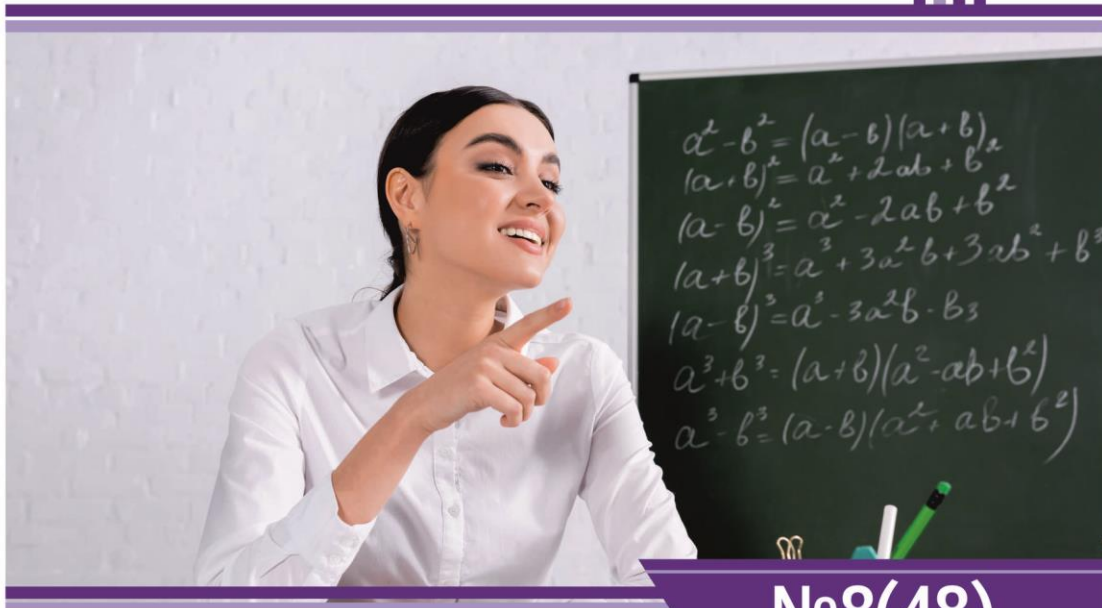




НАУЧНЫЙ  
ФОРУМ  
nauchforum.ru

ISSN: 2541-8394



№8(48)

# НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

МОСКВА, 2021



# НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

№ 8 (48)  
Октябрь 2021 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва  
2021

УДК 51/53+62

ББК 22+3

Н34

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.

**Н34 Научный форум: Технические и физико-математические науки:**  
сб. ст. по материалам XLVIII междунар. науч.-практ. конф. –  
№ 8 (48). – М.: Изд. «МЦНО», 2021. – 34 с.

ISSN 2541-8394

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

ISSN 2541-8394

ББК 22+3

© «МЦНО», 2021

## **Оглавление**

<b>Раздел 1. Технические науки</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы</b>	<b>4</b>
ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР С СОЛНЕЧНОЙ НАКАЧКОЙ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМОСЕ Кузяков Борис Алексеевич	4
<b>1.2. Транспорт</b>	<b>9</b>
МЕХАНИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ДВИГАТЕЛЯ ОТТО: ВЫВОД ОСНОВНЫХ УРАВНЕНИЙ В ПЕРВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ Кодиров Нодир	9
<b>Физико-математические науки</b>	<b>27</b>
<b>Раздел 2. Физика</b>	<b>27</b>
<b>2.1. Оптика</b>	<b>27</b>
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КИНЕТИЧЕСКОЙ ПОДВИЖНОСТИ ИЗ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ ГИПЕРЗВУКА В РАСТВОРАХ Сабиров Леонард Мухаммеджанович Каршибоев Шавкат Эсиргапович Кадиров Шавкат Абдуллаевич Жураев Йулчи Тошмамадович Буриев Сардор Бегмурод Угли Хасанов Мухриддин Абдурасул Угли	27

## РАЗДЕЛ 1.

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### 1.1. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

##### ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР С СОЛНЕЧНОЙ НАКАЧКОЙ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМОСЕ

**Кузяков Борис Алексеевич**

канд. физ.-мат. наук, доцент,  
Российский Технологический Университет МИРЭА,  
РФ, г. Москва

##### A SOLAR - PUMPED FIBER LASER IN NEAR-EARTH SPACE ORBITS

**Boris Kuzyakov**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,  
Russian Technological University MIREA,  
Russia, Moscow

**Аннотация.** В работе рассматриваются перспективные конструкции волоконного лазера с солнечной накачкой, предназначенного для работ на околоземных космических орбитах. Предложенная перспективная схема волоконного лазера с солнечной накачкой, свободна от недостатков приведенных схем других авторов. В конструкции гелиоконцентратора используется концепция солнечного паруса, прошедшая экспериментальную апробацию на отечественных космических аппаратах, с положительными оценками и суперсовременный материал КАПТОН. Такие перспективные лазеры могут быть использованы, как базовые, при реализации Солнечных Космических Электростанций.

**Abstract.** The paper considers promising designs of a solar-pumped fiber laser designed for operations in near-Earth space orbits. The proposed promising scheme of a solar-pumped fiber laser is free from the disadvantages of the above schemes of other authors. The design of the solar concentrator uses the concept of a solar sail, which has been experimentally tested on domestic spacecraft, with positive ratings and the ultra-modern KAPTON material. Such promising lasers can be used as basic ones in the implementation of Solar Space Power Plants.

**Ключевые слова:** волоконный лазер; солнечная накачка; космические орбиты; гелиоконцентратор; солнечный парус; материал КАПТОН; Солнечные Космические Электростанции.

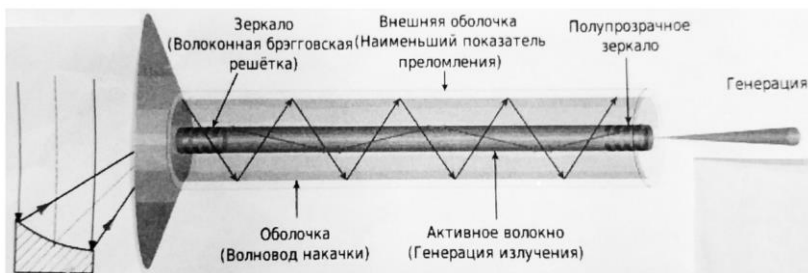
**Keywords:** fiber laser; solar pumping; space orbits; solar concentrator; solar sail; KAPTON material; Solar Space Power Plants.

