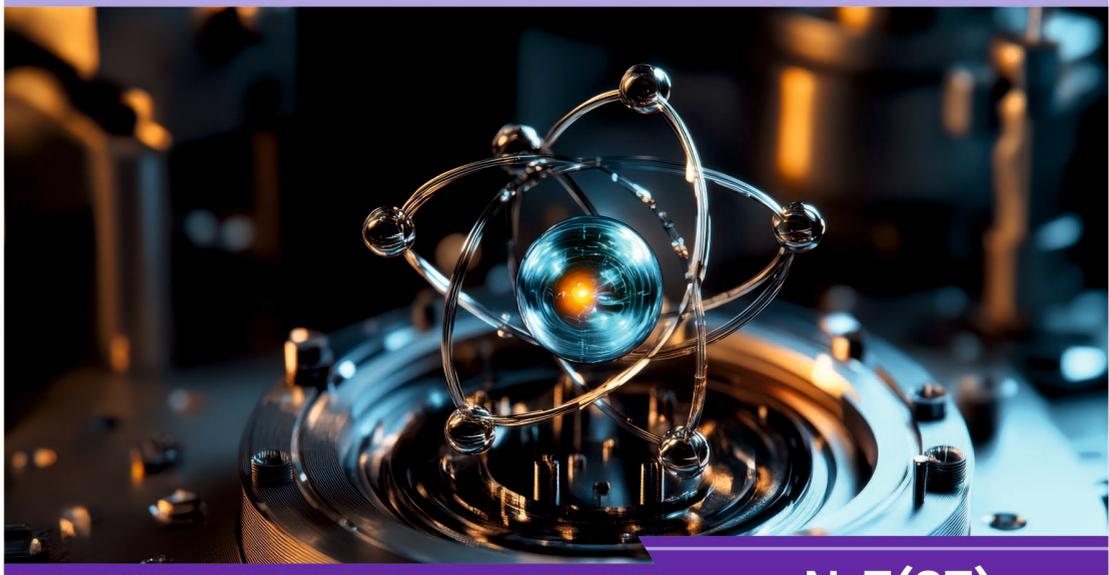




**НАУЧНЫЙ  
ФОРУМ**  
nauchforum.ru

ISSN: 2541-8394



**№7(87)**

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

МОСКВА, 2025



# НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

№ 7 (87)  
Август 2025 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва  
2025

УДК 51/53+62

ББК 22+3

Н34

Председатель редакционной коллегии:

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

Редакционная коллегия:

*Мартышкин Алексей Иванович* – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Вычислительные машины и системы» Пензенского государственного технологического университета;

*Немирова Любовь Федоровна* – канд. техн. наук, доц. кафедры конструирования и технологии изделий легкой промышленности, ГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет», ООО «МИНСП»;

*Старченко Ирина Борисовна* – д-р техн. наук, профессор, эксперт РАН, зам. директора по учебно-научной работе, Политехнический институт (филиал) ДГТУ в г. Таганроге;

*Усманов Хайрулла Сайдуллаевич* – д-р техн. наук, доцент, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан, г. Ташкент.

**Н34 Научный форум: Технические и физико-математические науки:** сб. ст. по материалам LXXXVII междунар. науч.-практ. конф. – № 7 (87). – М.: Изд. «МЦНО», 2025. – 52 с.

ISSN 2541-8394

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

ББК 22+3

ISSN 2541-8394

© «МЦНО», 2025

## **Оглавление**

**Технические науки** 5

**Раздел 1. Технические науки** 5

**1.1. Авиационная и ракетнокосмическая техника** 5

К ВОПРОСУ ЗАМЕНЫ МЕДНЕНИЯ ПРИПУСКОМ  
НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ  
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОРРОЗИОННО-  
СТОЙКИХ СТАЛЕЙ В РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ  
ТЕХНИКЕ 5  
Гончаров Владимир Владимирович

**1.2. Информатика, вычислительная техника и управление** 14

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ОТСУТСТВУЮЩИХ ЗНАЧЕНИЙ  
С ПОДСТАНОВКОЙ НУЛЯ В PROMQL И METRICSQL 14  
Казначеева Наталия Леонидовна  
Леньшина Дарья Сергеевна  
Кравцова Анна Александровна

**1.3. Машиностроение и машиноведение** 20

ВЗАИМОСВЯЗЬ СТЕПЕНИ ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ  
ПРИ СГОРАНИИ И КОЭФФИЦИЕНТА ИЗБЫТКА  
ВОЗДУХА В МОДЕЛЬНЫХ И РАБОЧИХ ЦИКЛАХ  
ТРАНСПОРТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ 20  
Стефановский Алексей Борисович

**1.4. Радиотехника и связь** 27

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ АТМОСФЕРНОЙ  
ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ ДЛЯ РЯДА СХЕМ  
ПЕРЕДАЧИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ 27  
Кузяков Борис Алексеевич

<b>Раздел 2. Физика</b>	<b>36</b>
<b>2.1. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества</b>	<b>36</b>
ЭНТРОПИЙНЫЕ КОНФОРМАЦИИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И В КОСМОЛОГИИ	36
Кораблев Григорий Андреевич Gregory Korablev	

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### РАЗДЕЛ 1. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### 1.1. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНОКОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

##### К ВОПРОСУ ЗАМЕНЫ МЕДНЕНИЯ ПРИПУСКОМ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОРРОЗИОННО- СТОЙКИХ СТАЛЕЙ В РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ

*Гончаров Владимир Владимирович*

*АО «НПО Лавочкина»,*

*РФ, г. Химки*

##### TO THE QUESTION OF REPLACING COPPER PLATING WITH MACHINING ALLOWANCE WHEN MANUFACTURING PARTS FROM CORROSION- RESISTANT STEELS IN AEROSPACE TECHNOLOGY

*Vladimir Goncharov*

*JSC NPO Lavochkina,*

*Russia, Khimki*

**Аннотация.** Специфика производства компонентов для космической техники определяет повышенные требования к качеству получаемых деталей. Поэтому любые нештатные ситуации в технологическом процессе изготовления деталей ответственного назначения являются поводом для пристального изучения. В данной статье рассматриваются вопросы исключения меднения как защитной операции от окисления

окончательно изготовленных деталей из коррозионностойких сталей при термической обработке, так как после металлизации возможно появление тёмных пятен на поверхности. Приводится оценка качества полученных деталей. Предложенные меры и проведённые исследования позволяют оптимизировать производственные затраты, что весьма востребовано для предприятий космической отрасли.

**Abstract.** The nature of aerospace technology components production demand higher quality standards. Thus, any contingency in technological process of critical components production is a cause for close analysis. This article deals with the issues of excluding copper plating as a protective operation against oxidation of final manufactured parts made of corrosion-resistant steels during heat treatment, because after metallization it is possible to appear dark spots on the surface. An assessment of the produced components quality is given. The study performed and solutions proposed allow for production cost optimization being in high demand by space industry companies.

**Ключевые слова:** коррозионностойкие стали, меднение, термическая обработка, окисление, припуск.

**Keywords:** corrosion-resistant steels, copper plating, heat treatment, oxidation, allowance.

## Введение

В ракетно-космической отрасли детали должны обладать высокой стойкостью к динамическим, вибропрочностным, ударным, акустическим, циклическим нагрузкам при требуемых (повышенных и/или пониженных) температурах эксплуатации. Необходимо тщательно изучать наиболее часто возникающие дефекты на изделиях, изготовленных по типовым технологическим процессам, с целью недопущения их в будущем. Поэтому качество поверхности окончательно изготовленных деталей для космических проектов [1] требует пристального внимания в течение всего процесса производства.

Детали из нержавеющей марок сталей, подвергаемых термообработке на твёрдость HRC не менее 40, по действующей технологии на термообработку поступают окончательно изготовленными. Поэтому для предупреждения образования окалины и выгорания легирующих элементов на поверхности деталей применяется меднение окончательно обработанных поверхностей. После термообработки и снятия меди периодически возникают трудно идентифицируемые пятна [2, 3], которые нужно удалять гидropескоструйной обработкой.

Окончательно изготовленные детали под слоем меди проходят термическую обработку, в процессе которой возникают внутренние фазовые и термические напряжения. Эти остаточные напряжения могут вызвать искажение формы (коробление) и изменение размеров изделия во время его обработки, эксплуатации или хранения.

Цель данной работы: исключить омеднение окончательно обработанных поверхностей деталей, оставляя минимально возможный припуск, величину которого необходимо определить. Величины припуска должно быть достаточно, чтобы удалить дефектный слой после термообработки, скорректировать химический состав поверхностного слоя и изменение размеров из-за фазовых превращений.

### Результаты исследований и их обсуждение

Исследования проводили на заготовках из нержавеющей сталей 40X13 (мартенситная сталь), 95X18 (мартенситная сталь), 16X16H3МАД (мартенсито-ферритная сталь). Образцы подготавливались на металлорежущих станках. Химический состав материалов определялся спектрометрами ДФС-500 и СПЕКС ЛАЭС модификации МАТРИКС. Твёрдость измерялась при помощи микротвердомера ПМТ-3, твердомера универсального МЕТОЛАБ 703. Размеры контролировались микрометром Mitutoyo (0–25 мм, 0,001 мм). Термическая обработка (ТО) заготовок проводилась в нагревательных камерных печах и соляных ваннах.

Размеры образцов для исследования представлены на рисунке 1. Химические составы исследуемых сталей представлены в таблицах 1-3.

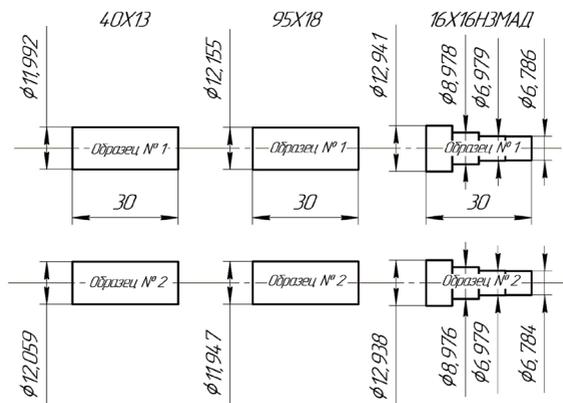


Рисунок 1. Исходные размеры образцов из коррозионностойких сталей

Таблица 1.

## Химический состав стали 40X13

сталь 40X13		химический состав, %				
но- мер об- разца	состояние материала	Cr	Mn	Si	Ni	C
ГОСТ 5632-2014		12,00– 14,00	≤0,80	≤0,80	–	0,36– 0,45
1	до ТО	13,1	0,45	0,3	0,2	0,39
	после ТО	12,83	0,39	0,51	0,19	0,35
	после ТО и после зачистки	12,81	0,45	0,3	0,2	0,36
	после ТО и после снятия материала 0,1 мм	13,18	0,40	0,32	0,22	–
2	до ТО	12,96	0,45	0,3	0,2	0,40
	после ТО	12,26	0,38	0,57	0,17	0,36
	после ТО и после зачистки	12,8	0,45	0,3	0,2	0,37
	после ТО и после снятия материала 0,2 мм	12,92	0,43	0,32	0,24	–

Таблица 2.

## Химический состав стали 95X18

сталь 95X18		химический состав, %				
но- мер об- разца	состояние материала	Cr	Mn	Si	Ni	C
ГОСТ 5632-2014		17,00– 19,00	≤0,80	≤0,80	–	0,90– 1,00
1	до ТО	17,43	0,28	0,58	0,23	0,95
	после ТО	17,03	0,22	0,70	0,2	0,91
	после ТО и после зачистки	17,17	0,28	0,57	0,24	0,94
	после ТО и после снятия материала 0,1 мм	18,11	0,23	0,37	0,16	–
2	до ТО	17,45	0,28	0,56	0,23	0,93
	после ТО	16,75	0,22	0,72	0,2	0,90
	после ТО и после зачистки	17,17	0,28	0,57	0,23	0,93
	после ТО и после снятия материала 0,2 мм	17,70	0,23	0,37	0,16	–

Таблица 3.

