый не так давно, в XX веке, лазер «высвечивает» себе путь во всех сферах жизни человечества. Особенно во многих областях производства. В частности лазер используется для резки деталей, изготовленных из самых различных материалов. Он позволяет выполнять такие манипуляции: вырезать корпуса устройств, детали конструкций, создавать отверстия. Эта технология используется для различных по прочности и хрупкости материалов, для тонких листов и тугоплавких металлов. Перспективные отличия лазерных технологии делают лазерную резку металла очень востребованной в настоящее время.

Основными преимуществами лазерной резки над механической являются:

- выполнение точного и ровного реза;
- деликатное воздействие;
- отсутствие окалины на кромках;
- отсутствие деформации детали т.к. используется бесконтактный рез (поэтому возможна резка даже тонких листов);
- отсутствие нагрева и деформации благодаря охлаждению газом;
- отсутствие термического расширения, т.к. нагревается только участок реза, а не вся заготовка;
- детали эффективно размещаются на листе, что помогает уменьшить трату материалов.

Указанные выше преимущества делают лазерные технологии в ряде случаев не только прогрессивными, но и незаменимыми. В основе всех этих технологий лежат процессы плавления и испарения твердого тела лазерным излучением.

Рассмотрим лазерные установки, имеющие узкоспециализированный круг применения. Их работа основана на получении сфокусированной энергии. Чтобы ее было достаточно специальный аппарат проводит фокусировку энергии в один луч. В процесс производства высокоточных деталей с помощью лазера внедряют ЧПУ, без которого зачастую

невозможна обработка. Лазерный раскрой металла получается без механической деформации обрабатываемого материала, а температурное воздействие лазерного излучения сосредоточенно в узкой зоне разреза. Эти факторы позволяют осуществлять обработку необходимых участков изделия без воздействия на структуру остальной его части. При этом способе обработки детали получаются с высоким уровнем качества поверхности среза, не требующим его дальнейшей обработки. Вследствие этого достигается высокая производительность данной технологии, если сравнивать ее с другими способами обработки металлов.

Лазерное оборудование, применяемое при резке, классифицируют по источникам излучения и выходной мощности, которая также определяет материал обработки. Для обработки черных металлов и нержавеющей стали применяют твердотельные (на гранате с неодимом Nd:YAG), квазинепрерывные и импульсно-периодические источники лазерного излучения с выходной мощностью 100-300 Вт. Для обработки же легированных сталей и некоторых видов сплавов используют газовые непрерывные CO<sub>2</sub> лазеры с выходной мощностью до 2500 Вт. В большинстве случаев современное оборудование для лазерной резки металла состоит из:

- лазера с системами охлаждения и питания;
- координатного стола для крепления заготовки;
- компьютерной системы управления столом;
- устройства подачи технологического газа;
- вентиляционной системы.

До недавнего времени наиболее популярным видом лазера для промышленной резки материала в среде был двуокис углерода. CO<sub>2</sub> - лазер достаточно стабилен при сохранении других положительных технологических свойств. При этом затраты на газ на один погонный метр реза сравнимы с энергетическими затратами.

В настоящее время большое распространение получили волоконные лазеры. Волоконный лазер - лазер, активная среда и резонатор которого являются элементами оптического волокна. Плюсы волоконного лазера:

- высокая надежность, не нужны зеркала, лазерные газы, линзы, фильтры и специальные масла;
- низкая стоимость обслуживания;
- себестоимость резки ниже в 3-5 раз по сравнению с лазерами CO<sub>2</sub>;
- малые затраты энергии;
- низкие требования к охлаждению, качеству воздуха в производственном помещении;
- снижены требования к квалификации обслуживающего и рабочего персонала.

Так как при работе лазер перегревается, для его охлаждения используют двухконтурные водяные системы, либо холодильные компрессоры на фреоне. Исходя из решаемых технологических задач, источники питания лазера бывают трансформаторные или импульсные. Там, где нужна надежность, используют трансформаторные схемы; при минимизации лазерных установок применяют импульсные.

Современные координатные столы являются высокоточным оборудованием и чаще всего базируются на портальной схеме («летающей оптике»), где неподвижная металлическая заготовка режется перемещаемым лазерным лучом. Но существуют и другие схемы. К примеру, при резке Nd:YAG - лазерами луч перемещается по одной координате, а стол с листовым материалом, по другой. Управление координатным станком осуществляется промышленным компьютером и включает пакет следующих файлов:

- программ ввода исходных данных (электронных чертежей) в графических редакторах AutoCAD, CorellDraw, Adobe Illustrator и др. (форматы \*.plt, \*.ai, \*.dxf, \*.cf2);
- управляющих программ поворота, масштабирования и размножения исходного файла (чертежа) по рабочему полю стола;
- программ настройки параметров лазерной обработки и режима врезки, автоматического учета ширины реза, определения внутренних и внешних контуров, корректировки режима резки непосредственно в технологическом процессе и др.;
- программ настройки параметров координатного привода и рабочей среды оператора, генерацию (рисование) простейших геометрических фигур;
- программ подключения внешних устройств, управления лазерным излучателем, связь с внешней локальной сетью.

Достоинства станков лазерной резки:

1. Высокая точность и производительность. Благодаря использованию системы ЧПУ идет полная автоматизация многих процессов обработки. Сделать ее быстрее стало возможно благодаря значительному увеличению мощности квантового генератора.

2. Раскроечный процесс происходит с максимальной экономичностью.

3. Исключена необходимость включения этапа доработки торцов или их гравировки с перебазируванием, использованием другого оборудования.

4. Станки по металлу с лазерной установкой применимы при необходимости выполнения гравировки или другого типа обработки на момент штучного, мелкосерийного или крупносерийного производства.

Также они применяются для гравировки и другой обработки в случае, когда не допускается возникновение механического напряжения. Также отсутствие механического напряжения определяет возможность проведения гравировки или резки по твердому металлу.

5. Есть возможность нанесения мини технологической разметки для последующей сборки по ней.

6. Может использоваться для создания нестандартных изделий, которые имеют профиль различной геометрии и уровня сложности.