Публикаций во волоконным лазерам (ВЛ) с солнечной накачкой (СН) весьма много [1-4]. Схема ВЛ-СН по варианту №1, включает волновод - с одной сердцевинной и для энергоснабжения лазерных диодов накачки ВЛ, применяются солнечные батареи (СБ). Этими вопросами занимались и занимаются как профессионалы, так и начинающие, молодые специалисты. Например, в работе [3], рассматривается конструкция ВЛ-СН с использованием всех необходимых элементов, включая фильтр солнечного излучения для выделения длин волн накачки в диапазоне 0,9 мкм. Однако он выполнен в виде компактного элемента и расположен в схеме накачки, в области, где циркулирует уже сфокусированное излучение. Так как, его плотность мощности весьма высока, введена специальная система охлаждения с жидкостными хладагентами. Это, в свою очередь усложняет всю конструкцию и приводит к росту массогабаритных параметров. Пример использования СБ на МКС, приведен на рисунке 1.



*Рисунок 1. Солнечные Батареи  
(светлые и темные прямоугольники) на МКС*

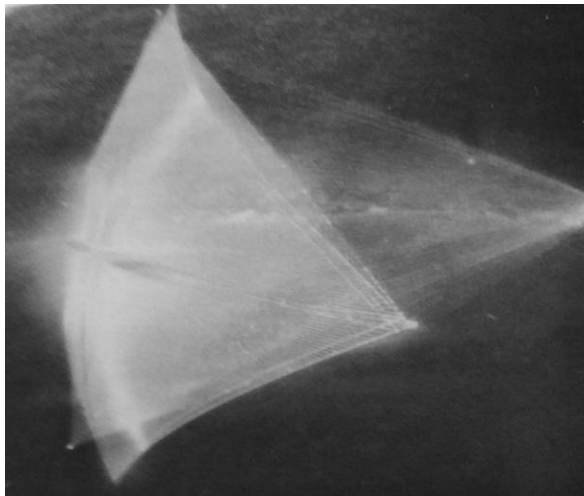
Как известно [4], общая их площадь превышает 2500 м<sup>2</sup>. При этом, они хорошо исследованы. Анализ изменений эффективности СБ на разных витках полета МКС, периодически проходящих над материками и океанами, показывает, что они весьма существенны [4] и превышают 12% в максимумах. При этом, прямое питание диодов накачки ВЛ (вариант № 1) от СБ - затруднено. Для устойчивого энергоснабжения ВЛ, по этой схеме, необходим промежуточный выравнивающий накопитель, соответствующей мощности. Нужно заметить, что аккумуляторы применяются практически во всех системах энергоснабжения КА. Однако, это приводит к дополнительному росту массогабаритных параметров всего устройства. Кроме того, в условиях космического пространства, происходит интенсивное термоциклирование всей аппаратуры в широком диапазоне температур. Перечисленные факторы обуславливают сложность и жёсткость требований на применение СБ для питания ВЛ по схеме №1. В схеме ВЛ с прямой солнечной накачкой (рисунок 2), вариант № 2, СБ не применяются, что позволяет существенно облегчить требования к установке.



**Рисунок 2. Схема ВЛ-СН, вариант № 2, слева показан фрагмент концентратора**

Для повышения эффективности солнечной накачки в ВЛ-СН, предлагается использовать многосердцевинную структуру волноволокна, состоящую из нескольких активных сердцевин и нескольких световодов накачки. В конструкции гелиоконцентратора, на всей отражающей поверхности, нанесен пленочный фильтр для выделения солнечных волн накачки. При этом, на фильтр большой площади, воздействует солнечное излучение обычной интенсивности. В конструкции гелиоконцентратора (СК) используется концепция солнечного паруса (рисунок 3), прошедшая экспериментальную апробацию на отечественных космических аппаратах и получившую положительную оценку. Ещё 04.02.1993 г. на транспортно-грузовом корабле «Прогресс» в

непосредственной близости к орбитальной станции «МИР» была развернута центробежная пленочная конструкция [5] диаметром 20 м. Кроме того, в предлагаемом СК используется суперсовременный материал КАПТОН, хорошо выдерживающий термоциклирование на околоземных орбитах.



**Рисунок 3. СК в космосе, в раскрытом состоянии**

Такие перспективные волоконные лазеры могут быть использованы, как базовые, при реализации Космических Солнечных Электростанций (КСЭС). Создание КСЭС стимулируется ростом цен на традиционные энергоносители, ущербом от природных катаклизмов (более 1/3 триллиона долларов по данным ООН в 2011 г.), связанных с техногенным воздействием традиционной энергетики на окружающую среду и рядом других важных применений. В США и Японии ведутся интенсивные разработки КСЭС, они базируются на СВЧ-концепции и использовании крупногабаритных каркасных конструкций (до 5 км). В Японском проекте КСЭС используется Модуль СБ - 95 x 100 м. В КНР планируют построить КСЭС в скором времени. Испытания новой технологии [7] начнутся уже в 2022 г. В РФ пользуются приоритетом две концепции создания КСЭС с лазерными каналами. Вторая – на базе только центробежных волоконных лазеров с солнечной накачкой. Отечественные концепции [8] позволяют значительно превзойти зарубежные проекты.



### Краткие выводы

1. В работе предложена перспективная схема волоконного лазера с солнечной накачкой (ВЛ - СН), свободная от недостатков схем других авторов. 2. Используется концепция солнечного паруса (СП), прошедшая экспериментальную апробацию на отечественных космических аппаратах (КА), с положительными оценками. В качестве основы солнечного концентратора (СК) предлагается использовать суперсовременный материал КАПТОН. 3. ВЛ-СН по варианту № 2 могут быть использованы в качестве базовых, при реализации Космических Солнечных Электростанций (КСЭС).

### Список литературы:

1. Сигов А.С., Матюхин В.Ф. Лазерные системы для беспроводной передачи энергии. - Альтернативный киловатт, 2012, №6, с. 21-27.
2. Райкунов Г.Г., Комков В.А., Мельников В.М. и др. Центробежные бескаркасные крупногабаритные космические конструкции. М.: Физматлит, 2009, 447 с.
3. Макаренко К.И. Волоконный лазер с солнечной накачкой. Всесоюзная нтк студентов. Студенческая научная весна 2017: Машиностроительные технологии, с. 12 - 18; <http://studvesna.ru>.
4. Зернов А.С., Николаев В.Д. Опыт эксплуатации солнечных батарей служебного модуля международной космической станции. Космическая техника и технологии. №1 (12), 2016, с. 29 - 38.
5. Семенов Ю.П., Бранец В.Н., Григорьев Ю.И. и др. Космический эксперимент по развертыванию пленочного бескаркасного отражателя  $D = 20$  м («Знамя-2»). – Космические исследования, 1994, т. 32, № 4, 5, с. 186-193.
6. Мельников В., Сысоев В., Верпан А. и др. Лидерство России в создании промышленных лазерных космических электростанций для трансляции электро-энергии на Землю. Информационные ресурсы России. №1 (131), 2013, с. 13-17.
7. Лун Лехао. КНР намерена возвести электростанцию над Землей. Портал SpaceNews; [www.MetroNews.ru](http://www.MetroNews.ru), 29.07.2021.
8. Бруевич В.В., Мельников В.М., Паращук Д.Ю. и др. Волоконные лазеры с солнечной накачкой, формируемые центробежными силами, как новое направление в создании космических информационно-энергетических систем. Космонавтика и ракетостроение, т. 6, № 79, 2014, с. 104 - 111.