**Химический состав стали 16Х16НЗМАД**

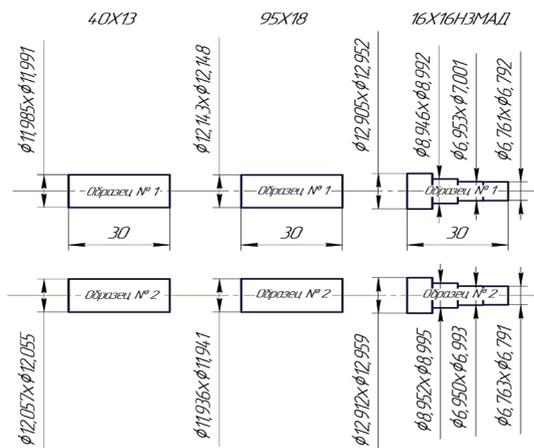
сталь 16Х16НЗМАД		химический состав, %						
номер образца	состояние материала	Cr	Mn	Si	Ni	Cu	Mo	C
		ТУ 14-1-3791-84	15,00–16,50	0,60–1,00	≤0,60	2,00–4,00	1,00–1,50	1,40–1,90
1	до ТО	15,7	0,64	0,27	2,49	1,12	1,40	0,15
	после ТО	14,9	0,62	–	2,12	1,07	1,34	0,13
	после ТО и после зачистки	14,9	0,61	0,18	2,27	1,06	1,34	0,14
	после ТО и после снятия материала 0,1 мм	15,24	0,65	0,17	2,31	1,05	1,46	–
2	до ТО	16,1	0,65	0,30	2,10	1,14	1,43	0,16
	после ТО	15,2	0,64	–	2,05	1,05	1,35	0,14
	после ТО и после зачистки	15,4	0,63	0,19	2,06	1,03	1,36	0,18
	после ТО и после снятия материала 0,2 мм	15,5	0,68	0,17	2,32	1,05	1,46	–

Для получения твёрдости не менее HRC 40 была проведена следующая термическая обработка:

- сталь 40Х13:
  - подогрев изделий перед закалкой: температура подогрева  $550 \pm 10^\circ\text{C}$ ; выдержка 17 мин; после прогрева был произведён быстрый перенос в соляную ванну для закалики,
  - закалка с непрерывным охлаждением: температура нагрева  $1040 \pm 10^\circ\text{C}$ ; выдержка 9 мин; охлаждение в масле,
  - низкотемпературный отпуск: температура нагрева  $200 \pm 10^\circ\text{C}$ ; выдержка 2 ч 30 мин; охлаждение на воздухе;
- сталь 95Х18:
  - подогрев изделий перед закалкой: температура подогрева  $550 \pm 10^\circ\text{C}$ ; выдержка 12 мин; после прогрева был произведён быстрый перенос в соляную ванну для закалики,
  - закалка с непрерывным охлаждением: температура нагрева  $1040 \pm 10^\circ\text{C}$ ; выдержка 10 мин; охлаждение в масле,

- обработка холодом: температура охлаждения минус  $60\pm 10^{\circ}\text{C}$ ; выдержка 2 ч 20 мин; выгрузка из установки на воздух,
- низкотемпературный отпуск: температура нагрева  $180\pm 10^{\circ}\text{C}$ ; выдержка 8 ч; охлаждение на воздухе;
- сталь 16X16H3МАД:
  - подогрев изделий перед закалкой: температура подогрева  $550\pm 10^{\circ}\text{C}$ ; выдержка 15 мин; после прогрева был произведён быстрый перенос в соляную ванну для закалки,
  - закалка с непрерывным охлаждением: температура нагрева  $1060\pm 10^{\circ}\text{C}$ ; выдержка 9 мин; охлаждение в масле,
  - обработка холодом: температура охлаждения минус  $60\pm 10^{\circ}\text{C}$ ; выдержка 2 ч 20 мин; выгрузка из установки на воздух,
  - низкотемпературный отпуск: температура нагрева  $180\pm 10^{\circ}\text{C}$ ; выдержка 2 ч 20 мин; охлаждение на воздухе.

После термической обработки была проведена очистка поверхности от окалины гидropескоструйной обработкой. Далее проводилось измерение размеров образцов (рисунок 2). Анализ изменения размеров представлен в таблице 4. Видно, что при взаимодействии металла при повышенной температуре с нагревательной средой и с атмосферой печи размеры уменьшились приблизительно до 0,01 мм. Исходя из этого необходимо для окончательного изготовления деталей оставлять припуск перед термической обработкой для нержавеющей сталей не менее 0,01 мм для восполнения потерь объёма металла.



**Рисунок 2. Размеры образцов после термической обработки**

Таблица 4.

Аналитика изменения размеров образцов

Сталь	Номер образца	Диаметр до ТО, мм	Диаметр после ТО, мм	Среднее значение, мм	Изменение диаметра, мм	Округление изменения до сотых, мм
40X13	1	11,992	11,985×11,991	11,988	0,004	0,00
	2	12,059	12,057×12,055	12,508	0,003	0,00
95X18	1	12,155	12,143×12,148	12,146	0,009	0,01
	2	11,947	11,936×11,941	11,939	0,008	0,01
16X16H3МАД	1	12,941	12,905×12,952	12,929	0,013	0,01
	1	8,978	8,946×8,992	8,969	0,009	0,01
	1	6,979	6,953×7,001	6,977	0,002	0,00
	1	6,786	6,761×6,792	6,777	0,009	0,01
	2	12,938	12,912×12,959	12,936	0,002	0,00
	2	8,976	8,952×8,995	8,974	0,003	0,00
	2	6,979	6,95×6,993	6,972	0,007	0,01
	2	6,784	6,763×6,791	6,777	0,007	0,01

Распределение химических элементов после термообработки представлено в таблицах 1–3 (см. «после ТО» и «после ТО и после зачистки»). Зачистка проводилась в спектральной лаборатории при помощи наждачной бумаги с зернистостью Р40 и поэтому глубина снятия поверхностного слоя не регламентировалась. Анализ данных показал, что во всех образцах сталей после термообработки произошло снижение содержания хрома. Обезуглероживание поверхности на образцах наблюдается незначительное, не выходящее за допустимый интервал технических требований.

В стали 16X16H3МАД содержание молибдена в исходном состоянии находилось на нижнем пределе. Поэтому после термической обработки произошло уменьшение содержания молибдена за рамки допустимых значений из-за воздействия высоких температур. Также в этой стали существенно уменьшилось содержание полезной примеси кремний.

Чтобы проверить верность утверждения об окончательном припуске более 0,01 мм для исследуемых коррозионностойких сталей была

произведена механическая обработка образцов со снятием слоя материала 0,1 мм и 0,2 мм. Практически окалина для сталей начинает образовываться при температуре от 500°C до 600°C. Толщина окалины и глубина обезуглероженного слоя растут с повышением температуры и времени выдержки. Толщина этого слоя бывает различная (у деталей из легированных сталей она до 0,5 мм, а из углеродистых сталей от 0,5 до 1,0 мм) в зависимости от конфигурации, габаритных размеров детали и других факторов. Для исследуемых коррозионностойких сталей, из-за их специфики, эта толщина меньше. Поэтому для данного исследования и был выбран припуск с размерами 0,1 мм и 0,2 мм.

Определение химического состава обработанных поверхностей на образцах после снятия слоя материала 0,1 мм и 0,2 мм и измерение твёрдости на них приведён в таблицах 1–3, 5.

Таблица 5.

## Твёрдость образцов после термической обработки

Номер образца	ТО образцы	После снятия материала	Твёрдость, HRC		
			ближе к периферии поверхности со стороны торца	между периферией и осью торца	ближе к оси торца
1	сталь 40X13	0,1 мм	HRC 40–41	–	HRC 46–48
2			HRC 42–43	–	HRC 46–48
1		0,2 мм	HRC 45–47	HRC 44–45	HRC 45–46
2					
1	сталь 95X18	0,1 мм	HRC 54–55	–	HRC 57–59
2			HRC 54–55	–	HRC 57–59
1		0,2 мм	HRC 52–54	HRC 53–55	HRC 54–55
2					
1	сталь 16X16H3МАД	0,1 мм	HRC 40–42	–	HRC 50–52
2			HRC 42–43	–	HRC 51–52
1		0,2 мм	HRC 45–47	HRC 51–53	HRC 53–54
2					

Наибольшее соответствие данных химического анализа и твёрдости требованиям нормативной документации наблюдается на поверхности образцов, обточенных на 0,2 мм.

Следовательно, для окончательно изготовленных деталей из сталей 40X13, 95X18, 16X16H3МАД перед термообработкой с учётом

разнообразного влияния атмосферы печи или среды нагрева (охлаждения) рекомендуется оставлять припуск не менее 0,2 мм на размер.

Для гарантированного обеспечения качества поверхностного слоя металла без омеднения в реальном производственном процессе рекомендуется оставлять припуск на механическую обработку не менее 0,5 мм. При этом характеристики подповерхностного слоя не будут отличаться от свойств основного металла после термообработки.

По данным экономистов цеха гальванических покрытий и термической обработки стоимость одного часа работы по нанесению меди на поверхность сталей равна 932,94 руб.·ч (данные 2024 года). Процесс меднения длится от девяти часов.

По данным экономистов механического цеха стоимость одного часа работы по снятию припуска 0,5 мм с размера коррозионностойких сталей равна 442,64 руб.·ч (данные 2024 года). Время снятия припуска составляет до одного часа.

Таким образом, с экономической точки зрения нанесение меди является более трудозатратным для производства, а также более длительным во времени, что однозначно оправдывает её замену припуском механической обработкой.

### **Заключение**

Детали из нержавеющей сталей марок 40X13, 95X18, 16X16НЗМАД, подвергающиеся термообработке на твёрдость HRC не менее 40 необходимо изготавливать с припуском не менее 0,5 мм, если конфигурация детали позволяет изготовить её без применения более затратной медной металлизации.

### **Список литературы:**

1. Ширшаков А.Е., Ефанов В.В., Моишеев А.А., Шостак С.В. Уникальные проекты коллектива НПО имени С.А. Лавочкина (к 85-летию предприятия) // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2022. № 2. С. 8-22.
2. Гончаров В.В., Севастьянов А.С., Григорьев П.С., Плаксин А.М. Возникновение тёмных пятен на поверхности деталей из коррозионностойкой стали 95X18 после термической обработки с меднением и пути решения этой задачи в ракетно-космической технике // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2024. № 3. С. 43-47. DOI 10.26162/LS.2024.87.63.006. EDN VIATKT.
3. Гончаров В.В., Севастьянов А.С., Григорьев П.С., Плаксин А.М. О механизмах образования темных дефектов на поверхности деталей из нержавеющей стали 95X18 после термической обработки под слоем меди // Заготовительные производства в машиностроении. 2024. Т. 22, № 7. С. 328-332. DOI: 10.36652/1684-1107-2024-22-7-328-332.

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

### **МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ОТСУТСТВУЮЩИХ ЗНАЧЕНИЙ С ПОДСТАНОВКОЙ НУЛЯ В PROMQL И METRICSQL**

***Казначеева Наталия Леонидовна***

*канд. экон. наук, проф.,  
Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики,  
РФ, г. Новосибирск*

***Леньшина Дарья Сергеевна***

*студент,  
Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики,  
РФ, г. Новосибирск*

***Кравцова Анна Александровна***

*студент,  
Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики,  
РФ, г. Новосибирск*

### **METHODS FOR HANDLING MISSING VALUES WITH ZERO SUBSTITUTION IN PROMQL AND METRICSQL**

***Kaznacheeva Natalia Leonidovna***

*Candidate of economic sciences, professor,  
Siberian State University  
of Telecommunications and Informatics,  
Russia, Novosibirsk*

***Lenshina Daria Sergeevna***

*Student,  
Siberian State University  
of Telecommunications and Informatics,  
Russia, Novosibirsk*

**Kravtsova Anna Aleksandrovna**

*Student,  
Siberian State University  
of Telecommunications and Informatics,  
Russia, Novosibirsk*

**Аннотация.** В статье рассматриваются методы обработки отсутствующих данных в результатах метрик Prometheus и VictoriaMetrics. Определяются технические и логические особенности интерпретации «no data», предлагаются практические подходы через языки запросов PromQL и MetricsQL. Помимо этого, уделяется внимание преимуществам и недостаткам функций, используемых в решении проблем. Приводятся примеры запросов с подстановкой нулевых значений. Описываются рекомендации по проектированию дашбордов и настройке алертов с учетом особенностей системы.