7. Сделать детали можно с меньшими затратами, что понижает окончательную стоимость продукта.

8. Лазерная резка металла не производит механического воздействия на обрабатываемое изделие, что позволяет применять его для резки хрупких, непластичных материалов.

9. Температурное воздействие лазерного излучения на деталь локализовано в узкой области реза, в результате не происходит ее нагрева и тепловой деформации, что позволяет применять лазерный раскрой металла для тонких деталей.

К недостаткам лазерной обработки, стоит отнести дороговизну оборудования, необходимость иметь компетентных специалистов на таком оборудовании, сложность ремонта.

### Список литературы:

1. Резка металлов лазером [Электронный ресурс] – Режим доступа - <https://onlinevologda.ru/news-company/rezka-metallov-lazerom/>
2. Современное лазерное оборудование — виды лазеров, их достоинства и недостатки [Электронный ресурс] – Режим доступа - <https://teploblokn.ru/oborudovanie/lazernaya-rezka-eto.html>
3. Обзор станков для лазерной обработки металла [Электронный ресурс] – Режим доступа - [https://www.equipnet.ru/review/review\\_45759.html](https://www.equipnet.ru/review/review_45759.html)
4. Обзор станков для лазерной обработки металла [Электронный ресурс] – Режим доступа - <http://podshipnik-servis.ru/new/obzor-stankov-dlya-lazerno-obraobrotki-metalla>
5. Актуальные вопросы оптики и лазерной физики [Электронный ресурс] – Режим доступа - <https://лазер.рф/2019/09/11/14348/>
6. Что такое лазер? [Электронный ресурс] – Режим доступа - <https://hitecher.com/ru/articles/chto-takoe-lazer>
7. Большая российская энциклопедия. ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА [Электронный ресурс] – Режим доступа - <https://bigenc.ru/physics/text/2131862>

## 2.2. ОПТИКА

### ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ РАССЕЯНИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ НЕЭЛЕКТРОЛИТА С ОСОБОЙ ТОЧКОЙ

**Сабиров Леонард Мухаммеджанович**

*д-р. физ.-мат. наук, профессор*

*Самаркандский государственный университет им. Ш. Рашидова  
Республика Узбекистан, г. Самарканд*

**Семенов Денис Иванович**

*д-р. физ.-мат. наук, доцент,*

*Самаркандский государственный университет им. Ш. Рашидова  
Республика Узбекистан, г. Самарканд*

**Исмаилов Фахриддин Раимович**

*(PgD) канд. физ.-мат. наук, доцент,*

*Самаркандский государственный университет им. Ш. Рашидова  
Республика Узбекистан, г. Самарканд*

**Каршибоев Шавкат Эсирганович**

*ассистент*

*Самаркандский государственный университет им. Ш. Рашидова,  
Узбекистан-Финляндия педагогический институт  
Самаркандского государственного университета,  
Республика Узбекистан, г. Самарканд*

**Турсунбоев Олмос Вахоб ўгли**

*магистр,*

*Самаркандский государственный университет им. Ш. Рашидова  
Республика Узбекистан, г. Самарканд*

**Утабоева Нилуфар Шавкатовна**

*студент,*

*Самаркандский государственный университет им. Ш. Рашидова  
Республика Узбекистан, г. Самарканд*

Исследования фазовых переходов и критических явлений в жидкостях и растворах представляют собой в настоящее время обширную область интересных и актуальных физических задач.

Флуктуации параметра порядка в окрестности точек фазовых переходов создают в среде оптические неоднородности, обуславливающие светорассеяние. Среднеквадратичная величина флуктуаций, их размеры и кинетика определяют интенсивность светорассеяния, ее угловую зависимость, а также спектральный состав рассеянного света. По этой причине спектроскопия светорассеяния представляет собой мощный инструмент для изучения фазовых переходов и критических явлений [1].

Интересными для исследования представляются некоторые растворы неэлектролитов в воде. Например, в водных растворах пиридина и его метилпроизводных (пиколинов) изменение концентрации неэлектролита и температуры раствора (при нормальном давлении и при отсутствии добавок соли или тяжелой воды) не приводит к расслаиванию. Несмотря на отсутствие точки расслаивания в этих растворах наблюдается аномалия в рассеянии света в области малых концентраций неэлектролита. Выраженный максимум на концентрационной зависимости коэффициента рассеяния света обнаружен на концентрации 0.1 мольной доли (м.д.) для системы вода–пиридин и в области 0.06-0.09 м.д. для систем вода–метилпиридина [2]. Предполагается, что при этих концентрациях и определенных температурах (~70 °С) состояние растворов наиболее близко к расслоению (т.н. «особая» точка на диаграмме состояния в координатах «температура–концентрация»), и рост интенсивности светорассеяния обусловлен развитыми флуктуациями концентрации [2].

Если поведение интенсивности рассеяния света в водных растворах неэлектролитов изучено достаточно подробно, то информация о поведении спектральных характеристик рассеянного света в них в широком интервале концентраций практически отсутствует. Вместе с тем, изучение поведения таких параметров, как, например, частотное смещение компонент тонкой структуры линии Релея и их спектральная ширина, позволяет получить гораздо больше информации о физических процессах, происходящих в водных растворах при изменении температуры и концентрации молекул неэлектролита.

Результаты экспериментального изучения спектров рассеяния Мандельштама-Бриллюэна в растворах 4-метилпиридин-вода при концентрациях неэлектролита в растворе  $x \geq 0.1$  м.д. приведены в нашей работе [3].

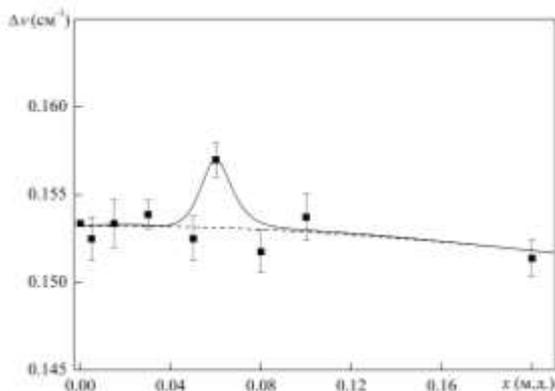
Целью настоящей работы явилось экспериментальное изучение закономерностей изменения величины частотного смещения компонент Мандельштама-Бриллюэна (КМБ) в водных растворах 4-метилпиридина малых концентраций, включая концентрацию, соответствующую раствору с особой точкой ( $x=0.06$  м.д.)