## 1.2. ТРАНСПОРТ

### МЕХАНИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ДВИГАТЕЛЯ ОТТО: ВЫВОД ОСНОВНЫХ УРАВНЕНИЙ В ПЕРВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

*Кодиров Нодир*

*независимый исследователь,  
Республика Узбекистан*

### THE MECHANICAL THEORY OF OTTO ENGINE: DERIVATION BASIC EQUATIONS IN FIRST APPROXIMATION

*Nodir Kodirov*

*Independent researcher,  
Uzbekistan*

**Аннотация.** Согласно устоявшимся научным представлениям, двигатель Отто является тепловой машиной. В статье, исходя из механики Ньютона, двигатель Отто рассматривается как механическая машина, подвод теплоты к рабочему телу которой является частным случаем подведения энергии. Даны определения коэффициенту полезного действия и выведено уравнение для его вычисления.

**Abstract.** According to well-established scientific concepts, Otto's engine is a heat engine. In the article, based on Newtonian mechanics, the Otto engine is considered as a mechanical machine, the supply of heat to the working fluid of which is a special case of supplying energy. The definitions of the efficiency are given and the equation for its calculation is derived.

**Ключевые слова:** двигатель Отто, четырехтактный двигатель, теплота, коэффициент полезного действия, “Механическая теория двигателя Отто”.

**Keywords:** Otto engine, four-stroke engine, heat, efficiency, “The mechanical theory of Otto engine”.

### 1. Предпосылки к созданию механической теории двигателя Отто

Двигателем Отто называется четырехтактный поршневой двигатель внутреннего сгорания с внешним смесеобразованием и принудительным (искровым) зажиганием, основной конструкции которого является центральный кривошипно-шатунный механизм (далее КШМ).

Описание работы двигателя Отто имеется в любом учебнике по традиционной теории поршневых двигателей и поэтому не приводится.

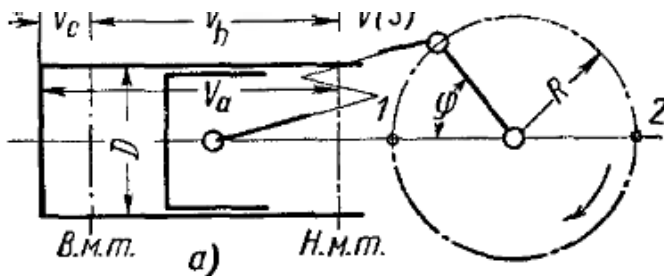
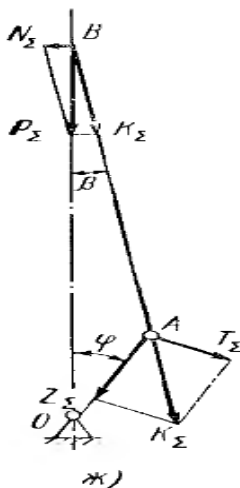


Рисунок 1. Схематичное изображение двигателя Отто [5, с. 62]



$$N_{\Sigma} = P_{\Sigma} \cdot tg\beta$$

$$K_{\Sigma} = \frac{P_{\Sigma}}{\cos\beta}$$

$$T_{\Sigma} = \frac{P_{\Sigma} \cdot \sin(\varphi + \beta)}{\cos\beta}$$

$$Z_{\Sigma} = \frac{P_{\Sigma} \cdot \cos(\varphi + \beta)}{\cos\beta}$$

Рисунок 2. Схема действующих в КШМ сил [5, с. 302]

где  $P_{\Sigma}$ -суммарная сила на поршне,  $N_{\Sigma}$ -боковая сила,  $K_{\Sigma}$ -продольная сила,  $T_{\Sigma}$ -тангенциальная сила,  $Z_{\Sigma}$ -радиальная сила,  $\varphi$ -угол поворота коленчатого вала,  $\beta$ -угол отклонения шатуна.

Из табл. VIII [2, с. 546] следует, что тангенциальная сила  $T_{\Sigma}$  при некоторых положениях механизма может по величине превысить суммарную силу  $P_{\Sigma}$ , что объясняется справедливостью «золотого правила» механики применительно к КШМ: «выигрываешь в силе-проигрываешь в расстоянии, выигрываешь в расстоянии-проигрываешь с силой».

В некотором диапазоне углов поворота коленчатого вала поршень проходит расстояние большее, чем путь, проходимый осью шатунной шейки коленчатого вала, именно в этом диапазоне тангенциальная сила на коленчатом валу и превышает по величине суммарную силу на поршне.

Но если «золотое правило» механики справедливо для некоторого диапазона положений КШМ, то справедлив будет и рассматриваемый ниже идеальный двигатель Отто.

## **2. Идеальный двигатель Отто. Положительная, отрицательная и полезная работа на коленчатом валу. Вывод формулы термического коэффициента полезного действия (далее КПД на коленчатом валу) на коленчатом валу**

Допущения к рассмотрению идеального двигателя Отто:

- нет никакого трения и иных потерь;
- всякая сила считается постоянной по величине;
- коленчатый вал вращается равномерно;
- в такте расширение поршень является ведущим звеном КШМ, а в тактах выпуск, впуск и сжатие ведущим звеном КШМ является коленчатый вал.