**Abstract.** The article discusses methods for processing missing data in the results of Prometheus and VictoriaMetrics metrics. Technical and logical features of interpreting "no data" are defined, and practical approaches are proposed through the PromQL and MetricsQL query languages.

**Ключевые слова:** Prometheus, PromQL, VictoriaMetrics, MetricsQL, мониторинг, метрики, алерты.

**Keywords:** Prometheus, PromQL, VictoriaMetrics, MetricsQL, monitoring, metrics, alerts.

В системах с развитой микросервисной архитектурой мониторинг и анализ метрик становятся необходимыми для отслеживания состояния системы и её поведения. Метрики являются числовыми показателями, отражающими работу сервиса. Все данные собираются в реальном времени, затем анализируются и используются для выявления аномалий, построения графиков и настройки оповещений (алертов).

Современные системы мониторинга основываются на метриках с применением специализированных СУБД, таких как Prometheus и VictoriaMetrics. С помощью метрик можно количественно отслеживать поведение системы: количество HTTP-запросов, среднее время ответа, количество ошибок, загрузку CPU и прочее. Благодаря собранным данным инженерам удастся оперативно реагировать на проблемы, а бизнес-стороне принимать решения на основе фактических показателей работы системы.

Одна из наиболее частых практических проблем при работе с метриками – отсутствие данных в результатах запросов. Например, подобная ситуация может возникнуть, когда сервис не отправляет значение

по определённой метке. В таком случае система мониторинга интерпретирует значение как «no data», но с точки зрения бизнес-логики это может означать лишь отсутствие активности. В инструменте визуализации Grafana такие ситуации могут проявиться как пробел на графике, или – некорректная работа алертов. В связи с этим очень важно обрабатывать значение 0 в логических обоснованных случаях [1].

PromQL является основным языком запросов в системе мониторинга Prometheus. Для подстановки нуля вместо отсутствующих данных в ответах запроса часто используется выражение «OR on() vector(0)». Его работа заключается в следующем: в случае, когда отсутствуют результаты основного выражения, система вернет ноль, подставленный из искусственно созданного временного ряда. При этом имеются ограничения: корректная работа будет достигнута только при запросах к одиночным временным рядам. При наличии множества лейблов (job, status, instance) возможно появление побочных эффектов, включая генерацию дополнительных рядов с неполными или пустыми метками.

MetricsQL – это язык запросов, используемый в системе VictoriaMetrics. В отличие от PromQL, он предоставляет более элегантный механизм обработки отсутствующих значений с помощью оператора «default 0», который, в свою очередь, автоматически подставляет ноль вместо отсутствующих данных, но при этом сохраняется исходная структура меток. Данный подход является особенно эффективным при построении многомерных графиков и таблиц, содержащих обширные множества лейблов. Однако, при этом следует учитывать, что MetricsQL не является полной реализацией PromQL. Поскольку имеются отличия в реализации агрегирующих функций, механизмах фильтрации и правилах обработки значений NaN - степень совместимости между языками оценивается ориентировочно в пределах 72-74 %.

На практике работа с отсутствующими данными в системе мониторинга зачастую оказывается более значимой, чем это может показаться на первый взгляд. Так, в одной из крупных платформ интернет-торговли, реализованной на основе микросервисной архитектуры, было зафиксировано нестабильное срабатывание алертов, отслеживающих ошибки при оплате. При анализе выяснилось, что периоды, когда платёжный сервис не регистрировал события, соответствующая метрика не поступала в систему мониторинга. Визуализатор Grafana отображал такие участки «пустыми» (no data), в то время как система оповещений интерпретировала это как отсутствие проблем. Фактически, сервис пребывал в нерабочем состоянии, но это оставалось незамеченным. Решением данной проблемы стало использование конструкции «OR on() vector(0)» в PromQL – удалось явно интерпретировать отсутствие значений как нулевую активность и алерты стали работать корректно [2].

**Пример 1.** Запрос PromQL с подстановкой нуля:

```
sum(rate(http_requests_total{job="app",status="500"}[5m])) OR  
on(job, status) vector(0)
```

Помимо этого, подобное поведение наблюдается в визуализации с использованием Grafana: при отсутствии данных линия графика обрывается или отображается как NaN – это является серьезной проблемой и дезинформирует, особенно, если пользователь работает с загруженными дашбордами в режиме реального времени. Для устранения данной проблемы необходимо подставить нулевое значение на уровне самого запроса, но ни в коем случае не пытаться убирать пробелы в графике «визуально» средствами отображения.

В языке MetricsQL, используемом в VictoriaMetrics, аналогичная задача решается более удобным способом, используя оператор «default». Пример запроса:

**Пример 2.** Запрос PromQL с подстановкой нуля:

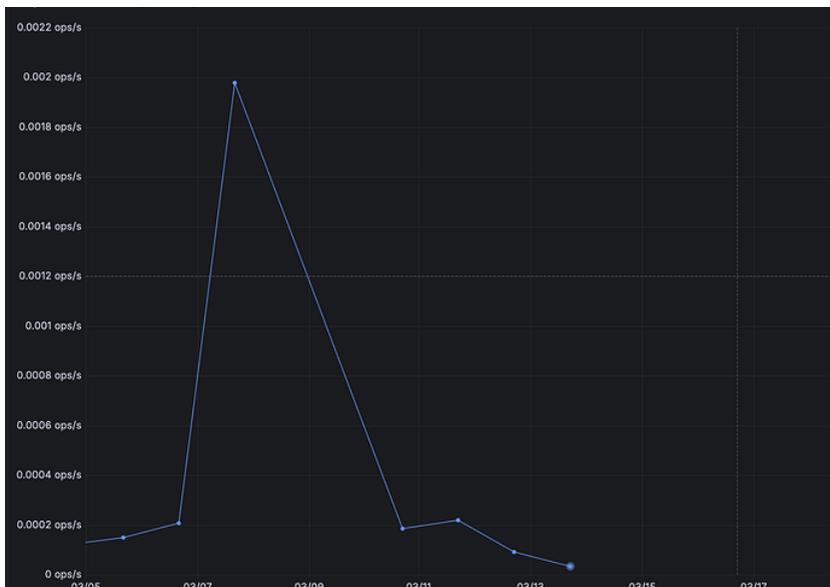
```
sum(rate(http_requests_total{status="500"}[5m])) default 0
```

Благодаря данному выражению эффективно сохраняется структура временных рядов, даже в ситуации, когда данные отсутствуют при отдельных сочетаниях лейблов (job, status или instance). Данная структура важна при построении таблиц, многомерных визуализациях или дашбордах, где полное представление данных критично для анализа [3].

Помимо этого, корректная интерпретация отсутствующих значений играет ключевую роль в отчётности и автоматизированной аналитике. Так, например, при формировании метрик доступности (SLA [5]), критичными являются даже кратковременные разрывы в данных. Неправильная интерпретация отсутствия метрик как нормального состояния может привести к снижению чувствительности мониторинга и риску нарушения обязательств по SLA [4].

Подход к обработке отсутствующих значений в мониторинговых системах не должен сводиться к техническому обходному решению, поскольку он должен быть частью системной стратегии, где важна не только визуализация, но и их корректная интерпретация в прикладном контексте.

Следует учитывать, что отсутствие метрики не всегда указывает на сбой, поскольку в ряде случаев оно отражает нормальное поведение системы. Так, при отсутствии HTTP-запросов с кодом 500 метрика `http_requests_total{status="500"}` не появляется – это не считается ошибкой. Но, в то же время, исчезновение метрики `up`, которая отвечает за состояние экспортёра, в свою очередь свидетельствует о проблеме недоступности узла и требует немедленного вмешательства. Необдуманная подстановка нулевого значения вместо отсутствующего, без логичного анализа, может исказить реальную ситуацию.



**Рисунок 1. Различие между "no data" и нулевыми значениями в графике мониторинга**

На графике имеются сегменты, где отсутствуют точки данных, и сегменты, где визуализируется серия с нулевыми значениями – эти участки отображаются как нулевой уровень и воспринимаются как отсутствие активности, а не ошибка.

При проектировании и визуализации алертов большое внимание стоит уделять контексту, поскольку автоматическая подстановка нуля может быть оправдана для графиков, отражающих количественную активность, но в то же время не следует допускать этого в критичных дашбордах. Подобные ошибки особенно чувствительны в отчётности по SLA и в бизнес-метриках, где даже кратковременное снижение значений оказывает влияние на ключевые показатели.

Таким образом, корректная обработка отсутствующих данных является важным для архитектуры системы и логики метрик. Эффективный мониторинг – это не только сбор и отображение информации, но и осмысленная интерпретация данных. Благодаря грамотной обработке отсутствующих значений мониторинговые системы сохраняют устойчивость к ошибкам, обеспечивают достоверность визуализации и снижают риск

пропуска критических событий. Применение функций PromQL и MetricsQL требует предварительного внимательного изучения метрик и их бизнес-значению в конкретной системе [5].

### Список литературы:

1. Антиферов Н. PromQL: как вернуть 0 вместо «no data» [Электронный ресурс] // Medium. – 2020. – Режим доступа: <https://nklya.medium.com/promql-how-to-return-0-instead-of-no-data-9e49f7ccb80d> (дата обращения 23.07.2025)
2. Volz J. Dealing with Missing Time Series in Prometheus [Электронный ресурс] // PromLabs. – 13 сентября 2023. – Режим доступа: [https://promlabs.com/blog/2023/09/13/dealing-with-missing-time-series-in-prometheus/?utm\\_source=chatgpt.com](https://promlabs.com/blog/2023/09/13/dealing-with-missing-time-series-in-prometheus/?utm_source=chatgpt.com) (дата обращения 25.07.2025)
3. Prometheus сообщество. Trigger an alarm when no data received or no more data received [Электронный ресурс] // Discuss Prometheus. – 6 ноября 2023. – Режим доступа: <https://discuss.prometheus.io/t/trigger-an-alarm-when-no-data-received-or-no-more-data-received/1989/1> (дата обращения 24.07.2025)
4. Хавроненко Р. VictoriaMetrics: соответствие PromQL [Электронный ресурс] // Medium. – 2021. – Режим доступа: <https://medium.com/@romanhavronenko/victoriametrics-promql-compliance-d4318203f51e> (дата обращения 23.07.2025)
5. Service Level Agreement – соглашение об уровне обслуживания, заключаемое между поставщиком услуг и клиентом.

### 1.3. МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

#### ВЗАИМОСВЯЗЬ СТЕПЕНИ ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПРИ СГОРАНИИ И КОЭФФИЦИЕНТА ИЗБЫТКА ВОЗДУХА В МОДЕЛЬНЫХ И РАБОЧИХ ЦИКЛАХ ТРАНСПОРТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

*Стефановский Алексей Борисович*

*канд. техн. наук, доц.,*

*Мелитопольский государственный университет,*

*РФ, г. Мелитополь*

#### INTERRELATION OF THE COMBUSTION PRESSURE INCREASE RATE AND THE AIR EXCESS COEFFICIENT IN MODEL AND OPERATING CYCLES OF VEHICLE DIESEL ENGINES

*Alexei Stefanovsky*

*Candidate of Science, Associate Professor,*

*Melitopol State University,*

*Russia, Melitopol*

**Аннотация.** На совокупности результатов моделирования рабочего цикла и экспериментальных исследований транспортных дизелей (всего около 70 случаев) показано, что степень повышения давления при сгорании (СПДС) и коэффициент избытка воздуха (КИВ), являющиеся постоянными параметрами теплового расчёта дизеля, взаимосвязаны с коэффициентом корреляции около 90 %. Приведены параметры и показатели точности вариантов линейной регрессии СПДС на КИВ, а также альтернативных степенных функций.

**Abstract.** Based on the totality of the results of modeling the operating cycle and experimental studies of vehicle diesel engines (about 70 cases in total), it is shown that the combustion pressure increase rate (CPIR) and the air excess coefficient (AEC), which are constant parameters of the diesel engine thermal calculation, are interrelated with the correlation coefficient of about 90 %. The parameters and accuracy indicators of variants of the linear regression of CPIR on AEC as well as alternative power functions are considered.

**Ключевые слова:** степень повышения давления при сгорании, коэффициент избытка воздуха, цикл, дизель.

**Keywords:** combustion pressure increase rate, air excess coefficient, cycle, diesel engine.

Степень достоверности классического теплового расчёта (ТР) дизеля зависит во многом от правильности выбора значений постоянных параметров, участвующих/используемых на разных стадиях этого расчёта. К этим параметрам, в частности, относятся коэффициент избытка воздуха (КИВ)  $\alpha_{\text{ив}}$  и степень повышения давления при сгорании (СПДС)  $\lambda_z$ .