Спектры рассеяния Мандельштама-Бриллюэна регистрировались при помощи экспериментальной установки с двухпроходным интерферометром Фабри-Перо. Угол рассеяния света составлял  $90^\circ$ . Ошибка при выставлении угла рассеяния не превышала  $0.2^\circ$ . Область дисперсии интерферометра при данной геометрии эксперимента составляла  $0.625 \text{ см}^{-1}$ , контраст интерференционной картины –  $5 \times 10^4$ , острота полос – 35. В качестве источника излучения использовался He-Ne лазер (длина волны излучения 632.8 нм) мощностью порядка 15 мВт. Ошибка в измерении величины частотного смещения КМБ  $\Delta\nu$  не превышала 0.5%. Очистка компонентов раствора осуществлялась путем трехкратной перегонки. Образцы растворов запаивались в стеклянные цилиндрические кюветы при давлении ниже атмосферного. Спектры рассеяния изучались при температуре растворов  $70^\circ\text{C}$ .

Результаты измерения величины частотного смещения КМБ  $\Delta\nu$  в растворах 4-метилпиридина-вода в зависимости от концентрации приведены на рисунке.

Как видно из рисунка, изменение величины  $\Delta\nu$  в зависимости от концентрации раствора происходит немонотонно. На изотерме зависимости  $\Delta\nu(x)$  наблюдается максимум при концентрации  $x=0.06$  м.д.

Совпадение концентрации, при которой имеет место максимум в зависимости  $\Delta\nu(x)$  с концентрацией, соответствующей особой точке раствора может служить указанием на то, что этот максимум обусловлен критическими флуктуациями концентрации, уровень которых растет по мере приближения температуры раствора к температуре особой точки.



**Рисунок 1. Концентрационная зависимость смещения КМБ в водных растворах 4-метилпиридина при температуре  $70^\circ\text{C}$ .**

*Сплошная линия – сглаживание данных.*

*Пунктирная линия – «фооновая» часть зависимости*

Предположение о связи максимума на зависимости  $\Delta v(x)$  с критическими флуктуациями концентрации согласуется с результатами, полученными при изучении раствора с особой точкой гваякол-глицерин [4].

Для этого раствора авторами работы [4] был экспериментально обнаружен максимум на концентрационной зависимости скорости гиперзвука при концентрации раствора, соответствующей критической.

Известно, что существование тонкой структуры линии Рэлея обусловлено присутствием в жидкости адиабатических флуктуаций давления, распространяющихся в среде в виде тепловых упругих (дебаевских) волн. Эффект модуляции рассеянного света этими волнами (предсказанный, независимо друг от друга, Мандельштамом и Бриллюэном) приводит к изменению частоты рассеянного света на величину  $\Delta \nu$ , которая может быть записана в виде [1]:

$$\Delta \nu = 2n \nu_0 \frac{V}{c} \sin \frac{\theta}{2}$$

где  $\nu_0$  – частота возбуждающего света,  $n$  – показатель преломления,  $V$  – скорость звука,  $c$  – скорость света в вакууме,  $\theta$  – угол рассеяния.

Наблюдаемый в наших экспериментах максимум на зависимости  $\Delta v(x)$  может быть обусловлен соответствующим максимумом на концентрационной зависимости скорости распространения гиперзвука  $V(x)$  в этих растворах при концентрации  $x=0.06$  м.д.

Это предположение, и, следовательно, возможная связь максимума на концентрационной зависимости смещения КМБ  $\Delta v(x)$  с критическими флуктуациями концентрации, согласуется с экспериментальными результатами и выводами работы [4].

Описание обнаруженного в настоящей работе максимума на зависимости  $\Delta v(x)$  в водных растворах 4-метилпиридина с помощью имеющихся теоретических представлений будет предпринято в дальнейшем.

### Список литературы:

1. И.Л. Фабелинский, Молекулярное рассеяние света. М.: Наука, 1965.
2. М.Ф. Вукс, Рассеяние света в газах, жидкостях и растворах. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1977.
3. Н.Ф. Букин, В.С. Горелик, Л.М. Сабиров, Д.И. Семенов, Х.С. Хайдаров, Частотное смещение компонент тонкой структуры линии Рэлея в водном растворе 4-метилпиридина в зависимости от температуры, концентрации и угла рассеяния света, Квантовая электроника 40(9), 817 (2010).

4. К.В. Коваленко, С.В. Кривохижа, И.Л. Фабелинский, Л.Л. Чайков, Концентрационная и температурная зависимость скорости гиперзвука в растворах с двумя критическими точками, Краткие сообщения по физике ФИАН 11, 19 (2002).

## ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОВЕДЕНИЕ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГИПЕРЗВУКА В РАСТВОРЕ АЦЕТОН-ВОДА

**Сабиров Леонард Мухаммеджанович**

*д-р. физ.-мат. наук, профессор,  
Самаркандский государственный университет им. Ш. Рашидова  
Республика Узбекистан, г. Самарканд*

**Семенов Денис Иванович**

*д-р. физ.-мат. наук, доцент,  
Самаркандский государственный университет им. Ш. Рашидова  
Республика Узбекистан, г. Самарканд*

**Исмаилов Фахриддин Раимович**

*(PgD) канд. физ.-мат. наук, доцент  
Самаркандский государственный университет им. Ш. Рашидова  
Республика Узбекистан, г. Самарканд*

**Каршибоев Шавкат Эсирганович**

*ассистент  
Самаркандский государственный университет им. Ш. Рашидова  
Самарканд, Узбекистан  
Узбекистан-Финляндия педагогический институт  
Самаркандского государственного университета,  
Республика Узбекистан, г. Самарканд*

**Турсунбоев Олмос Вахоб ўгли**

*магистр  
Самаркандский государственный университет им. Ш. Рашидова  
Республика Узбекистан, г. Самарканд*

## **Утабоева Нилуфар Шавкатовна**

студент

Самаркандский государственный университет им. Ш. Рашидова  
Республика Узбекистан, г. Самарканд

Вопрос о существовании различных фаз в жидкостях и фазовых переходах типа жидкость-жидкость неоднократно обсуждался в последнее время. Экспериментальные факты, указывающие на проявление такого рода переходов, имеются [1,2]. Однако, эти переходы пока еще не признаются достаточно убедительно доказанными и существование фазовых переходов жидкость-жидкость остается одной из интригующих проблем физики конденсированного состояния вещества и физики фазовых переходов и критических явлений [3].