Первый такт расширение. К поршню, находящемуся в верхней мертвой точке (далее: ВМТ), подводится энергия  $Q$  (необязательно тепловая, это может быть и механический импульс), эквивалентная работе:

$$Lf = 4 \cdot P \cdot S = 4 \cdot 2 \cdot P \cdot R$$

где 4-количество ходов в рабочем цикле,  $S$ -ход поршня,

$$S = 2 \cdot R$$

где  $R$ -радиус коленчатого вала. В результате поршень за счет работы силы перемещается к нижней мертвой точке (далее: НМТ) на расстояние:

$$S = 2 \cdot R$$

под действием силы, на что затрачивается работа:

$$Lp = 2 \cdot P \cdot R$$

от всей подведенной энергии  $Q$ . За этот ход сила на поршне поворачивает коленчатый вал на угол  $\pi$ , действуя на него с силой  $T$ , что приводит к перемещению шатунной шейки на расстояние:

$$\pi \cdot R$$

на что затрачивается работа:

$$\varphi = T \cdot \pi \cdot R$$

Согласно «золотому правилу» механики, сила  $T$  равна:

$$T = \frac{2 \cdot P \cdot R}{\pi \cdot R} = 0,637 \cdot P$$

Остаток подведенной энергии  $Q$ , равный:

$$L_3 = L_f - L_p = 4 \cdot 2 \cdot P \cdot R - 2 \cdot P \cdot R = 3 \cdot 2 \cdot P \cdot R$$

запасается в коленчатый вал (для простоты), что выражается некоторой силой:

$$T_3 = \frac{3 \cdot 2 \cdot P \cdot R}{\pi \cdot R} = 1,911 \cdot P$$

Далее в трех ходах уже коленчатый вал с силой  $T$  перемещает поршень на расстояние:

$$S = 3 \cdot 2 \cdot R = 6 \cdot R$$

Сила  $T_3$  равномерно распределяется по трем тактам, отсюда:

$$T = \frac{T_3}{3} = \frac{1,911 \cdot P}{3} = 0,637 \cdot P$$

Однако, согласно определению из элементарной физики, работа силы положительна, если она ускоряет тело, и отрицательна, если оно замедляет его [4, с. 185].

Известно, что в КШМ в первой половине хода до определенного угла ПКВ всегда поршень ускоряется, во второй половине же хода поршень замедляется. Если вычислить угол ПКВ, когда скорость поршня максимальна, то можно точно вычислить всю положительную и отрицательную работу силы на коленчатом валу, соответственно, можно вывести уравнение зависимости КПД на коленчатом валу от этого угла.

Определение 1: положительная работа силы на коленчатом валу есть работа, затрачиваемая коленчатым валом на ускорение поршня.

Определение 2: отрицательная работа силы на коленчатом валу есть работа, затрачиваемая коленчатым валом на замедление поршня.

Определение 3: полезная работа силы на коленчатом валу есть сумма по знаку положительной и отрицательной работы на коленчатом валу.

Определение 4: термический КПД на коленчатом валу есть отношение полезной работы силы на коленчатом валу к работе силы над поршнем на его перемещение во всех четырех тактах.

Некоторое отступление: если при ускорении поршня работа положительна, а при замедлении отрицательна, то можно ли говорить, что в такте расширение поршень во второй половине такта совершает отрицательную работу? Нельзя, поскольку сила на поршне в этом такте не препятствует перемещению поршня.

Обозначим угол поворота коленчатого вала, на котором скорость поршня максимальна,  $\varphi_{vmax}$ . Исходя из особенности КШМ, что максимально возможный искомый угол не может быть больше 90 град или  $\frac{\pi}{2}$ , а при  $\varphi_{vmax} = 0$  ускорения поршня быть не может, область определения искомого угла  $\frac{\pi}{2} > \varphi_{vmax} > 0$ .

Используя особенность КШМ, заключающуюся в том, что в первой половине такта до определенного угла поворота коленчатого вала поршень ускоряется-тогда работа положительна, во второй половине же такта поршень замедляется-тогда работа отрицательна. Известно, что искомый угол ПКВ находится после ВМТ в тактах расширение-впуск и до ВМТ в тактах выпуск-сжатие. Такт расширение из решения исключается, так как работа на всем протяжении такта положительна. Остаются такты выпуск, впуск и сжатие.

### **ВЫВОД:**

1. В такте расширение вся работа силы на коленчатом валу положительна:

$$W_{uex} = W_{ex} = 2 \cdot P \cdot R$$

2. Такт выпуск. Особенностью КШМ является то, что угол ПКВ, на котором скорость поршня максимальна, равен не  $\varphi_{max}$ , а  $(\pi - \varphi_{max})$ , поскольку в тактах впуск и расширение поршень движется от ВМТ к НМТ, а в тактах сжатие и выпуск от НМТ к ВМТ.

Полная работа силы на коленчатом валу:

$$W_{eh} = T \cdot \pi \cdot R$$

Так как, угол  $\varphi_{max}$  в такте выпуск-сжатие находится до ВМТ, то положительная работа силы на коленчатом валу:

$$W_{ehp} = T \cdot R \cdot (\pi - \varphi_{vmax})$$

Соответственно, отрицательная работа силы на коленчатом валу:

$$W_{ehn} = T \cdot R \cdot \varphi_{vmax}$$

Полезная работа в такте:

$$\begin{aligned} W_{ueh} &= W_{ehp} - W_{ehn} = T \cdot R \cdot (\pi - \varphi_{vmax}) - T \cdot R \cdot \varphi_{vmax} = \\ &= T \cdot R \cdot \pi - T \cdot R \cdot \varphi_{vmax} - T \cdot R \cdot \varphi_{vmax} = T \cdot R \cdot \pi - 2 \cdot T \cdot R \cdot \varphi_{vmax} \end{aligned}$$

Так как:

$$T = 0,637 \cdot P$$

То:

$$\begin{aligned} W_{ueh} &= T \cdot R \cdot \pi - 2 \cdot T \cdot R \cdot \varphi_{vmax} = \\ &= 0,637 \cdot P \cdot R \cdot \pi - 2 \cdot 0,637 \cdot P \cdot R \cdot \varphi_{vmax} = \\ &= 2 \cdot P \cdot R - 1,274 \cdot P \cdot R \cdot \varphi_{vmax} \end{aligned}$$

3. Такт впуск. Полная работа силы на коленчатом валу в такте впуск:

$$W_i = T \cdot \pi \cdot R$$

Положительная работа силы на коленчатом валу:

$$W_{ip} = T \cdot R \cdot \varphi_{vmax}$$

Отрицательная работа силы на коленчатом валу:

$$W_{in} = T \cdot R \cdot (\pi - \varphi_{vmax})$$

Полезная работа силы на коленчатом валу:

$$\begin{aligned} W_{ui} &= W_{ip} - W_{in} = T \cdot R \cdot \varphi_{vmax} - T \cdot R \cdot (\pi - \varphi_{vmax}) = \\ &= T \cdot R \cdot (\varphi_{vmax} - \pi + \varphi_{vmax}) = T \cdot R \cdot 2 \cdot \varphi_{vmax} - T \cdot R \cdot \pi \end{aligned}$$