КИВ пропорционален отношению массовых расходов  $G$  воздуха и топлива, поступающих в цилиндры дизеля и участвующих в сгорании, или отношению масс  $m$  этих веществ, расходуемых в течение одного рабочего цикла:

$$\alpha_{\text{ив}} \sim G_{\text{возд}}/G_{\text{T}} = m_{\text{возд}}/m_{\text{T}}, \quad (1)$$

где масса топлива  $m_{\text{T}}$  называется «цикловой подачей топлива» (но топливный насос дизеля подаёт определённый *объём* топлива при каждом нагнетании). Чем ниже КИВ, тем выше при прочих равных условиях получается расчётная максимальная температура  $T_z$  рабочего тела (РТ) в цикле. В дизелях снижение КИВ ограничивается допустимым уровнем дымления отработавших газов, а номинальное значение КИВ (используемое в классическом ТР) обычно находится в пределах 1,5...2,0 [7, с. 31].

СПДС равна отношению двух характерных значений давления РТ: наибольшего  $p_z$  (или  $p_{\text{max}}$ ), достигаемого в цикле, и давления  $p_c$ , достигаемого при положении поршня в верхней мёртвой точке (ВМТ) в том случае, когда сгорание не происходит или начинается поздно, когда поршень уже удаляется от головки цилиндра:

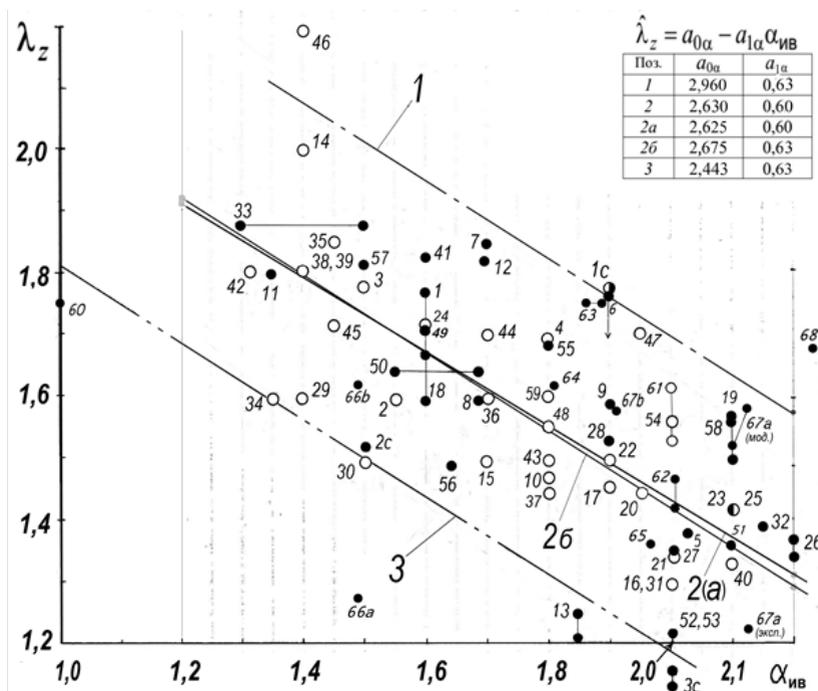
$$\lambda_z = p_z/p_c. \quad (2)$$

Этот параметр выбирается в несколько более широких пределах – около 1,2...2,5 [7, с. 39]. При этом может учитываться влияние на него других факторов – скоростного режима дизеля, угла опережения начала впрыскивания топлива форсункой, давления наддува [10, с. 23] и др. Известны способы увязать величину СПДС с продолжительностью периода задержки самовоспламенения и так называемым фактором динамичности цикла [8, с. 141-142], а также с другими параметрами ТР [5, с. 6-7]. В последнем случае достигнут предел абсолютной

погрешности вычисления СПДС 0,06, что можно считать хорошей точностью, но используемое Кононенко С.Г. выражение излишне сложно для учебных расчётов. Согласно нему, с повышением КИВ расчётная СПДС должна уменьшаться, что подтвердила настоящая работа.

Цель работы – предложить простые выражения, увязывающие СПДС и КИВ на основе накопленных сведений о постоянных параметрах ТР, результатах уточнённого моделирования рабочих циклов и экспериментальных исследований транспортных дизелей.

О наличии линейной статистической связи – корреляции – между СПДС и КИВ, в рамках исследованного массива указанных сведений [9, с. 7-14], свидетельствует график (на рисунке).



1 и 3 – для повышенных и пониженных значений СПДС; 2 – для основной области точек (также а – кроме классического ТР, б – для классического ТР)

**Рисунок 1. Варианты линейной регрессии СПДС на КИВ для совокупности сведений о транспортных долях**

На графике светлые точки соответствуют известным случаям классического ТР, а тёмные – результатам уточнённого моделирования рабочего цикла и экспериментальным исследованиям различных транспортных дизелей. Номера точек соответствуют принятым в базе данных для различных дизелей и трёх рабочих циклов (точки 1с, 2с и 3с) [9, с. 7-14]. Почти 70 % точек образуют основную подгруппу или так называемый «мейнстрим». Варианты значений коэффициентов уравнения линейной регрессии СПДС на КИВ указаны в табличке на поле графика. Хотя свободный коэффициент  $a_{0\alpha}$  не является постоянным и отклоняется в пределах около  $\pm 10\%$  от среднего значения 2,63, угловой коэффициент  $a_{1\alpha}$  изменяется намного слабее – в пределах от 0,60 до 0,63, или около  $\pm 2,5\%$ . Показатели точности вариантов линейной регрессии, а также альтернативных форм степенной функции приведены в таблице.

Таблица 1.

**Варианты линейной регрессии СПДС на КИВ, альтернативных степенных функций и их показатели точности**

Номер линии на графике	Формула для линии (зависимая переменная $\lambda_{\alpha}$ , независимая $X = \sigma_{\text{КВ}}$ )	$10^2 \cdot \text{КК}$	СКО $\sigma$	Пределы ОП, %		САОП, %	Отнош. макс.  АП  к СКО	Средние	
				от	до			КИВ	СПДС
1	$2,960 - 0,63X$	-91,8	0,0732	-8,0	+5,7	3,4	1,84	1,874	1,759
2	$2,630 - 0,60X$	-87,4	0,0836	-10,6	+11,7	4,44	1,95	1,791	1,568
2а	$2,625 - 0,60X$	-88,5	0,0881	-11,0	+11,3	4,6	1,9	1,814	1,569
2б	$2,675 - 0,63X$	-87,9	0,0790	-9,3	+9,5	4,14	1,95	1,761	1,567
3	$2,443 - 0,63X$	-97,8	0,0442	-5,4	+5,2	2,60	1,82	1,6725	1,387
вм. 1	$2,58X^{-0,61}$	93,2	0,0653	-6,4	+5,2	3,0	-	1,874	1,759
вм. 2	$2,21X^{-0,65}$	86,7	0,0924	-11,0	+11,5	4,74	-	1,791	1,568
вм. 3	$1,90X^{-0,67}$	93,8	0,0754	-8,5	+8,6	4,04	-	1,6725	1,387

Обозначения: АП – абсолютная погрешность (разность вычисленной и фактической СПДС); вм. – вместо; КК – коэффициент корреляции; ОП – относительная погрешность (вычисленной СПДС относительно

фактической); САОП – средняя по абсолютной величине ОП; СКО – среднеквадратичное отклонение (для совокупности точек).

Параметр «Отнош. макс. |АП| к СКО» показывает, каково наибольшее вертикальное расстояние от линии регрессии до точки совокупности, выраженное в единице, равной СКО. Для всех вариантов регрессии расстояние от линий до наиболее удалённых кверху точек было немного больше, чем от линий до точек, наиболее удалённых вниз. В целом, точки подгрупп рассеивались около линий регрессии в пределах примерно плюс-минус два СКО. Для верхней подгруппы точек несколько лучшую точность описания даёт степенная функция с показателем функции – 0,61. Для других подгрупп точек описание линейной функцией оказывается точнее, чем степенной. В тех случаях, когда значение СПДС не приводилось в первоисточниках сведений о дизелях, оно вычислялось с помощью формулы (2) на основе известных значений давления РТ. Вследствие их неопределённости, при этом в ряде случаев получался интервал возможных значений СПДС (например, для точек 1, 18, 19 и др.). Для точек 33 и 50, относившихся к дизелям Ч 8,5/11 и 11/13, наоборот, при известной СПДС имелась неопределённость КИВ. В области "мейнстрима" пары значений КИВ и СПДС, выбранные при классическом ТР дизелей, удовлетворительно согласуются с координатами точек для уточнённого моделирования циклов и испытаний транспортных дизелей.

Наиболее взаимно удалённые точки на графике, не относящиеся к случаям классического ТР, таковы. Точка 66а, не включённая в нижнюю подгруппу, соответствует уточнённому моделированию цикла малогабаритного дизеля 1Ч 8,5/8,0, давшему аномально низкое значение СПДС по сравнению с наблюдавшимся экспериментально (точка 66б) [3, с. 89]. Точка 60 относится к дизелю 1Ч 13/14,2, сведения о рабочем цикле которого опубликованы Кавтарадзе Р.З. на основе работы немецкого исследователя Augustin U. [4, с. 259]; согласно этим данным, двигатель, возможно, работал при необычно богатом составе рабочей смеси,  $\alpha \approx 1,0$ . Положение точки 60 на графике позволило включить её в нижнюю подгруппу и косвенно свидетельствует о возможности данного случая. Точки 3с с наиболее низкими значениями СПДС (около 1,15) относятся к циклу экспериментального дизеля со специально сконструированным поршнем, наблюдавшемуся перед сбросом нагрузки [11, с. 340; в изд. 2005 г. – с. 376]. Наконец, крайняя правая точка 68 относится к моделированию цикла тепловозного дизеля 1А-5Д49 (16ЧН 26/26) при турбонаддуве средней интенсивности, а более интенсивный турбонаддув в аналогичном двигателе 2А-5Д49 приводил к заметному снижению СПДС – это точки 67а (при моделировании) и 67б (в эксперименте) [1, с. 71 и 78-84]. Анисимовым А.С. также опубликован график изменения давления РТ в цикле стационарного

дизеля 8ЧН 13/14, работавшего при 0,76 номинальной мощности Нен, но без указания значения КИВ [1, с. 87-90]. Согласно этому графику, СПДС равна примерно 1,15; если предположить, что при работе данного двигателя с недогрузкой 24 % КИВ находится в пределах 2,0...2,1 [2, с. 191; 6, с. 98], то соответствующая пара точек оказалась бы на графике зависимости СПДС от КИВ вблизи точек 3с, попав в нижнюю подгруппу. Но если бы КИВ был выше 2,1, то точка попала бы уже в нижнюю зону «мейнстрима». Можно ожидать некоторого увеличения СПДС при номинальном режиме работы этого двигателя и возможного смещения соответствующей точки влево, вдоль линии 3, но график давления РТ для этого режима не опубликован.

Таким образом, для использования в тепловом расчёте (ТР) транспортных дизелей рекомендованы три варианта линейной регрессии СПДС на КИВ, обеспечивающие среднюю относительную погрешность вычисления СПДС около 3-5 % в пределах подгрупп точек. Альтернативные степенные функции КИВ, приведённые в таблице, позволяют корректировать СПДС при некотором изменении КИВ в пределах данной подгруппы точек. Если нет оснований относить исследуемый дизель (его действительный или моделируемый цикл) к верхней или нижней подгруппам, то следует использовать варианты линейной регрессии для «мейнстрима»: 2 – в целом для всех его случаев, 2а – для уточнённого моделирования цикла и экспериментальных исследований дизелей и 2б – для случаев ТР. При этом пределы относительной погрешности вычисления СПДС могут достигать 11-12 %, что допустимо в учебных расчётах. Главное здесь – исключить произвольный выбор значения СПДС, противоречащего практике моделирования циклов и экспериментальных исследований транспортных дизелей.