Согласно [1,2], во многих переохлажденных жидкостях существует средний порядок (кластеры или упорядоченные области). Предпочтительные связи в кластерах могут быть различными в различных температурных интервалах. Это и приводит к существованию различных фаз в жидкостях – фаз с различным средним порядком.

Экспериментальные данные по распространению гиперзвука в растворе гваякол-глицерин вблизи замкнутой области расслаивания (ЗОР), двойной критической точки (ДКТ) и особой точки (ОТ), перечисленные в [3], обнаруживают ряд особенностей в температурной зависимости скорости  $V$  гиперзвука:

1. при температурах выше верхней критической температуры расслаивания (ВКТР) и ниже нижней критической температуры расслаивания (НКТР) температурные коэффициенты скорости гиперзвука (производные скорости гиперзвука по температуре) различаются приблизительно в два раза;
2. такое различие сохраняется и в случае, когда ЗОР трансформируется (стягивается) в ДКТ и, далее, в ОТ;
3. в ближайшей окрестности температуры ДКТ и ОТ скорость гиперзвука не зависит от температуры ( $dV/dT=0$ );
4. для ультразвука изменение температурного коэффициента скорости не наблюдается. При этом температурный коэффициент скорости ультразвука практически совпадает с температурным коэффициентом скорости гиперзвука при температурах выше ВКТР, ДКТ и ОТ.

По мнению авторов работы [3] полученные экспериментальные данные удастся объяснить существованием двух различных фаз (I и II) раствора с температурой фазового перехода  $T_0$ . Температура  $T_0$  совпадает и с температурой центров замкнутых областей расслаивания, и с двойной критической точкой, и с особой точкой. В фазе I, названной

в [3] *френкелевской* фазой, молекулы находятся в потенциальных ямах с глубиной, превышающей тепловую энергию молекулы. Только в этой фазе возможно существование упорядоченных областей (кластеров), т.е. среднего порядка, а также высокочастотного модуля сдвига. В фазе II, названной в [3] *газоподобной* фазой, тепловая энергия молекулы оказывается больше глубины потенциальной ямы. В этой фазе нет среднего порядка и высокочастотного модуля сдвига.

Упорядоченные области в фазе I – это не флуктуационно возникающие образования, а структурный элемент этой фазы [3].

Авторы [3] выдвигают также и предположение о том, что в жидкостях может существовать и не одна, а несколько френкелевских фаз, различающихся характером среднего порядка.

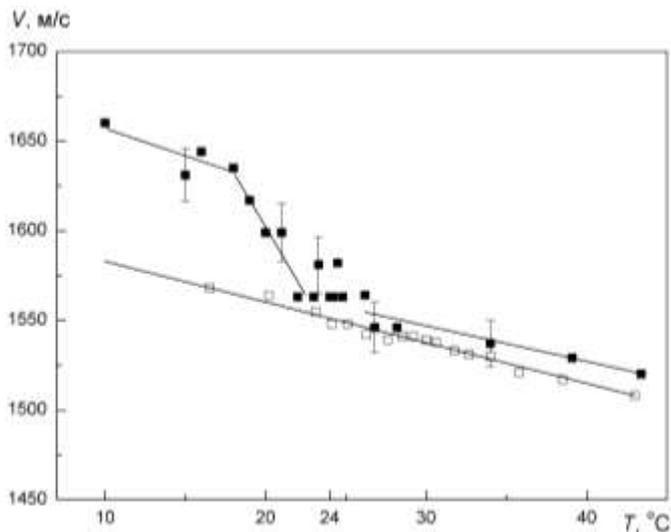
Идеология авторов работ [1-3] и предложенная в [3] физическая картина, вытекающая из данных по распространению гиперзвука в растворах с ЗОР, ДКТ и ОТ, нам представляются вполне оправданными.

Целью настоящей работы явилось изучение температурной зависимости скорости распространения гиперзвука в окрестности температуры ОТ раствора ацетон-вода, компоненты которого, в отличие от раствора гваякол-глицерин, обладают сравнительно малой вязкостью.

Исследование скорости гиперзвука осуществлялось по спектрам линейно-поляризованного молекулярного рассеяния света путем измерения величины частотного смещения компонент Манделъштама-Бриллюэна (КМБ). Для изучения КМБ была использована экспериментальная установка с двухпроходным интерферометром Фабри-Перо. Спектр рассеянного света сканировался изменением давления в камере интерферометра. Рассеяние возбуждалось одночастотным излучением He-Ne лазера ( $\lambda=632.8$  нм, мощность  $\sim 2$  мВт). Возбуждающий свет был поляризован перпендикулярно плоскости рассеяния.

Как было найдено в работе [4] при измерении поглощения ультразвука в растворе ацетон-вода, концентрация ацетона, соответствующая максимуму поглощения ультразвука и минимуму стабильности раствора, составляет 0.4 мольной доли ацетона. Измерения в настоящей работе проводились именно для раствора этой концентрации. Температура особой точки  $T_0 \approx 24$  °С.

На рисунке приведены экспериментально полученные в настоящей работе температурные зависимости скорости распространения ультразвука (частота 30.3 МГц) и гиперзвука (частота  $\sim 2.6$  ГГц) в растворе ацетон-вода в окрестности температуры ОТ.