Так как:

$$T = 0,637 \cdot P$$

То:

$$\begin{aligned} W_{ui} &= T \cdot R \cdot 2 \cdot \varphi_{vmax} - T \cdot R \cdot \pi = \\ &= 0,637 \cdot P \cdot R \cdot 2 \cdot \varphi_{vmax} - 0,637 \cdot P \cdot R \cdot \pi = \\ &= 1,274 \cdot P \cdot R \cdot \varphi_{vmax} - 2 \cdot P \cdot R \end{aligned}$$

4. Такт сжатие. Результат такой же, как и для такта выпуск:

$$W_{uc} = 2 \cdot P \cdot R - 1,274 \cdot P \cdot R \cdot \varphi_{vmax}$$

Так как положительная работа в такте расширение:

$$W_{ex} = 2 \cdot P \cdot R$$

То полезная работа в цикле

$$\begin{aligned} W_u &= W_{ex} + W_{ueh} + W_{ui} + W_{uc} = \\ &= 2 \cdot P \cdot R + 2 \cdot P \cdot R - 1,274 \cdot P \cdot R \cdot \varphi_{vmax} + \\ &+ 1,274 \cdot P \cdot R \cdot \varphi_{vmax} - 2 \cdot P \cdot R + 2 \cdot P \cdot R - 1,274 \cdot P \cdot R \cdot \varphi_{vmax} = \\ &= 4 \cdot P \cdot R - 1,274 \cdot P \cdot R \cdot \varphi_{vmax} \end{aligned}$$

Термический КПД на коленчатом валу:

$$\eta_c = \frac{W_u}{L_f} = \frac{P \cdot R \cdot (4 - 1,274 \cdot \varphi_{vmax})}{4 \cdot 2 \cdot P \cdot R} = \frac{4 - 1,274 \cdot \varphi_{vmax}}{8}$$
$$\eta_c = 0,5 - 0,159 \cdot \varphi_{vmax} \quad (1)$$

Последовательность рабочего цикла идеального двигателя Отто ясна из описания выше- расширение-выпуск-впуск-сжатие. Необходимо подчеркнуть, что полученная не учитывает механические потери, имеющие место быть в реальных двигателях.

### 3. Нахождение угла поворота коленчатого вала, на котором скорость поршня максимальна

Чтобы найти угол ПКВ  $\varphi_{vmax}$ , на котором скорость максимальна, достаточно решить уравнение 309 [5, с. 295]:

$$\cos \varphi_{vmax} + \lambda \cdot \cos 2 \varphi_{vmax} = 0,$$

где  $\lambda$ - отношение радиуса кривошипа (коленчатого вала) к длине шатуна,

$$\lambda = \frac{R}{L}$$

Решение:

Так как:

$$\cos 2 \varphi_{vmax} = 2 \cdot \cos^2 \varphi_{vmax} - 1$$

То:

$$\cos \varphi_{vmax} + \lambda \cdot (2 \cdot \cos^2 \varphi_{vmax} - 1) = 0$$

Далее:

$$2 \cdot \lambda \cdot \cos^2 \varphi_{vmax} + \cos \varphi_{vmax} - \lambda = 0$$



Обозначим:

$$x = \cos\varphi_{vmax}$$

Получаем квадратное уравнение:

$$2 \cdot \lambda \cdot x^2 + x - \lambda = 0$$

Из квадратного уравнения выше:

$$a = 2 \cdot \lambda$$

$$b = 1$$

$$c = -\lambda$$

Решаем и получаем два корня:

$$x_{1,2} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 + 8 \cdot \lambda^2}}{4 \cdot \lambda}$$

Численная проверка показала, что действительный корень только один:

$$x_1 = \frac{-1 + \sqrt{1 + 8 \cdot \lambda^2}}{4 \cdot \lambda}$$

Теперь:

$$\cos\varphi_{vmax} = \frac{-1 + \sqrt{1 + 8 \cdot \lambda^2}}{4 \cdot \lambda}$$

И действительный корень уравнения:

$$\varphi_{vmax} = \arccos\left(\frac{-1 + \sqrt{1 + 8 \cdot \lambda^2}}{4 \cdot \lambda}\right) \quad (2)$$

#### 4. Применение выдвигаемой теории к реальным двигателям

Согласно термодинамики, термический КПД идеального цикла Отто не зависит ни от механики, ни от степени повышения давления, а зависит только от степени сжатия и свойства рабочего тела (показателя адиабаты  $k$ ) [3, с. 239]:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (3)$$

Определение 5: термический КПД поршня идеального двигателя Отто есть отношение работы силы над поршнем во всех четырех тактах ко всей подведенной теплоте:

$$\eta_p = \frac{L_f}{Q} \quad (4)$$

Определение 6: Общий КПД идеального двигателя Отто есть произведение термического КПД поршня и термического КПД на коленчатом валу и выражает отношение работы силы на коленчатом валу во всех четырех тактах ко всей подведенной теплоте:

$$\eta_0 = \eta_p \cdot \eta_c = \left(\frac{L_f}{Q}\right) \cdot \left(\frac{W_u}{L_f}\right) = \frac{W_u}{Q} \quad (5)$$

Приняв, что термический КПД идеального цикла Отто и термический КПД поршня идеального двигателя Отто суть одно и то же, а также исходя из того, что сила на поршне есть произведение давления на площадь поршня, в табл. 1 приведен общий КПД идеального двигателя Отто применительно к реальным двигателям. Уравнение:

$$\eta_0 = \eta_p \cdot \eta_c = \eta_t \cdot \eta_c$$

**Таблица 1.**

**Общий КПД (без учета механических потерь) некоторых реальных двигателей ( $\lambda$  из разных источников)**

№	Марка, модель	$\lambda$	$\eta_c$	$\varepsilon$	$\eta_p$	$\eta_0$
1.	ВАЗ-21124	0,293	0,291	10,30	0,607	0,177
2.	ВАЗ-21126	0,284	0,290	11,00	0,617	0,179
3.	ВАЗ-21129	0,284	0,290	10,45	0,609	0,177
4.	ВАЗ-21179	0,336	0,296	10,30	0,607	0,180
5.	ВАЗ-11182	0,295	0,291	10,50	0,610	0,177
6.	Honda Integra Type R	0,316	0,294	11,00	0,617	0,181