### Список литературы:

1. Анисимов А.С. Разработка научных основ повышения эксплуатационных показателей тепловозов посредством применения смесового углеводородного топлива и управления эффективной мощностью энергетической установки : Дис... докт. техн. наук/ ОмГУПС (ОмИИТ). – Омск, 2024. – 313 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания : Учеб. для вузов / А.С. Хачиян [и др.]; под ред. В.Н. Луканина. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1985. - 312 с.
3. Елагин М.Ю., Хмелев Р.Н. Основы математического моделирования рабочих процессов в двигателях внутреннего сгорания : учебное пособие. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2023. – 151 с.
4. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы : Учеб. для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 720 с.

5. Кононенко С.Г. Исследование рабочего процесса четырехтактного дизеля, имеющего поршень специальной конструкции, обеспечивающий автоматическое изменение степени сжатия, с целью ограничения наибольшего давления газов в цилиндре при наддуве : Автореферат дис... канд. техн. наук. / Горьк. ин-т инженеров водного транспорта. – Горький, 1969. – 25 с.
6. Костин А.К. Работа дизелей в условиях эксплуатации / А.К. Костин, Б.П. Пугачев, Ю.Ю. Кочинев; под общ. ред. А.К. Костина. – Л.: Машиностроение, Ленинградск. отд., 1989. – 286 с.
7. Николаенко А.В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей. - М.: Колос, 1984. - 336 с.
8. Портнов Д.А. Быстроходные турбопоршневые двигатели с воспламенением от сжатия. Теория, рабочий процесс и характеристики. – М.: Машгиз, 1963. – 640 с.
9. Стефановский А.Б. Максимальная температура рабочего тела в результатах моделирования и экспериментальных исследований рабочего процесса транспортных дизелей. Справочное пособие. – 2-е изд., доп. – Мелитополь, 2025. – 32 с. – (Сведения о дизелях №66-68 помещены в дополнении к этому изданию.)
10. Стефановский А.Б. Расчёт параметров рабочего цикла, его показателей и номинальных показателей автотракторного дизеля. Расчётно-графическая работа : Учебное пособие по дисциплине «Тракторы и автомобили»... – 3-е изд., испр. – Мелитополь, 2024. – 99 с.
11. Шароглазов Б.А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов / Б.А. Шароглазов, М.Ф. Фарафонов, В.В. Клементьев; под ред. Б.А. Шароглазова. – Челябинск: изд. ЮУрГУ, 2004. – 344 с. – (Также изд. 2005 г. – 403 с.)

## 1.4. РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

### ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ АТМОСФЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ ДЛЯ РЯДА СХЕМ ПЕРЕДАЧИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

**Кузяков Борис Алексеевич**

канд. физ.-мат. наук, доц.,  
Лазерная ассоциация Российской  
Федерации, РТУ МИРЭА,  
РФ, г. Москва

### CAPACITY OF ATMOSPHERIC OPTICAL COMMUNICATION LINES FOR A NUMBER OF TRANSMISSION SYSTEMS OF TELECOMMUNICATION SIGNALS

**Boris Kuzyakov**

*Candidate of Physical and Mathematical  
Science, Associate Professor, MIREA –  
Russian Technological University,  
Moscow; Laser Association of the Russian Federation,  
Russia, Moscow*

**Аннотация.** Представлены основные преимущества использования систем атмосферной оптической линии связи (АОЛС). Показаны отличия пропускной способности АОЛС для разных конфигураций системы и разнообразных параметров. Приведены варианты ряда аппроксимаций пропускной способности разными функциями для условий относительно сильной турбулентности.

**Abstract.** The article presents the main advantages of using atmospheric optical communication line (AOCL) systems. The article shows the differences in the AOCL capacity for different system configurations and various parameters. The article presents variants of a number of approximations of the capacity by different functions for conditions of relatively strong atmospheric turbulence.

**Ключевые слова:** атмосферная, оптическая, линия связи, преимущества, пропускная способность, отличия, варианты, аппроксимация, функция, турбулентность атмосферы.

**Keywords:** atmospheric, optical, communication line, advantages, throughput, differences, options, approximation, function, atmospheric turbulence.

**Введение.** Работа системы Free Space Optics (FSO) или атмосферной оптической линии связи (АОЛС) основана на беспроводной передаче данных в оптическом диапазоне в земной атмосфере. Верхняя граница радиоспектра, на который необходимо получать разрешение на его использование, - 400 ГГц. Частоты, используемые в АОЛС, на несколько порядков выше. Поэтому использование оборудования АОЛС не требует никаких дополнительных разрешительных мероприятий, что доказывает большую привлекательность применения такой технологии и оборудования в телекоммуникационных системах.

**Базовые особенности.** В основе беспроводных оптических систем лежат технологии организации высокоскоростных каналов связи посредством инфракрасного излучения, которые делают возможной передачу данных (текстовые, звуковые, графические данные) между объектами через атмосферное пространство, предоставляя оптическое соединение без использования стекловолокна [3-4, 11]. Лазерная связь двух объектов осуществляется только посредством соединения типа «точка - точка». Технология основывается на передаче данных модулированным излучением в инфракрасной части спектра через атмосферу. Передатчиком, как правило, служит высокоомощный полупроводниковый лазерный диод. Входной электрический сигнал поступает в приёмно-передающий модуль, в котором кодируется различными помехоустойчивыми кодами, модулируется оптическим лазерным излучателем и фокусируется оптической системой передатчика в узкий коллимированный лазерный луч и передается в атмосферу. На принимающей стороне оптическая система фокусирует оптический сигнал на высокочувствительный фотодиод (или лавинный диод), который преобразует оптический пучок в электрический сигнал. Далее сигнал демодулируется и преобразуется в сигналы выходного интерфейса. Длина волны в большинстве реализованных систем варьируется в диапазонах 700 - 950 нм или 1530 - 1560 нм (рисунок 1).



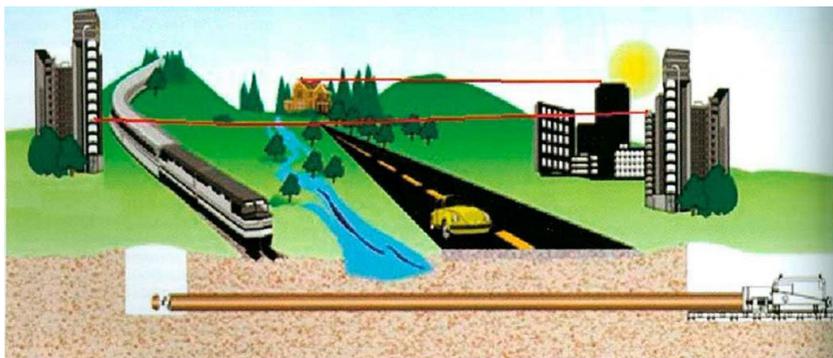
**Рисунок 1. Варианты конструкции передающего и приёмного (справа) модулей системы АОЛС**

Оборудование поддерживает определённые стандарты: Ethernet, FastEthernet, G.703 и его работане зависит от действующих протоколов. Универсальность интерфейсов и широкая полоса пропускания позволяют использовать самые различные передовые криптографические алгоритмы. Стандартные системы АОЛС имеют скорость передачи данных от 6 Мб/с до 1,25 Гб/с. На реальном объекте в большинстве систем скорость передачи ограничивается пропускной способностью локальной сети, которую она может поддерживать. Однако, беспроводная система АОЛС реагирует на ослабление мощности принимаемого сигнала некоторым уменьшением скорости передачи данных. Если в ясную погоду, канал на оборудовании FSO работает со скоростью 24 Мб/с, то в условиях, например, морящего дождя его скорость может снизиться до 18 Мб/с и менее. Обеспечение безопасности имеет особое значение во всех системах беспроводной связи. Поскольку радиочастотные системы излучают сигналы во всех направлениях, то сигналы можно просто и легко перехватывать. Поэтому для повышения безопасности радиочастотных сетей обычно применяют кодирование и различные средства защиты передаваемой информации. Однонаправленный узкий луч света атмосферной оптической линии связи без прерывания передачи данных, перехватить практически невозможно. При этом, беспроводная оптика без труда преодолевает значительные водные пространства (рисунок 2).



**Рисунок 2. Пример реализации телекоммуникационной системы АОЛС на материке и между берегами залива**

Заметим, что на рисунке 2, расстояние между берегами залива превышает 300 м. Транспортные магистрали, железнодорожные пути и ЛЭП так же легко преодолимы для систем АОЛС, без особенных затруднений (рисунок 3).



**Рисунок 3. Пример применения АОЛС в сложных техногенных условиях**

Запуск канала АОЛС занимает всего несколько часов, поэтому оптические линии связи не имеют конкурентов при ограниченных сроках

реализации связанных систем. Технология АОЛС позволяет создавать почти неограниченное количество каналов в непосредственной близости друг от друга. АОЛС-системы нечувствительны к электромагнитным помехам и не производят их. Кроме того, инфракрасное излучение безвредно для здоровья людей, а обычное обслуживание оборудования состоит в ежегодной профилактике оптики. Все перечисленные особенности подтверждаются многочисленными фирмами во многих странах, в частности, компания «ADVANTEK SYSTEMS», которая считается интегратором в телекоммуникациях, широко использует системы АОЛС. Таким образом, вкратце, можно констатировать, что основными преимуществами использования систем АОЛС являются [3-4, 11]: 1) быстрая организация канала связи; 2) отсутствие необходимости получения разрешений на частоты; 3) отсутствие влияний соседних каналов и электромагнитного шума; 4) отсутствие арендной платы за канал; 5) высокая степень безопасности. Для подкрепления перечисленных преимуществ АОЛС приводим сравнительную таблицу 1.

**Таблица 1.**

**Наиболее используемые системы связи**

Тип связи	Медный кабель	Оптоволокно	Радиоканал	Лазерный канал
Максим. пропускная способность	2 Мбит/с	155 Мбит/с	155 Мбит/с	155 Мбит/с
Время на подготовку и монтаж	1 месяц	1 – 2 месяца	2 – 3 месяца	1 – 2 недели
Максим. дальность связи	20 км	50 -70 км	80 км	1, 2 км
Примерная стоимость	300 -700 тыс. руб. за 1 км	до 1 млн руб. за 1 км	700 – 10 млн. руб. за комплект	1,2 – 2,2 млн. руб. за комплект
Частота появления ошибочных битов	$\geq 1 \text{ E}^{-7}$	$\leq 1 \text{ E}^{-10}$	$1 \text{ E}^{-10}$	$1 \text{ E}^{-10}, \dots, 1 \text{ E}^{-9}$ (BER)

Конкретные данные в таблице 1 подтверждают ряд преимуществ АОЛС в сравнении с другими системами связи. Значения пропускных способностей атмосферных оптических линий связи (АОЛС) могут отличаться для разных конфигураций систем и разнообразных параметров. Наибольшее распространение [3, 12] получили системы:

А) Одновременной адаптации мощности и скорости передачи (ППМС);  
 Б) Преобразование при постоянной мощности передачи (ППМ); В) Преобразование с фиксированной скоростью передачи (ПФСП). Величины  $\{C\}$  перечисленных пропускных способностей АОЛС могут быть представлены математическими выражениями:

$$\{C\}(\text{ППМС}) = ((2^{\alpha+\beta-1}) / (2 \pi \ln(2) \Gamma(\alpha) \Gamma(\beta))) G_{26}^{60} [ [ (\alpha^2 \beta^2 \gamma_{\text{TH}}) / 16 \gamma^* ] ]_{\xi 2, 0, 0}^{\xi 1}, \quad (1)$$

где  $\xi 1 = \{1, 1\}$  и  $\xi 2 = \{ \alpha/2, (\alpha+1)/2, \beta/2, (\beta+1)/2 \}$ .