**Рисунок 1. Температурная зависимость скорости ультразвука (□) и гиперзвука (■) в растворе ацетон-вода. Температура особой точки  $T_0 \approx 24^\circ\text{C}$ . Сплошные линии – сглаживание линейных участков методом наименьших квадратов**

Сопоставление экспериментальных данных, полученных нами для раствора ацетон-вода и авторами работы [3] для раствора гваякол-глицерин, показывает, что в исследованных растворах температурные зависимости скорости распространения высокочастотного звука обнаруживают ряд закономерностей, присущих обоим растворам. В то же время, некоторая особенность температурной зависимости  $V(t)$ , наблюдаемая в растворе ацетон-вода, отсутствует в растворе гваякол-глицерин.

Экспериментальные данные, полученные нами для раствора ацетон-вода, свидетельствуют о том, что в нем, как и в растворе гваякол-глицерин, при изменении (понижении) температуры происходит переход от газоподобной (неупорядоченной, по терминологии авторов работы [3]) фазы во френкелевскую фазу, характеризующуюся существованием среднего порядка (упорядоченные области, кластеры) [3]. Температура этого фазового перехода совпадает с температурой особой точки.

Вместе с тем в растворе ацетон-вода в температурной зависимости скорости гиперзвука наблюдается особенность,

отсутствующая в растворе гваякол-глицерин. А именно, ниже  $OT$  (т.е. во френкелевской фазе) экспериментально наблюдается еще одно изменение температурного коэффициента скорости гиперзвука при  $T \approx 18$  °С. Таким образом, в отличие от раствора гваякол-глицерин, температурная зависимость скорости гиперзвука в растворе ацетон-вода ниже температуры  $OT$  описывается не одним, а двумя температурными интервалами, в которых скорость гиперзвука линейно меняется с температурой, но с существенно различающимися температурными коэффициентами. Температурный коэффициент скорости гиперзвука при  $T \leq 18$  °С приблизительно равен температурному коэффициенту скорости ультразвука.

Обнаруженное в нашем эксперименте изменение температурного коэффициента скорости гиперзвука в температурном интервале ниже  $OT$  может служить экспериментальным подтверждением предположения о том, что в жидкостях может существовать не одна, а несколько френкелевских фаз, различающихся характером среднего порядка.

#### **Список литературы:**

1. Н. Tanaka, R. Kurita, H. Matak, Phys. Rev. Lett. 92, 025701 (2004).
2. R. Kurita, H. Tanaka, J. Phys.: Condens. Matter 17, 293 (2005).
3. К.В. Коваленко, С.В. Кривохижа, И.А. Чабан, Л.Л. Чайков, ЖЭТФ 133, 330 (2008).
4. П.А. Бажулин, Ю.М. Мерсон, Докл. АН СССР 24(7), 689 (1939).

## **2.3. ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**

### **ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ПРИ СОЗДАНИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

**Рыков Евгений Валентинович**

начальник сектора  
Филиала АО «НПО Лавочкина» в г. Калуга,  
РФ, г. Калуга

**Шаталов Валерий Константинович**

д-р техн. наук, зав. кафедрой,  
профессор Калужского филиала  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»,  
РФ, г. Калуга

**Штокал Александр Олегович**

канд. техн. наук,  
ведущий конструктор Филиала АО «НПО Лавочкина» в г. Калуга,  
РФ, г. Калуга

**Артемов Артём Валентинович**

главный конструктор  
Филиала АО «НПО Лавочкина» в г. Калуга,  
РФ, г. Калуга

**Баженова Ольга Петровна**

начальник сектора АО «НПО Лавочкина»,  
РФ, г. Химки

**Сергеев Даниил Владимирович**

канд. техн. наук,  
ведущий инженер-технолог АО «НПО Лавочкина»,  
РФ, г. Химки

## **CONTROL FEATURES OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE NEAR-SURFACE LAYER OF A TITANIUM ALLOY DURING THE CREATION OF SPACECRAFT**

***Evgeniy Rykov***

*Department supervisor  
of the Kaluga branch of Lavochkin Association,  
Russia, Kaluga*

***Valeriy Shatalov***

*Doctor of Technical Sciences, department supervisor,  
Professor of The Kaluga branch of MSTU named after N.E. Bauman  
(national research university),  
Russia, Kaluga*

***Aleksandr Shtokal***

*Candidate of Technical Sciences,  
Leading Designer of The Kaluga branch of Lavochkin Association,  
Russia, Kaluga*

***Artyom Artyemyev***

*Chief designer  
of the Kaluga branch of Lavochkin Association,  
Russia, Kaluga*

***Olga Bazhenova***

*Department supervisor of Lavochkin Association,  
Russia, Khimki*

***Daniil Sergeev***

*Candidate of Technical Sciences,  
leading process engineer of Lavochkin Association,  
Russia, Khimki*

**Аннотация.** Отмечена характерная особенность титана – необычайно высокая чувствительность к примесям атмосферных газов, которые образуют с титаном твердые растворы внедрения и промежуточные фазы, повышая его характеристики прочности и снижая пластичность. Приведены данные, что поверхностное насыщение титановых сплавов кислородом производится путём формирования устойчивых оксидных покрытий на поверхности наплавочных прутков. Установлено,

что наиболее технологичным способом создания оксидного слоя для присадочного прутка является микродуговое оксидирование (МДО). Указано, что в космической промышленности титановые сплавы чаще всего используются при изготовлении отдельных высоконагруженных деталей, а также крупногабаритных конструкций космических аппаратов, таких как переходные фермы и посадочные опоры. Рассмотрены преимущества и недостатки предложенного способа микролегирования кислородом поверхности титановых сплавов с использованием обработанных микродуговым оксидированием наплавочных прутков при изготовлении протяжённых силовых упругих элементов космических аппаратов.