Так как производители легковых автомобилей не указывают эффективный удельный расход топлива, единственным достоверным источником, дающим возможность выяснить значение КПД хотя бы одного реального двигателя, является приложение 5 [1, с. 88-89]. Выбираем самый неэкономичный двигатель МеМЗ-966 с эффективным удельным расходом топлива на номинальной частоте вращения коленчатого вала:

$$g_e = 300 \frac{\text{г}}{\text{лс}\cdot\text{ч}}$$

Что в переводе в единицы измерения СИ составляет:

$$g_e = 407 \frac{\text{г}}{\text{кВт}\cdot\text{ч}}$$

Вычислить же реальный общий КПД можно по уравнению [5, с. 157]:

$$\eta_0 = \frac{3600}{\cdot Hw}$$

В нашем конкретном случае это:

$$\eta_0 = \frac{3600}{\cdot H_w} = \frac{3600}{407 \cdot 44} = 0,201 \text{ или } 20\%.$$

Но ведь это двигатель, выпускавшийся в 70-х годах прошлого века в бывшем СССР, и даже у него с учетом механических потерь общий (в данном случае эффективный) КПД выше, чем у любого из современных двигателей без учета механических потерь, приведенных в табл.1, чего в принципе не может быть. Другими словами, термический КПД идеального цикла Отто и термический КПД поршня идеального двигателя Отто по сути разные величины.

### 5. Термический КПД поршня идеального двигателя Отто

Как уже сказано выше, согласно термодинамики, термический КПД идеального цикла Отто не зависит ни от механики, ни от степени повышения давления, а зависит только от степени сжатия и свойства рабочего тела (показателя адиабаты  $k$ ) [3, стр. 239]:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}}$$

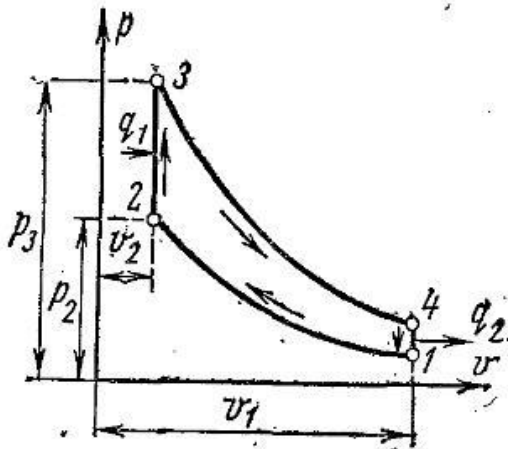


Рисунок 3.  $p$ - $V$ -диаграмма идеального цикла Отто [3, с. 238]

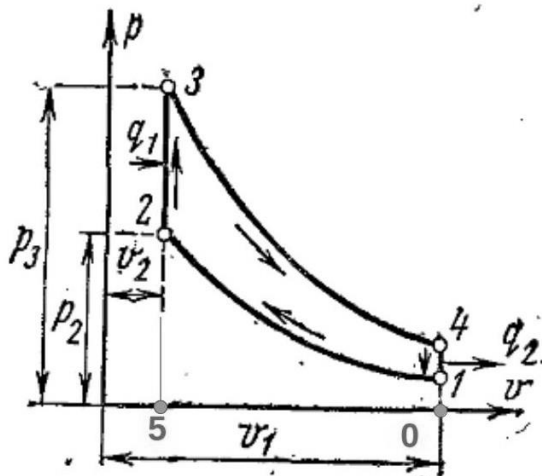


Рисунок 4. (отредактированный рис. 3)

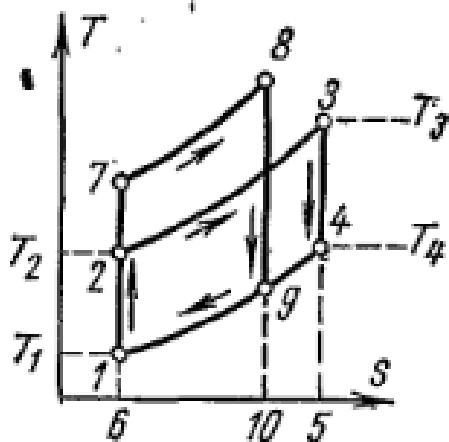


Рисунок 5. T-S-диаграмма идеального цикла Отто [3, с. 238]

На p-V диаграмме (Рис.3) площадь фигуры 1-2-3-4 есть не что иное, как разность работы расширения и сжатия:

$$l = l_e - l_c$$

или площадь фигуры 0-5-3-4 за вычетом площади фигуры 0-5-2-1 (Рис.4), причем выражение:

$$\frac{l}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}\right)$$

есть преобразованная в механическую работу теплота, являющаяся разницей площадей фигур 6-2-3-5 и 6-1-4-5 на Т-S диаграмме (Рис. 5) и соответствует площади фигуры 1-2-3-4 на р-V диаграмме (Рис.3).

Другими словами, возвращаясь к идеальному циклу Отто, теоретическая полезная работа идеального двигателя Отто выражается не разницей, а суммой площадей двух фигур: 0-5-3-4 и 0-5-2-1 (Рис. 4).

Выведем формулу термического КПД поршня идеального двигателя Отто преобразованием уравнения теоретической полезной работы [3, стр. 240], но сначала нужно выяснить, можно ли получить это уравнение преобразованием располагаемых внешних (полезных) работ двух изохорных процессов 2-3 и 4-1 (Рис. 3).

Располагаемая внешняя (полезная) работа изохорного процесса (Рис.3) 2-3 [1, с. 80]:

$$l_{(2-3)} = V_2 \cdot (p_3 - p_2)$$

Располагаемая внешняя (полезная) работа изохорного процесса (Рис.3) 4-1 [1, с. 80]:

$$l_{(4-1)} = V_1 \cdot (p_4 - p_1)$$

Вычитаем второе от первого и получаем:

$$l_{(2-3)} - l_{(4-1)} = V_2 \cdot (p_3 - p_2) - V_1 \cdot (p_4 - p_1)$$

Раскрываем скобки:

$$\begin{aligned} l_{(2-3)} - l_{(4-1)} &= V_2 \cdot p_3 - V_2 \cdot p_2 - V_1 \cdot p_4 + V_1 \cdot p_1 \\ &= p_3 \cdot V_2 - p_4 \cdot V_1 - p_2 \cdot V_2 + p_1 \cdot V_1 \\ l_{(2-3)} - l_{(4-1)} &= (p_3 \cdot V_2 - p_4 \cdot V_1) - (p_2 \cdot V_2 - p_1 \cdot V_1) \end{aligned}$$