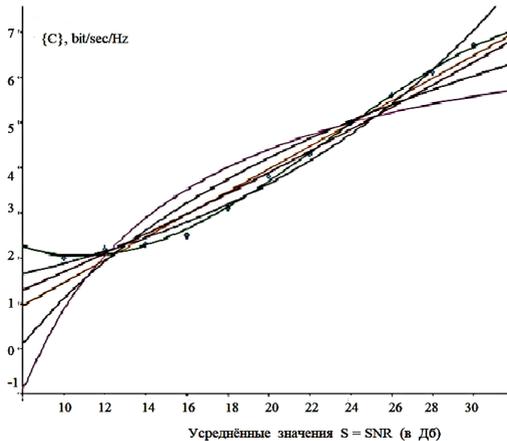
$$\{C\}(\text{ППМ}) = ((2^{\alpha+\beta-1}) / (2 \pi \ln(2) \Gamma(\alpha) \Gamma(\beta))) G_{62}^{16} [ [ 16 \gamma^* / (\alpha^2 \beta^2) ] ]_{\xi 4}^{\xi 3}, \quad (2)$$

где  $\xi 3 = \{1, 1, (1-\alpha)/2, (2-\alpha)/2, (1-\beta)/2, (2-\beta)/2\}$  и  $\xi 4 = \{1, 0\}$

$$\{C\}(\text{ПФСП}) = [1 / \ln(2)] \ln \{ 1 + [(\alpha^2 \beta^2 \gamma_{\text{TH}}) / (16 \gamma^*)]_{\xi 2, 1}^2 ( G_{15}^{50} (2^{\alpha+\beta-1}) / (2 \pi \Gamma(\alpha) \Gamma(\beta) \gamma^*) ]^{-1} \} \times [ 1 - (\alpha \beta \sqrt{(\gamma_{\text{TH}} / \gamma^*)})_{|\alpha, \beta, 0} G_{13}^{21} / (2 \Gamma(\alpha) \Gamma(\beta)) ], \quad (3)$$

здесь, обозначения соответствуют вышеприведённым.

Эти математические выражения имеют весьма непростой вид и включают много разнообразных параметров [7-9]. Для повышения наглядности рассматриваемой пропускной способности АОЛС приводим графическую экспериментальную (рисунок 4) зависимость (точки зелёного цвета).



**Рисунок 4. Экспериментальная зависимость  $\{C\}$  системы ПФСП и варианты аппроксимаций разными функциями для условий относительно сильной турбулентности  $S\eta_2 = 0.9866 \times 10^{-14}$**

Хотя, измеренная зависимость на рисунке 4, имеет нелинейный вид [4 - 6], её можно аппроксимировать несколькими функциями (таблица 2).

**Таблица 2.**

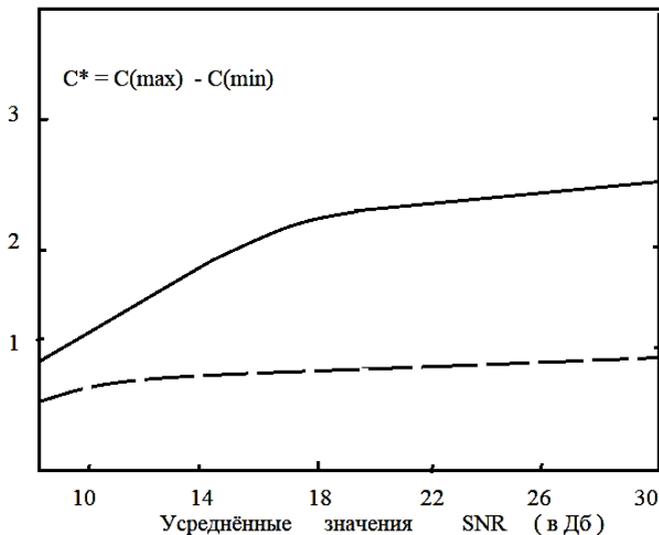
**Виды регрессии функции при аппроксимации экспериментальных данных**

Вид регрессии	Коэффициент детерминации	Средняя ошибка аппроксимации, %
Линейная: $F = 0.2509 S - 1.0545$	0.9697	8.3592
Кубическая $F = -0.0007 S^3 + 0.0493 S^2 - 0.8179 S + 6.0155$	0.9979	1.9737
Степенная $F = 0.1061 S^{1.2017}$	0.9714	7.3797
Показательная $F = 0.9723 \times 1.0682^S$	0.9858	4.7362
Логарифмическая $F = -9.2005 + 4.4768 \ln S$	0.9014	14.4794
Гиперболическая $F = 7.9232 - 70.5404/S$	0.7924	19.9704
Экспоненциальная $F = \exp(0.2358 + 0.0660) S$	0.9729	5.2857

Из графиков рисунка 4 и таблицы 2, видно, что наименьшей средней ошибкой аппроксимации, менее 2 %, обладает кубическая регрессия (1,9737 %):

$$\{C\} = -0.0007 S^3 + 0.0493 S^2 - 0.8179 S + 6.0155 \quad (4)$$

В дальнейшем, мы именно ей мы будем отдавать предпочтение (рисунок 4, сплошная линия зелёного цвета). На рисунке 5, показаны разности зависимостей пропускной способности канала АОЛС для двух схем передачи сигналов [10-12]. На этом рисунке 5, нижняя кривая носит более плавный характер, однако все её величины  $C^*$  значительно меньше верхней кривой. Поэтому можно считать, что рядом преимуществ по пропускной способности канала АОЛС, обладают системы ПФСП (верхняя кривая).



сплошная линия - ПФСП; пунктир - ППМ;  $C^*$  - в (bit/sec/Hz);

$C(max) = C_n^2 = 0.9866 \times 10^{-14}$ ;  $C(min) = C_n^2 = 0.1409 \times 10^{-14}$

**Рисунок 5. Зависимости разности значений пропускной способности канала АОЛС для двух схем передачи сигналов от величин SNR**

Для нижней кривой все её значения меньше верхней в 1,5-2 раза, поэтому предпочтение остаётся за сплошной кривой.

### Заключение

Таким образом, проведённые исследования пропускной способности атмосферных оптических линий связи показывают ряд преимуществ систем ПФСП и имеют большое значение для повышения их надёжности и эффективности.

### Список литературы:

1. Большасова Л.А., Лукин В.П. Аналитические модели высотной зависимости структурной постоянной показателя преломления турбулентной атмосферы для задач адаптивной оптики. Оптика атмосферы и океана. – Москва, 2016, т. 29, № 11, с. 918 – 925.; DOI: 10.15372/A0020161104.
2. Botygina N.N., Kopylov E.A., ets. Variability of the atmospheric turbulence in the region lake of Baykal. Proc. SPIE, 2015, v. 9680, p. 96806E.

3. Кузяков Б.А. Влияние турбулентности атмосферы на эффективность лазерных телекоммуникаций. Научный форум: Инновационная наука. Сб. статей по материалам LXXXIV Международной научно - технической конференции. –Москва, 2025, № 5 (84), с. 54 – 59.
4. Кузяков Б.А. Лазерные коммуникации на Земле и в космосе. – Москва, 2025, Де\*Либри, 208 с.
5. Куликов А.И. Построение атмосферной оптической линии связи. Реф. Государственный Университет, Братск, 10 с.; Kulikov\_ai.pdf; brstu.ru.
6. Лукин В.П. Атмосферная адаптивная оптика. – Новосибирск, 1986, Наука, 248 с.
7. Махмуд М.Х.А., Румянцев К.Е., Шакир А.Б.А.Х. Анализ восходящего канала спутниковой коммуникации в условиях атмосферной турбулентности. Известия ЮФУ. Технические науки. – 2023, с. 174 - 191; DOI 10.18522/2311-3103-2023-4-174-191.
8. Носов В.В., Лукин В.П., Носов Е.В., и др. Исследования астроклимата в специальной Астрофизической обсерватории РАН. Оптика атмосферы и океана. – Москва, 2018, т. 31, № 8, с. 616 – 627.
9. Отчёт по НИР «Разработка нового поколения аппаратуры гибридных каналов передачи мультимедийной информации на базе лазерной и радио технологий». – Москва, 2012, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН. - № госрегистрации 01201068165; 14-740 11- 0392. pdf.
10. Roberts L.C., Bradford Jr .L. Improved models of upper-level wind for several astronomical observatories. Optical Express. – 2011, v.19, N 2, p. 820 - 837.
11. Shankar P.M. Fading and shadowing in wireless systems. – 2017, 817 p.
12. Sharma K., Grewal S.K. Capacity analysis of free space optical communication system under atmospheric turbulence. Optical and Quantum Electronics. – 2020, v. 52, art. No. 82.

## РАЗДЕЛ 2. ФИЗИКА

### 2.1. ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА, ГОРЕНИЕ И ВЗРЫВ, ФИЗИКА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА

#### ЭНТРОПИЙНЫЕ КОНФОРМАЦИИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И В КОСМОЛОГИИ

**Кораблев Григорий Андреевич**

*д-р хим. наук, профессор кафедры физики,  
Удмуртский государственный аграрный университет,  
РФ, г. Ижевск*

**Gregory Korablev**

*Professor,  
Doctor of Science in Chemistry,  
Udmurt State Agrarian University,  
Russia, Izhevsk*

#### ENTROPY CONFORMATIONS IN TECHNICAL SYSTEMS AND IN COSMOLOGY

**Grigory Korablev**

*Doctor of Chemical Sciences,  
Professor of the Department of Physics,  
Udmurt State Agrarian University,  
Russia, Izhevsk*

**Аннотация.** Геометрически-геодезический угол ( $\varphi = 54.733^\circ$ ) определяется как отношение двух составляющих: неэнтропийной  $\bar{C}$  (линейное ускорение,  $a_c$ ) и энтропийной  $\bar{R}$  (центростремительное ускорение  $a_R$ ), где  $\text{tg } \varphi = 2^{\frac{1}{2}}$ .

Показано, что переход  $\bar{R} \rightarrow \bar{C}$  соответствует смене вращательного движения на поступательное с поглощением энергии. И возможен обратный переход  $\bar{C} \rightarrow \bar{R}$  от поступательного движения к вращательному.

На примерах армирования композитных материалов, фотонных двигателей и космологических данных продемонстрирована универсальность угла  $\varphi$  в системах с доминированием энтропийных переходов.

Установлена прямая математическая связь  $\text{tg } \varphi$  с постоянными коэффициентами в космологических параметрах Хаббла.

Динамика энтропийных взаимодействий определяет конформационные процессы рождения и развития Вселенной.

**Abstract.** The geometric-geodetic angle ( $\varphi = 54.733^\circ$ ) is defined as the ratio of two components: the negentropic  $\bar{C}$  (linear acceleration,  $a_C$ ) and the entropic  $\bar{R}$  (centripetal acceleration  $a_R$ ), where  $\text{tg } \varphi = 2^{\frac{1}{2}}$ .

It is shown that the transition  $\bar{R} \rightarrow \bar{C}$  corresponds to a shift from rotational motion to translational motion with energy absorption. A reverse transition  $\bar{C} \rightarrow \bar{R}$  from translational to rotational motion is also possible.

Using examples from the reinforcement of composite materials, photon engines, and cosmological data, the universality of the angle  $\varphi$  in systems dominated by entropic transitions is demonstrated.

A direct mathematical relationship is established between  $\text{tg } \varphi$  and constants in the cosmological Hubble parameters.

The dynamics of entropic interactions determine the conformational processes of the birth and evolution of the Universe.

**Ключевые слова:** Геодезический угол, энтропия, негэнтропия, квантовые двигатели, композитные материалы, космологические системы

**Keywords:** Geodesic angle, entropy, negentropy, quantum engines, composite materials, cosmological systems

## Введение

Вращательное движение, как фундаментальная форма стабильности систем, описывается кинематическими параметрами [1,2], среди которых ключевую роль играет геодезический угол ( $\varphi$ ). Его практическое применение охватывает технологии армирования аэрокосмических конструкций [3,4] и биологические процессы (намотка шелкопрядом нити) [4,5].

По этой методике цилиндрическая оболочка корпуса армируется по геодезической линии.

«Геодезическая линия - кривая определенного типа, обобщение понятия - прямая для искривленных пространств» [1,3].

На круговом цилиндре – это винтовые линии, которые дают кратчайшее расстояние между точками на поверхности вращения.

Если намотка полимерных нитей на основу аппарата идет по геодезической линии, то угол между осью вращения и вектором намотки называется геодезическим углом, который равен  $54^{\circ}44' = 54,733^{\circ}$  [4, 5].

Цель работы – установить универсальность  $\phi$  через анализ корпускулярно-волновых взаимодействий в открытых системах. В основу положена гипотеза: геодезический угол определяет баланс энтропийных и негэнтропийных процессов при переходе между режимами движения.

Известно, что понятие энтропии, вытекающее из второго закона термодинамики, является критерием направленности процесса, и степенью неупорядоченности систем. Поэтому, в данном исследовании делается попытка объяснения вышеуказанных проблем с позиции представлений о градиенте направленности физико-химических процессов при изменении их энтропийных составляющих.