**Abstract.** A characteristic feature of titanium is noted - an unusually high sensitivity to atmospheric gas impurities, which form interstitial solid solutions and intermediate phases with titanium, increasing its strength characteristics and reducing ductility. Data are given that the surface saturation of titanium alloys with oxygen is carried out by forming stable oxide coatings on the surface of hard-facing bars. It has been established that the most technologically advanced method of creating an oxide layer for a filler bar is microarc oxidation (MAO). It is indicated that in the space industry, titanium alloys are most often used in the manufacture of individual highly loaded parts, as well as large-sized spacecraft structures, such as transition trusses and landing pads. The advantages and disadvantages of the proposed method of oxygen microalloying of the surface of titanium alloys with the use of hard-facing bars treated by microarc oxidation in the manufacture of extended force elastic elements of spacecraft are considered.

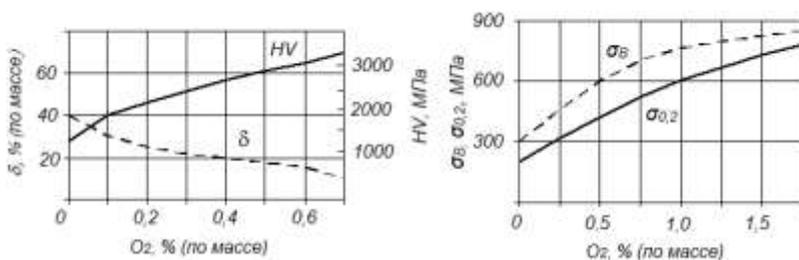
**Ключевые слова:** титан; микролегирование; наплавочные прутки; микродуговое оксидирование; космический аппарат; посадочная опора.

**Keywords:** titanium; microalloying; hard-facing bars; microarc oxidation; spacecraft; landing pad.

Развитие технологий и совершенствование принципов конструирования новой техники напрямую связаны с разработкой новых конструкционных материалов, позволяющих в первую очередь обеспечивать требуемые эксплуатационные параметры при меньших массово-габаритных характеристиках. Это особенно важно для ряда отраслей промышленности, где удельные показатели играют наиважнейшую, определяющую роль в функционировании разрабатываемых изделий. В частности, интенсивное развитие авиации и космонавтики стало возможным во многом благодаря созданию и быстрому развитию в СССР и странах Запада титановой промышленности.

Важнейшее преимущество титана и титановых сплавов перед другими конструкционными материалами – это высокая удельная прочность и жаропрочность в сочетании с хорошей коррозионной стойкостью, практическое отсутствие хладноломкости наряду с высокой удельной прочностью. Кроме того, титан и его сплавы, несмотря на плохую обрабатываемость резанием, хорошо свариваются, обрабатываются давлением в холодном и горячем состоянии, термически упрочняются, что имеет большое значение для их применения в ряде отраслей техники [1].

Механические свойства титана определяются составом: чем в нём меньше примесей, тем ниже прочность и выше пластичность (рис. 1). Характерная особенность титана – необычайно высокая чувствительность к примесям атмосферных газов – кислороду, азоту, водороду и углероду, которые образуют с титаном твердые растворы внедрения и промежуточные фазы: оксиды, нитриды, гидриды, карбиды, повышая его характеристики прочности и снижая пластичность [1].

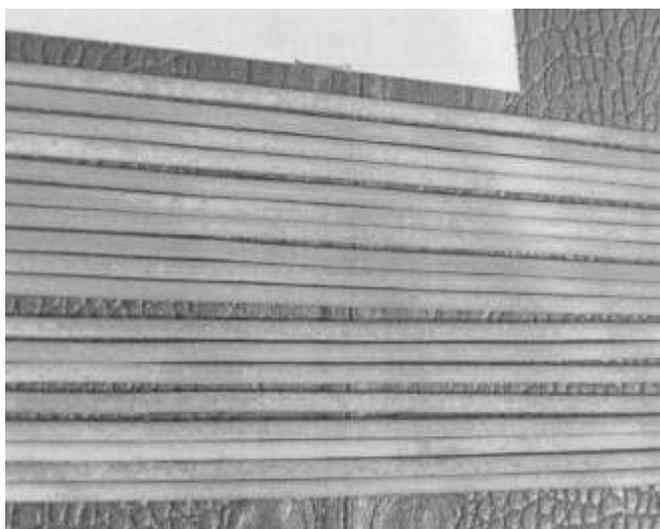


**Рисунок 1. Влияние примеси кислорода на механические свойства титана [1, 2]**

На этом принципе основан метод повышения износостойкости поверхностей титановых сплавов при помощи присадочных материалов высокопрочных титановых сплавов, разработанных ЦНИИ КМ «Прометей» на базе карбидов вольфрама и молибдена (В-32, ВМ-40), а также термически оксидированных прутков из сплава композиции Ti–Al–Zr [3]. Кислород обладает большей растворимостью в α-титане, поэтому может в наибольшей степени повысить твёрдость и предел прочности [4].

Поверхностное насыщение титановых сплавов кислородом производится путём формирования устойчивых оксидных покрытий на поверхности наплавочных прутков [5]. Высокая чувствительность механических свойств титановых сплавов к микролегированию кислородом ставит задачу получения наплавочных прутков с заданным

содержанием кислорода и требует разработки принципиально новых технологий, подходов, направленных на получение необходимых характеристик сплава [6]. В ходе многолетней исследовательской работы в МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Калуга) было установлено, что наиболее технологичным способом создания оксидного слоя для присадочного прутка является микродуговое оксидирование (МДО) [7, 8] (Рис. 2). При этом выявлено важное преимущество перед применяющимся много лет способом термического оксидирования титановой сварочной проволоки – процесс формирования наплавки с использованием обработанной МДО проволоки не сопровождается образованием трещин даже при наплавке без подогрева заготовки и последующего отжига [9].