Последнее уравнение описывает фигуры 3-4-0-5 и 1-2-5-0 (рис. 4), выражающие работу адиабатного расширения  $l_e$  и адиабатного сжатия  $l_c$  идеального цикла Отто. Уравнение работы изменения объема согласно определению [1, с. 85] дополняется выражением  $\frac{1}{k-1}$ :

$$\begin{aligned} l &= l_e - l_c = \frac{1}{k-1} \cdot (l_{(2-3)} - l_{(4-1)}) \\ &= \frac{1}{k-1} \cdot (p_3 \cdot V_2 - p_4 \cdot V_1) - \frac{1}{k-1} \cdot (p_2 \cdot V_2 - p_1 \cdot V_1) \end{aligned}$$

Если уравнение теоретической полезной работы [3, стр. 240] можно получить преобразованием разницы располагаемых внешних (полезных) работ двух изохорных процессов с прибавлением выражения выше, то сумму тех же располагаемых внешних (полезных) работ двух изохорных процессов можно получить обратным приемом, удалив дополняющее выражение  $\frac{1}{k-1}$ :

$$l_{(2-3)} + l_{(4-1)} = (p_3 \cdot V_2 - p_4 \cdot V_1) + (p_2 \cdot V_2 - p_1 \cdot V_1)$$

Раскрываем скобки:

$$l_{(2-3)} + l_{(4-1)} = p_3 \cdot V_2 - p_4 \cdot V_1 + p_2 \cdot V_2 - p_1 \cdot V_1$$

Получаем:

$$l_{(2-3)} + l_{(4-1)} = p_3 \cdot V_2 + p_2 \cdot V_2 - p_4 \cdot V_1 - p_1 \cdot V_1$$

И:

$$l_{(2-3)} + l_{(4-1)} = V_2 \cdot (p_3 + p_2) - V_1 \cdot (p_4 + p_1)$$

В итоге сумма фигур 3-4-0-5 и 1-2-5-0 (рис.4), выражающих работу адиабатного расширения  $l_e$  и адиабатного сжатия  $l_c$  идеального цикла Отто, описываются как разница располагаемых внешних (полезных) работ двух необычных изохорных процессов.

Теплота процесса:

$$l_{(2-3)} = V_2 \cdot (p_3 + p_2)$$

равна:

$$q^{23} = Cv \cdot (T_3 + T_2)$$

Теплота процесса:

$$l_{(4-1)} = V_1 \cdot (p_4 + p_1)$$

равна:

$$q^{41} = Cv \cdot (T_4 + T_1)$$

Тогда сумма располагаемых внешних (полезных) работ двух необычных изохорных процессов 2-3 и 4-1 выражается в теплоте уравнением:

$$l_{(2-3)} + l_{(4-1)} = V_2 \cdot (p_3 + p_2) - V_1 \cdot (p_4 + p_1) = q^{23} - q^{41}$$

Действия выше не более чем математический приём для вычисления суммы площадей фигур 0-5-3-4 и 0-5-2-1.

Подводимая теплота  $q_1$  неизменна:

$$q_1 = Cv \cdot (T_3 - T_2)$$

или площадь фигуры 3-5-6-2 на T-S диаграмме (Рис.5)

Параметры характерных точек известны [3, с. 238]:

$$T_1, T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{(k-1)}, T_3 = \Lambda \cdot T_2 = \Lambda \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{(k-1)},$$

$T_4 = \frac{T_3}{\varepsilon^{(k-1)}} = \frac{\Lambda \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{(k-1)}}{\varepsilon^{(k-1)}} = \Lambda \cdot T_1$ , где  $k$ - показатель адиабаты,  $\Lambda$ - степень повышения давления.

Термический КПД поршня идеального двигателя Отто:

$$\begin{aligned} \eta_p &= \frac{q^{23} - q^{41}}{q_1} = \frac{Cv \cdot (T_3 + T_2) - Cv \cdot (T_4 + T_1)}{Cv \cdot (T_3 - T_2)} \\ &= \frac{Cv \cdot (T_3 + T_2)}{Cv \cdot (T_3 - T_2)} - \frac{Cv \cdot (T_4 + T_1)}{Cv \cdot (T_3 - T_2)} \\ &= \frac{(\Lambda \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{(k-1)} + T_1 \cdot \varepsilon^{(k-1)})}{(\Lambda \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{(k-1)} - T_1 \cdot \varepsilon^{(k-1)})} - \frac{(\Lambda \cdot T_1 + T_1)}{(\Lambda \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{(k-1)} - T_1 \cdot \varepsilon^{(k-1)})} = \\ &= \frac{T_1 \cdot \varepsilon^{(k-1)} \cdot (\Lambda + 1)}{T_1 \cdot \varepsilon^{(k-1)} \cdot (\Lambda - 1)} - \frac{T_1 \cdot (\Lambda + 1)}{T_1 \cdot \varepsilon^{(k-1)} \cdot (\Lambda - 1)} = \frac{\Lambda + 1}{\Lambda - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{(k-1)}}\right) \end{aligned}$$

Окончательно:

$$\eta_p = \frac{\Lambda + 1}{\Lambda - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{(k-1)}}\right) \quad (6)$$

В идеальном двигателе Отто расширение и сжатие совершаются по адиабате  $k=1,4$ . Для расчета реальных двигателей показатель политропы  $n_4$  вычисляется по уравнению:

$$n_4 = \frac{\log_{\varepsilon} \left( \frac{p_z + p_c}{p_b + p_a} \right)}{\log_{\varepsilon} \left( \frac{V_a}{V_{hc}} \right)}$$

а лучше по этому:

$$n_4 = \frac{\log_{\varepsilon} \left( \frac{T_z + T_c}{T_b + T_a} \right)}{\log_{\varepsilon} \left( \frac{V_a}{V_{hc}} \right)} + 1$$

где  $\varepsilon$ - степень сжатия,  $V_a$ - полный объем цилиндра,  $V_{hc}$ - объем камеры сгорания. Так как:

$$\frac{V_a}{V_{hc}} = \varepsilon$$

А:

$$\log_{\varepsilon} \left( \frac{V_a}{V_{hc}} \right) = \log_{\varepsilon}(\varepsilon) = 1$$

То уравнения выше приводятся к виду:

$$n_4 = \log_{\varepsilon} \left( \frac{p_z + p_c}{p_b + p_a} \right) \quad (7)$$

И:

$$n_4 = \log_{\varepsilon} \left( \frac{T_z + T_c}{T_b + T_a} \right) \quad (8)$$

### 6. Дополнение уравнения термического КПД поршня

Выведенное уравнение (6) термического КПД поршня, строго говоря, неполное, поскольку не учитывает работу силы над поршнем в тактах выпуск и впуск. В термодинамике подразумевается, что эти два такта есть изобарные процессы [3, стр. 237]. На рис. 6 приведено изображение тактов выпуск (отрезок 1-6) и впуск (отрезок 6-1) на  $p$ - $V$ -диаграмме.