### **Исходные принципы [6]**

Анализ характера изменения величины потенциальной энергии ( $\Delta U$ ) по ее знаку для различных потенциальных полей (табл. 1) позволил установить, что значения  $-\Delta U$  и соответственно  $+\delta A$  (положительная работа) соответствуют взаимодействиям, происходящим по градиенту потенциала, а  $+\Delta U$  и  $-\delta A$  (отрицательная работа) имеют место при взаимодействиях против градиента потенциала.

Таблица 1.

Направленность процессов взаимодействий

№	Системы	Вид потенциального поля	Процесс	$U$	$\frac{r_2}{r_1}$ $\left(\frac{x_2}{x_1}\right)$	$U_2/U_1$	Знак $\Delta U$	Знак $\delta A$	Направленные процессы в потенциальном поле
1	разноименные электрические заряды	электростатическое	притяжение	$-k \frac{q_1 q_2}{r}$	$r_2 < r_1$	$U_2 > U_1$	-	+	по градиенту
			отталкивание	$-k \frac{q_1 q_2}{r}$	$r_2 > r_1$	$U_2 < U_1$	+	-	против градиента
2	одноименные электрические заряды	электростатическое	притяжение	$k \frac{q_1 q_2}{r}$	$r_2 < r_1$	$U_2 > U_1$	+	-	против градиента
			отталкивание	$k \frac{q_1 q_2}{r}$	$r_2 > r_1$	$U_2 < U_1$	-	+	по градиенту
3	элементарные массы $m_1$ и $m_2$	гравитационное	притяжение	$-\gamma \frac{m_1 m_2}{r}$	$r_2 < r_1$	$U_2 > U_1$	-	+	по градиенту
			отталкивание	$-\gamma \frac{m_1 m_2}{r}$	$r_2 > r_1$	$U_2 < U_1$	+	-	против градиента
4	деформация пружины	поле упругих сил	сжатие	$k \frac{\Delta x^2}{2}$	$x_2 < x_1$	$U_2 > U_1$	+	-	против градиента
			растяжение	$k \frac{\Delta x^2}{2}$	$x_2 > x_1$	$U_2 > U_1$	+	-	против градиента
5	фотоэффект	электростатическое	отталкивание	$k \frac{q_1 q_2}{r}$	$r_2 > r_1$	$U_2 < U_1$	-	+	по градиенту

Поэтому, на основе анализа первого начала термодинамики было установлено [6]:

1. В системах, в которых взаимодействие идет по градиенту потенциала (положительная работа) результирующая потенциальная энергия, как и приведенная масса, находятся по принципу сложения обратных значений соответствующих величин подсистем. Это – корпускулярный процесс, теоретической концепцией которого может являться энтропия.

2. В системах, в которых взаимодействие идет против градиента потенциала (отрицательная работа) выполняется алгебраическое

сложение их масс и также соответствующих энергий подсистем. Это – волновой процесс, теоретической концепцией которого может являться негэнтропия.

3. Резонансное стационарное состояние систем выполняется при условии равенства энтропийных составляющих взаимодействий. В термодинамике открытых систем продукция энтропии в стационарном состоянии полностью компенсируется потоком негэнтропии.

4. Все явления и процессы в природе и в Мире, включая человека, технику, экономику и экологию, идут только в двух энергетических направлениях. Или - по градиенту силового поля, с минимальной затратой энергии, или - против градиента, с максимальной затратой энергии. Первое направление соответствует понятию энтропия, а второе - понятию негэнтропия (отрицательная энтропия). В динамике процессов оба явления взаимосвязаны, и дополняют друг друга.

### Энтропийные номограммы

Гейзенберг и Дирак [7] для оценки степени структурных взаимодействий предложили обменный гамильтониан, выведенный в предположении о прямом перекрывании волновых функций взаимодействующих центров:

$$\bar{H} = -I_0 S_1 S_2$$

где:

$\bar{H}$  – спиновый оператор изотропного обменного взаимодействия для пары атомов,

$I_0$  – постоянная обмена,

$S_1$  и  $S_2$  – интегралы перекрывания волновых функций.

Интегралы перекрывания волновых функций моделируются [6] через величину относительной разности энергетических параметров взаимодействующих центров – коэффициент  $\alpha$  (в %). Такой параметр является прямой характеристикой степени энтропийного равновесия в системе.

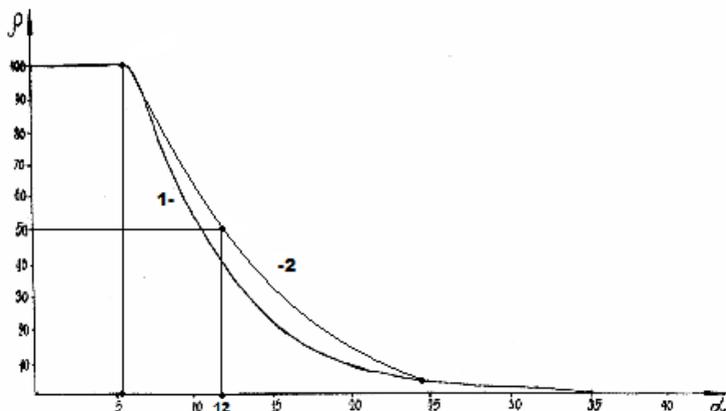
Для построения номограммы (Рис. 1) использованы:

- Данные рентгеновской дифракции (Rigaku SmartLab,  $\lambda = 1.5406$  Å) для анализа фазовых переходов.
- Молекулярная динамика (LAMMPS, силовое поле CHARMM) для моделирования структурных взаимодействий.

Этот вид номограммы и ее зеркально-симметричный вариант (рисунок не приводится) позволяют оценить степень и направление структурных взаимодействий процессов фазообразования, изоморфизма

и растворимости в многочисленных системах, в том числе в молекулярных [8].

В рисунке 1 увеличение значений  $\alpha$  характеризует нарастание корпускулярных и электростатических свойств в микросистемах (энтропийная кривая). Таким образом, понятие энтропии количественно моделируется через коэффициент  $\alpha$ , а неэнтропия через величину  $1/\alpha$ .



**Рисунок 1. Номограмма зависимости степени структурных взаимодействий ( $\rho$ ) от коэффициента  $\alpha$**

В общем случае при поступательном движении системы из двух одинаковых по величине векторов ( $\vec{R}$ ) с разностью фаз  $90^\circ$  их равнодействующая:

$$\vec{C} = \sqrt{2} \cdot \vec{R},$$

где для данного угла  $tg45^\circ=1$

Если происходит вращательное движение или движение по спиральной динамике, то вектор ( $\vec{C}$ ) станет касательным вектором и образует угол вращения, для которого можно записать:

$$tg \varphi = C/R = 2^{1/2}=1.414213, \quad (1)$$

где  $\varphi$  геодезический угол, равный  $54.733^\circ$ .

При  $\rho=50\%$  (рис.1) система имеет равновесное энтропийное состояние, для которого выполняется условие (в линейной интерпретации):

$$\ln\left(\frac{\rho}{\alpha}\right) = tg \varphi \quad (2)$$

Расчёт по этому уравнению даёт значение коэффициента  $\alpha$ , равное 12.1 %, что соответствует приведенной номограмме (рис.1).

Многие явления и процессы в природе, технике и даже в экономике описываются аналогичными графиками, которые называются S-кривыми. Такие S-кривые и исходные номограммы являются графическими характеристиками неравновесной динамики изменения энтропийных составляющих [9].

### Угловые характеристики энтропийных составляющих при вращательном и спиральном движении

При вращательном движении твердого тела (или математической точки) вокруг неподвижной оси вектор полного ускорения ( $\vec{a}$ ) состоит из двух составляющих векторов: центростремительного ускорения ( $\vec{a}_R$ ) и линейного ускорения ( $\vec{a}_C$ ) - рисунок 2.

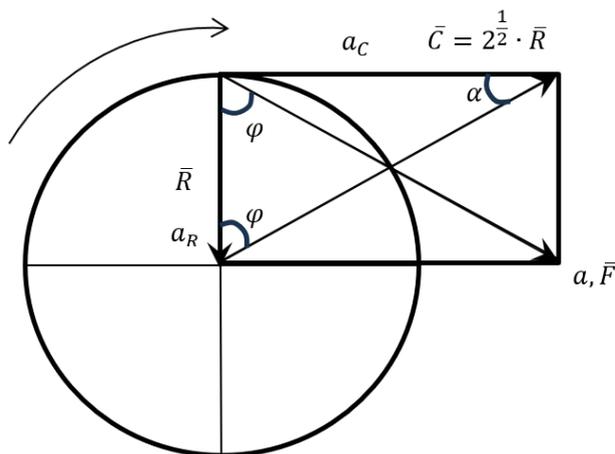


Рисунок 2. Кинематические характеристики вращательных движений

$\bar{R}$  – вектор центростремительного движения  
 $\bar{C}$  – вектор линейного (касательного) движения  
 $a_R$  – центростремительное ускорение  
 $a_C$  – линейное ускорение  
 $a$  – полное ускорение  
 $\bar{F}$  – вектор полного взаимодействия.

Линейное ускорение ( $a_C$ ) направлено от системы по касательной к траектории вращения. Поэтому вектор  $\bar{C}$  является физической характеристикой негэнтропии по уравнению (1).

Центростремительное ускорение ( $a_R$ ) направлено к центру вращения, и вектор  $\bar{R}$  является физической характеристикой энтропийной составляющей по уравнению:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{R}{C} = 0,7078 \quad (3)$$

где  $\alpha = 35,267^\circ$ .

Таким образом базисные правила сложения энтропийных составляющих определяются геометрией исходных векторных величин через  $\operatorname{tg} \alpha$  и  $\operatorname{tg} \varphi$ , где используется принцип обратного соотношения величин  $\bar{R}$  и  $\bar{C}$ . Изначально по геометрии этих векторов негэнтропийная составляющая (волновые взаимодействия) больше в 1,4142 раза, чем энтропийная величина (корпускулярное взаимодействие). В комплексных системах для сохранения этого правила выполняется алгебраическое сложение в волновых процессах, а в корпускулярных идет сложение обратных величин их составляющих.

### Энтропийные соотношения в технических системах

Такие закономерности могут успешно применяться в технических новациях, например, при работе некоторых сельскохозяйственных машин, в частности при намотке льна-долгунца на основу. При этом энергетически наиболее эффективным является направление полного взаимодействия  $\bar{F}$ , которое будет выполняться под углом  $\varphi$  по отношению к вектору  $\bar{R}$ , или под углом  $\alpha$  по отношению к вектору  $\bar{C}$ . Так тутовый шелкопряд наматывает нить на основу под геодезическим углом  $\varphi$ , но по направлению полного взаимодействия  $\bar{F}$ . В космонавтике использование этого принципа приведено в работах [4, 5].

В этих работах используется понятие разрушающего напряжения при растяжении пластика нити на шаг ее намотки:  $\sigma_\alpha$  – осевое,  $\sigma_\beta$  – окружное напряжения, которые заменяются пропорциональной им

величиной  $N_\alpha$  – осевое «усилие» и  $N_\beta$  – окружное «усилие». При этом выполняется уравнение:

$$\frac{\sigma_\beta}{\sigma_\alpha} = \frac{N_\beta}{N_\alpha} = \operatorname{tg}^2 \varphi = 2 \quad (4)$$

«Это условие позволяет получать равнонапряженную систему нитей с минимальной массой изделия» [5]. Армирование под углом  $\varphi$  снижает массу композитов на 22 % (ANSYS Mechanical).

Поскольку такие энтропийные закономерности неизвестны широкой научной общественности, то их применение в практике явно недостаточное. А учитывать эти принципы необходимо в технологии приготовления гибридной продукции, состоящей из двух или более компонентов (или фракций). Например, при изготовлении молоко-содержащих составов. Полученная таким способом продукция будет качественно лучше обычной.

В квантовой механике отношение магнитного момента частицы к ее механическому моменту называется магнитомеханическим (гиромеханическим) отношением –  $g$ . При этом  $g_s \approx 2$ , если магнитный момент электрона обусловлен только спиновой составляющей и  $g = 1$ , если он создаётся орбитальным движением электронов. Магнитомеханическое отношение  $g_s/g \approx 2.00233$  коррелирует с  $\operatorname{tg}^2 \varphi = 2$ , подтверждая связь спиновых и орбитальных взаимодействий.