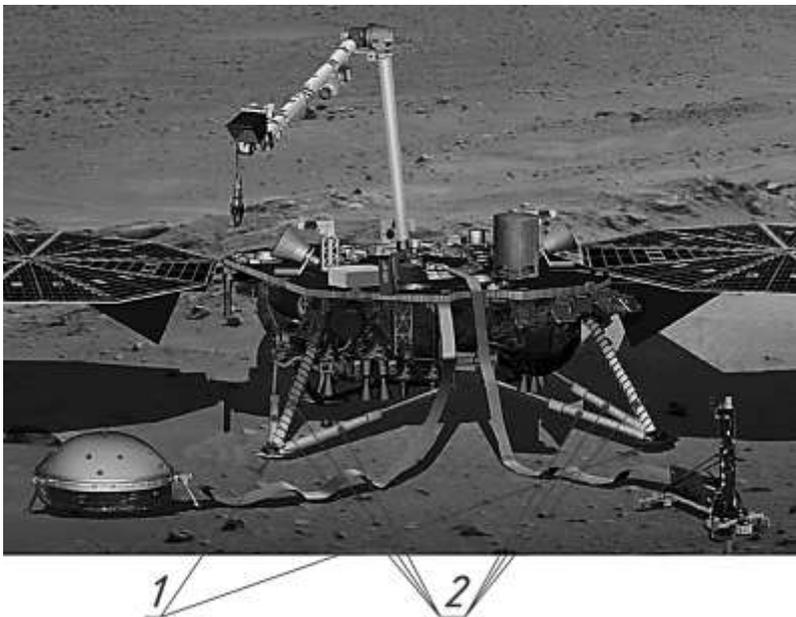
**Рисунок 2. Наплавочные прутки после микродугового оксидирования**

Высокая износостойкость поверхностного слоя титана с повышенным содержанием кислорода, полученным с использованием обработанных микродуговым оксидированием наплавочных прутков, при работе изделий в условиях высоких контактных давлений  $\sim 46$  МПа подтверждена экспериментально в работе [10].

В космической промышленности титановые сплавы чаще всего используются при изготовлении таких конструктивных элементов, которые испытывают значительные статические и вибрационно-динамические нагрузки, требующие более высокого предела текучести, чем могут обеспечить алюминиевые и магниевые сплавы, но при этом

такие детали не должны работать в условиях интенсивного износа, в виду невысокой твёрдости поверхности титановых сплавов и её склонности к адгезии.

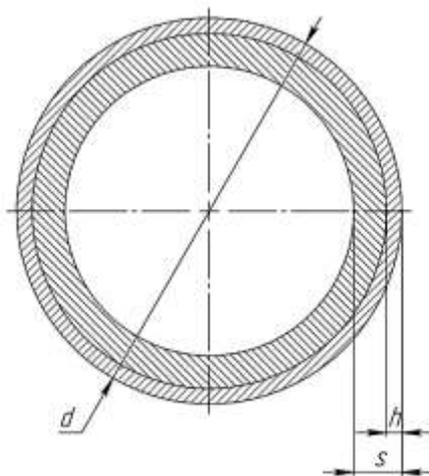
Помимо отдельных высоконагруженных деталей титановые сплавы применяют для изготовления крупногабаритных конструкций космических аппаратов, таких как переходные фермы и посадочные опоры.



**Рисунок 3. InSight Mars Lander [11]**  
**(марсианский посадочный модуль американского проекта «InSight»). 1 – посадочные опоры, 2 – стойки посадочных опор**

Посадочные опоры спускаемых модулей космических аппаратов (типовой внешний вид изображён на рис. 3) составляют значимую часть массы изделия и в зависимости от характеристик небесного тела, на которое осуществляется посадка, и динамики посадки, работают в условиях широкого спектра статических и вибрационно-динамических нагрузок. При высоконагруженном режиме работы целесообразно использовать вместо магниевых и алюминиевых сплавов титановые, в виду их больших предела текучести и ударной вязкости.

Благодаря использованию поверхностного микролегирования титановых сплавов кислородом с применением технологии микродугового оксидирования наплавочных прутков имеется возможность создавать детали, имеющие в своём составе вязкую и пластичную сердцевину и внешнюю поверхность повышенной прочности и твёрдости. В случае некрупных деталей целесообразно микролегировать их рабочие поверхности целиком, как изображено на рис. 4.



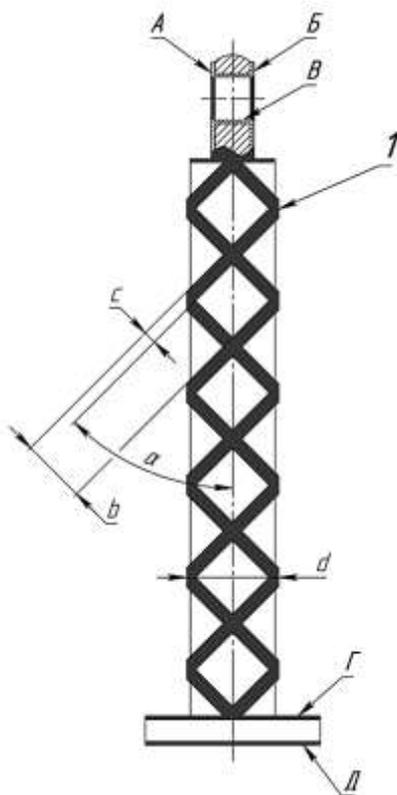
**Рисунок 4. Сечение стойки посадочной опоры.**  
***h*** – толщина наплавленного слоя титана, обогащённого кислородом; ***s*** – общая толщина стенки стойки; ***d*** – диаметр стойки

В таком случае, увеличение несущей способности детали в первом приближении будет зависеть от двух факторов:

1. Содержания кислорода в микролегированном слое титанового сплава толщиной  $h$  (зависимость прочностных свойств титанового сплава от содержания кислорода изображена на рис. 1).

2. Соотношения площадей сечения микролегированного слоя к общей площади сечения детали, которое в случае круглого сечения приобретает вид

$$(\pi d^2/4 - \pi(d - h)^2/4) / ((\pi d^2/4 - \pi(d - s)^2/4).$$



**Рисунок 5. Типовой силовой элемент посадочной опоры.  
 А, Б, В, Г, Д – привалочные поверхности;  $d$  – диаметр стойки;  
 I – наплавленный слой титана, обогащённый кислородом;  
 $c$ ,  $b$ ,  $\alpha$  – ширина, шаг и угол наклона площадки наплавленного  
 на цилиндрическую поверхность стойки слоя титана,  
 обогащённого кислородом, соответственно**

В случае протяжённой крупногабаритной детали для снижения трудоёмкости выполнения операций и избежания коробления детали от температурных деформаций при выполнении наплавки микролегирование следует проводить, как изображено на рис. 5, подвергая обработке привалочные поверхности, контактирующие с другими поверхностями деталей и требующие повышенной износостойкости, а также периферию испытывающей нагрузку цилиндрической поверхности с определённым шагом.