В гармонических колебаниях тела отношение потенциальной энергии обусловленной квазиупругой силой к кинетической энергии равно  $\operatorname{tg}^2 \delta$ , то есть:

$$E_{\text{п}}/E_{\text{к}} = \operatorname{tg}^2 \delta$$

где  $\delta$  – угловая характеристика колебаний.

При условии равенства  $\delta = \varphi$  система получает энтропийное равновесное состояние.

При вращательном движении касательное ускорение больше центростремительного в  $2\pi$  раза. Применительно к исходной энтропийной модели по рисунку 2 выполняются уравнения:

$$a_c = 2\pi a_R \quad (5)$$

$$\bar{C} = 1,4142\bar{R} \quad (6)$$

Величина  $2\pi$  характеризует один полный цикл процесса. Согласно второму уравнению, такой цикл есть переход от вектора центростремительного к вектору линейного ускорения ( $\bar{R} \rightarrow \bar{C}$ ). Вектор  $\bar{C}$

определяет направление поступательного движения. Поэтому данный цикл можно интерпретировать как переход от вращательного движения к поступательному с поглощением энергии, которая определяется энтропийным соотношением 1,4142. Очевидно, так происходит при взаимодействии света с веществом. Например, при явлении фотоэффекта. Электроны орбитального движения переходят на другую более высокую орбиталь (внутренний фотоэффект), или уходят за пределы атома (внешний фотоэффект). Если исходное излучение будет достаточно мощным, то возможно поступательное движение самого макрообъекта.

И в современной модели фотонного квантового двигателя через рабочее тело, которым является фотонный газ, пролетают сверхызлучательные атомы. Такой двигатель, созданный корейскими физиками в Сеульском национальном университете [10], имеет высокий КПД, при этом результирующая энтропия процессов равна нулю. КПД фотонного двигателя достигает 85 % при мощности лазера 10 кВт. А движущая активность создается за счет внутренних энтропийных конформационных процессов при переходе  $\bar{R} \rightarrow \bar{C}$ .

В наиболее простой модели фотонного двигателя, в патенте которого вписано: движущая сила создается за счет мощного лазера, лучи которого направляются на систему зеркал [11]. Но в таком двигателе, как в изолированной системе, результирующая энтропия тоже должна быть равна нулю, а тяговая сила создается за счет энтропийных внутренних конформационных процессов.

Еще пример: при полете космических аппаратов «Пионер-10» и «Пионер-11» было зафиксировано аномальное ускорение полета [10]. Предполагается, что оно вызвано анизотропией теплового излучения аппаратов [10]. Так, анизотропия теплового излучения спутников учитывается при определении параметров гравитационного поля Земли [10]. Можно предполагать, что в этих и других аналогичных случаях движущую силу определяют энтропийные конформационные процессы.

Исследования и анализ проблем конформационной стабилизации физико-химических систем имеет большое практическое значение [12]. Применение энтропийных принципов и здесь может оказаться полезным. Особенно, если использовать специальные катализаторы, которые имеют оптимальные энтропийные характеристики.

## 5. Энтропийные постоянные в космологии

В общем случае, единая материализованная природная система проявляется в структурных процессах путем взаимодействия двух противоположных субстанций: энтропии и неэнтропии. При этом может осуществляться энергетический переход между ними, например, переход от неэнтропии (С) к энтропии (R), при котором меняется

поступательное движение на вращательное. А это значит, что идет процесс конформации стабильных атомно-молекулярных структур.

Можно предположить, что такие явления энергетически и конструктивно определяют основные этапы космологических изменений во Вселенной. В начале, по данным многих исследований [13,14,15], Вселенная представляла собой сингулярную систему с высокими температурой и степенью плотности, перемещающуюся в пространстве поступательно, и с большой скоростью. Также установлены взаимодействия с так называемой «тёмной» материей, энергия которой с противоположными свойствами получила название отрицательной [16,17].

На основе исходных энтропийных положений изначально были две противоположные энтропийные субстанции: неэнтропийная – это сингулярная система с её супер-максимальной энергией, и энтропийная субстанция – это система «темной» материи с её «отрицательной энергией». Взаимодействие таких субсистем при супер-больших массах могло иметь взрывной характер. А происходил такой процесс по энергетически наиболее выгодному переходу от С к R. И в исходной сингулярной системе стимулировались процессы перехода от поступательного к вращательному движению во всех микро-областях ее массы [18].

На первых этапах эволюции могло идти образование элементарных частиц, а на более поздних стадиях, в условиях резких температурных изменений – возникновение атомных центров, с орбитальным движением электронов. В современных научных исследованиях доказано [13,14], что процесс рождения и развития Вселенной происходил в несколько основных этапов, которые энергетически подтверждаются законом Хаббла и его постоянными параметрами [15,19] (таблица 2).

Таблица 2.

### Параметры Хаббла по стадиям эволюции Вселенной

Стадия	Эволюция $a(\eta)$	Параметр Хаббла
Инфляционная	$a \propto e^{Ht}$	$(H^2 = \frac{8\pi \rho_{vac}}{3 M_p^2})$
Радиационное доминирование	$(a \propto t^{\frac{1}{2}})$	$(H = \frac{1}{2t})$
Пылевая стадия	$(a \propto t^{\frac{2}{3}})$	$(H = \frac{2}{3t})$
$\Lambda$ – доминирование	$(a \propto e^{Ht})$	$(H^2 = \frac{8\pi}{3} G\rho_\Lambda)$

На основе этих параметров Хаббла был получен закон ускоренного расширения Вселенной [15,19]. Каждый параметр в данной стадии имеет постоянный числовой коэффициент. Проведённые сопоставления показали, что он имеет прямую математическую связь с основным энтропийным параметром  $\text{tg } \varphi$  с точностью от 0 % до 5,7 % (таблица 3).

**Таблица 3.**

**Соотношения энтропийной постоянной и коэффициентов Хаббла**

Стадия эволюции	Энтропийные соотношения	Относительная разность
Инфляционная	$2\text{tg } \varphi \approx \left(\frac{8\pi}{3}\right)^{\frac{1}{2}}$	2,3 %
Радиационное доминирование	$\text{tg}^2 \varphi = 2$	0 %
Пылевая стадия	$\text{tg} \varphi \approx \frac{3}{2}$	5,7 %
$\Lambda$ – доминирование	$2\text{tg} \varphi \approx \left(\frac{8\pi}{3}\right)^{\frac{1}{2}}$	2,3 %

Но числовые значения параметров Хаббла, рассчитанные различными методиками, имеют примерно такую же относительную разность между собой [15,19].

Установленное равенство постоянных коэффициентов Хаббла с основным энтропийным параметром доказывает то, что рождение и развитие Вселенной шло и идет по энтропийным принципам.

**Заключение**

Данный подход не является принципиально новым, и приведенные примеры - не единичны. В 1943 году Э. Шредингер в книге «Что такое жизнь?» объяснил, что в живой системе отрицательная энтропия, создаваемая организмом, уравнивает поток положительной энтропии. Так, еще тысячи лет назад китайская медицина установила, что все явления мира и природы можно рассматривать как взаимодействие двух противоположных начал единой действительности. А в диалектике выполняется принцип единства и борьбы противоположностей.

В химической кинетике выполняется принцип Ле-Шателье: При внешнем воздействии на систему, находящуюся в равновесии, равновесие будет сдвигаться в направлении того процесса, который противодействует данному воздействию.

Условия энтропийной методологии находятся в соответствии с Принципом дополнительности Н. Бора: для полного описания квантово-механических явлений необходимо применять два взаимоисключающих (дополнительных) набора классических понятий, совокупность которых дает исчерпывающую информацию об этих явлениях как о целостных. Например, описание объекта как частицы и как волны.

Таким образом, исходные энтропийные соотношения определяют общие принципы многих физико-химических закономерностей.

### Выводы

1. Геометрически-геодезический угол ( $\varphi = 54.733^\circ$ ) определяется как отношение двух составляющих: неэнтропийной  $\vec{C}$  (линейное ускорение,  $a_c$ ) и энтропийной  $\vec{R}$  (центростремительное ускорение  $a_R$ ), где  $\operatorname{tg} \varphi = 2^{\frac{1}{2}}$ .

2. Показано, что переход  $\vec{R} \rightarrow \vec{C}$  соответствует смене вращательного движения на поступательное с поглощением энергии. И возможен обратный переход  $\vec{C} \rightarrow \vec{R}$  от поступательного движения к вращательному.

3. На примерах армирования композитных материалов, фотонных двигателей и космологических данных продемонстрирована универсальность угла  $\varphi$  в системах с доминированием энтропийных переходов.

4. Установлена прямая математическая связь  $\operatorname{tg} \varphi$  с постоянными коэффициентами в космологических параметрах Хаббла.

5. Динамика энтропийных взаимодействий определяет конформационные процессы рождения и развития Вселенной.

### Список литературы:

1. Аюшеев, Т.Ю. Геометрические вопросы адаптивной технологии изготовления конструкций намоткой из волокнистых композиционных материалов. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2005. – 212 с.
2. Википедия. Фотонный двигатель, [https://ru.wikipedia.org/wiki/Фотонный\\_двигатель](https://ru.wikipedia.org/wiki/Фотонный_двигатель).
3. Дирак, П.А. Квантовая механика / Дирак П.А.// Лондон, Издательство Оксфордского университета, 1935.
4. Заявка: 2007104535/22 05.02.2007.
5. Кодолов, В.И. Полимерные композиции и технология изготовления из них двигателей летательных аппаратов. Ижевский механический институт, 1992. – 200 с.

6. Лукаш, В.Н., Рубаков, В.А. Темная энергия: мифы и реальность. УФН 178, 301–308 (2008). Дата обращения: 28 апреля 2020. Архивировано 6 февраля 2020 года.
7. Пидгайный, Ю.М., Морозова, В.М., Дудко, В.А. Механика полимеров. – 1967.– № 6. – С. 1096-1104.
8. Учёные нашли след вращения Вселенной при рождении Архивная копия от 18 февраля 2012 на Wayback Machine.
9. Фиников, С.П. Дифференциальная геометрия. – М.:из МГУ, 1961.
10. Чернин, А.Д. Темная энергия вблизи нас. Дата обращения: 7 февраля 2006. Архивировано 17 февраля 2006 года.
11. Dan Scolnic, Lucas M. Macri, Wenlong Yuan, Stefano Casertano, Adam G. Riess. Large Magellanic Cloud Cepheid Standards Provide a 1 % Foundation for the Determination of the Hubble Constant and Stronger Evidence for Physics Beyond  $\Lambda$ CDM (англ.). – 2019-03-18. – doi:10.3847/1538-4357/ab1422. – Bibcode: 2019ApJ... 876...85R. – arXiv:1903.07603.
12. do Carmo, M.P. Differential Geometry of Curves and Surfaces. Prentice-Hall, 1976.
13. Edwin Hubble in translation trouble Архивная копия от 21 марта 2017 на Wayback Machine. Nature News.
14. Korablev, G.A. Diversified Demonstration of Entropy / Korablev G.A., Petrova N.G., Osipov A.K., and other // Nev Book Announcement. Nanotechnologies to Nanoindustry. – USA, Winter 2013/14. – Chapter 8. Pp. 120-130.
15. Korablev G.A. ON PROBLEMATIC ISSUES OF PHYSICAL CHEMISTRY, JMEST, v6, 2019, pp. 10320-10324.
16. Korablev, G.A. Virus entropic characteristics / Korablev G.A. // EIJASR Journal 2020 vol-3, issue - 3, may-june, pp. 146-152.
17. Kral, P. Silk spinning in silkworms: From molecular structure to mechanical properties. Biophys.J., 2019, 116 (3), 491-501.
18. Lilley, M., Lilje, P.B., Liguori, M., Lewis, A., Levrier, F. Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters (англ.). – 2018-07-17. – arXiv:1807.06209.
19. Sylos Labini, F., Baryshev, Yu.V. Testing the Copernican and Cosmological Principles in the local universe with galaxy surveys Архивная копия от 3 декабря 2021 на Wayback Machine.

### **Благодарности**

Благодарю специалиста Романченко Артема Павловича за предоставление ценной информации при редактировании текста статьи.

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

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

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

№ 7 (87)  
Август 2025 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 07.08.25. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 3,25. 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, 1



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