В таком случае, увеличение несущей способности детали в первом приближении будет зависеть от следующих факторов:

1. Содержания кислорода в микролегированном слое титанового сплава толщиной  $h$  (обозначена на рис. 4).

2. Соотношения толщины микролегированного слоя  $h$  и общей толщины стенки детали  $s$  (обозначены на рис. 4) с учётом диаметра цилиндрической части детали  $d$ .

3. Соотношения ширины наплавленной площадки  $c$  и шага наплавленных площадок  $b$ .

4. От величины  $2c \cdot \cos \alpha$ , характеризующей ширину наплавленного участка площадки в опасном сечении детали.

В целом, подобное расположение наплавленных площадок характеризуется фермоподобной конфигурацией упрочнённых участков титанового сплава и повышает демпфирующие свойства силового элемента посадочной опоры.

### Заключение

Предложенный способ микролегирования кислородом поверхности титановых сплавов с использованием обработанных микродуговым оксидированием наплавленных прутков применим при изготовлении протяжённых силовых упругих элементов космических аппаратов и обладает рядом преимуществ:

1. Позволяет обеспечить повышение твёрдости и износостойкости привалочных поверхностей конструкции.

2. В зависимости от соотношения геометрических параметров сечения и конфигурации детали и наплавленного слоя способен обеспечить требуемые характеристики материала детали в широком диапазоне, позволяет сформировать композитный материал с заранее заданным набором эксплуатационных свойств.

3. Позволяет упрочнять титановые сплавы, которые не упрочняются или недостаточно упрочняются термической обработкой, либо материал конструкций, непригодных к термической обработке вследствие своих массово-габаритных параметров.

4. Выполнение микролегирования не требует наличия сложного и дорогого технологического оборудования, и в случае упрочнения периферических поверхностей силовых элементов конструкции не требует последующей механической обработки.

5. Позволяет применять титановые сплавы в условиях, где применялись бы сплавы с большей плотностью, тем самым позволяя обеспечить снижение массы посадочного модуля космического аппарата.

К недостаткам предложенного способа следует отнести высокую квалификацию рабочего персонала, а также значительную трудоёмкость

процесса, что делает применение микролегирования кислородом экономически обоснованным лишь в единичном и мелкосерийном типе производства.

### Список литературы:

1. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учеб. для студентов вузов / В.С. Кушнер, Д.А. Негров, О.Ю. Бургонова, В.А. Схиргладзе, А.С. Верецака; под ред. В.С. Кушнера. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012. 447 с.
2. Чернега Д.Ф., Бялик О.М., Иванчук Д.Ф., Ремизов Г.А. Газы в цветных металлах и сплавах. – М.: Металлургия, 1982. 176 с.
3. Леонов В.П., Михайлов В.И., Грошев А.Л., Шаталов В.К., Фатиев И.С. Новые материалы для выполнения наплавки на детали судовой арматуры из титановых сплавов глубоководных транспортных систем // Вопросы материаловедения. – 2015. – № 1. – С. 263–268.
4. Шаталов В.К., Фатиев И.С., Михайлов В.И., Грошев А.Л. Антифрикционные наплавки на титановые сплавы // Наука и образование (электронный журнал МГТУ им. Н.Э. Баумана). – 2012. – № 5. – Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/383721.html> (дата обращения: 18.02.2017 г.).
5. Ушков С.С., Шаталов В.К., Фатиев И.С., Михайлов В.И., Козлов И.В., Щербинин В.Ф., Грошев А.Л. Способ оксидирования титанового сплава для антифрикционной наплавки. Пат. № 2367728 МПК С25D 11/26, 20.09.2009. Российская Федерация.
6. Козлов И.В., Михайлов В.И., Семенов В.А., Хромушкин К.Д., Фатиев И.С. Исследование качества оксидированного титанового сплава ПТ-7М, наплавленного с применением высокотемпературной прокатки // Вопросы материаловедения. – 2007. – № 3. – С. 214–217.
7. Шаталов В.К., Лысенко Л.В., Леонов В.П., Михайлов В.И., Грошев А.Л. Наплавка на поверхности деталей из титановых сплавов прутками, обработанными МДО // Главный механик. – 2015. – № 11. – С. 263–268.
8. Шаталов В.К., Грошев А.Л., Козлов И.В., Леонов В.П., Михайлов В.И., Фатиев И.С. Способ микродугового оксидирования присадочных прутков из титанового сплава для антифрикционной наплавки. Пат. № 2483146 МПК С25D 11/26, 27.05.2013. Российская Федерация.
9. Шаталов В.К., Артемьев А.В., Говорун Т.А., Штокал А.О., Рыков Е.В., Головачева Ю.Г., Карабахина Т.Ю. Перспективные способы упрочнения поверхностей деталей из титановых сплавов // Научное обозрение. – 2018. – Т. 19. – № 6. – С. 51–59.
10. Штокал А.О., Рыков Е.В., Головачева Ю.Г., Говорун Т.А. Испытание износостойкости деталей запорной арматуры в агрессивной среде // Главный механик. – 2016. – № 11. – С. 32–39.
11. National Aeronautics and Space Administration (NASA): сайт. Режим доступа: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/pia22226.jpg> (дата обращения: 10.02.2022 г.).

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:  
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Сборник статей по материалам LII международной  
научно-практической конференции*

№ 2 (52)  
Апрель 2022 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 14.04.22. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 4,125. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»  
123098, г. Москва, ул. Маршала Василевского, дом 5, корпус 1, к. 74  
E-mail: tech@nauchforum.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного  
оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3



НАУЧНЫЙ  
ФОРУМ  
[nauchforum.ru](http://nauchforum.ru)