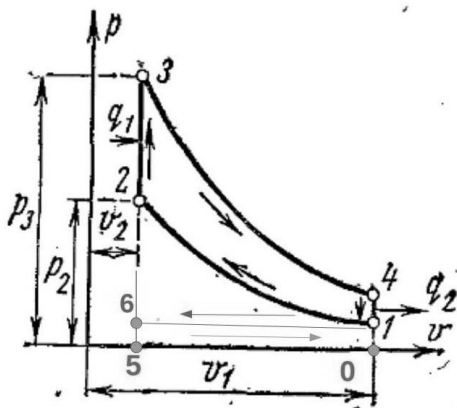


Рисунок 6. Изображение тактов выпуск и впуск на  $p$ - $V$  диаграмме

Располагаемая внешняя (полезная работа) в изобарном процессе равна нулю [3, с. 82], но удельная работа изменения объема имеет смысл [3, с. 82]:

$$l = p \cdot (V_1 - V_2)$$



Однако оба этих такта, в действительности, не являются строго изобарными. Для дополнения выведенного уравнения (6) термического КПД поршня, предлагается вычислить дважды площадь фигуры 6-1-0-5 для тактов выпуск и впуск и прибавить к уравнению (6):

$$l_i = l_{eh}$$

или

$$l_{ieh} = 2 \cdot l_i$$

Количество теплоты в двух этих тактах:

$q_{ieh} = q^3 = 2 \cdot Cp \cdot (T_1 - T_0)$ , где  $T_0$ - температура окружающей среды,  $T_1$ -температура рабочего тела в конце такта впуск-начале такта сжатие.

Так как подводимая теплота  $q_1$  неизменна:

$$q_1 = Cv \cdot (T_3 - T_2)$$

То дополнительный член уравнения (8):

$$\begin{aligned} \frac{q^3}{q_1} &= \frac{2 \cdot Cp \cdot (T_1 - T_0)}{Cv \cdot (T_3 - T_2)} \\ &= \frac{2 \cdot Cp \cdot T_0}{Cv \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{(k-1)} \cdot (\Lambda - 1)} - \frac{2 \cdot Cp \cdot T_0}{Cv \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{(k-1)} \cdot (\Lambda - 1)} \end{aligned}$$

Так как:

$$\frac{Cp}{Cv} = k$$

То:

$$\frac{q^3}{q_1} = \frac{2 \cdot k}{\varepsilon^{(k-1)} \cdot (\Lambda - 1)} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right)$$

Полное уравнение термического КПД поршня принимает вид:

$$\eta_p = \frac{\Lambda+1}{\Lambda-1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{(k-1)}}\right) + \frac{2 \cdot k}{\varepsilon^{(k-1)} \cdot (\Lambda-1)} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) \quad (9)$$

Итак, термический КПД поршня идеального двигателя Отто:

- зависит от степени сжатия и свойства рабочего тела;
- зависит от степени повышения давления.

Параметры характерных точек [3, с. 238]:

$p_1$ - $p_a$ - давление в начале такта сжатие,  $T_1$ - $T_a$ - температура в начале такта сжатие,  $p_2$ - $p_c$ - давление в конце такта сжатие,  $T_2$ - $T_c$ - температура в конце такта сжатие,  $p_3$ - $p_z$ - давление в начале такта расширение,

$T_3-T_z$ - температура в начале такта расширения,  $p_4-p_b$ - давление в конце такта расширения,  $T_4-T_b$ - температура в конце такта расширения.

Уравнение общего КПД идеального двигателя Отто (без учета механических потерь) в первом приближении:

$$\eta_0 = \eta_p \cdot \eta_c = \left( \frac{\lambda+1}{\lambda-1} \cdot \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{(k-1)}} \right) + \frac{2 \cdot k}{\varepsilon^{(k-1)} \cdot (\lambda-1)} \cdot \left( 1 - \frac{T_0}{T_1} \right) \right) \cdot (0,5 - 0,159 \cdot \varphi_{max}) \quad (10)$$

В табл. 2 приводятся вычисленные по уравнениям (1), (8) и (10) значения общего КПД (без учета механических потерь) применительно к показанным выше реальным двигателям на номинальной частоте вращения коленчатого вала. Показатель  $\eta_4$  вычислен по уравнению (8).

Температура  $T_0$  принимается 293 К, атмосферное давление 101325 Па, коэффициент избытка воздуха  $\alpha=1$ . Расчет характерных точек рабочего тела по русской классической методике теплового расчета проф.-ров В.И. Гриневецкого - Е.К. Мазинга с некоторым учетом уточненной методики проф. И.И. Вибе.

**Уточнение: расчет ведется без учета некоторых важных факторов, результаты могут не совпадать с реальными параметрами приведенных в табл. 2 двигателей.**

*Таблица 2.*

**Общий КПД (без учета механических потерь)  
некоторых реальных двигателей**

№	Марка, модель	$\lambda$	$\eta_c$	$\varepsilon$	$\eta_4$	$\Lambda$	$T_1$	$\eta_p$	$\eta_0$
1.	BA3-21124	0,293	0,291	<b>10,30</b>	<b>1,287</b>	<b>3,820</b>	<b>334</b>	<b>0,891</b>	<b>0,260</b>
2.	BA3-21126	0,284	0,290	<b>11,00</b>	<b>1,289</b>	<b>3,700</b>	<b>332</b>	<b>0,926</b>	<b>0,269</b>
3.	BA3-21129	0,284	0,290	<b>10,45</b>	<b>1,289</b>	<b>3,730</b>	<b>334</b>	<b>0,912</b>	<b>0,265</b>
4.	BA3-21179	0,336	0,296	<b>10,30</b>	<b>1,291</b>	<b>3,730</b>	<b>334</b>	<b>0,913</b>	<b>0,270</b>
5.	BA3-11182	0,295	0,291	<b>10,50</b>	<b>1,287</b>	<b>3,800</b>	<b>333</b>	<b>0,898</b>	<b>0,262</b>
6.	Honda Integra Type R	0,316	0,294	<b>11,00</b>	<b>1,293</b>	<b>3,730</b>	<b>333</b>	<b>0,931</b>	<b>0,273</b>

**Список литературы:**

1. Вибе И.И. Тепловой расчет двигателей внутреннего сгорания (Уточненный метод). Методическое пособие. Челябинский Политехнический институт, 1972, с. 100.
2. Вихерт М.М. и др. Конструкция и расчет автотракторных двигателей. Изд. 2-е. М., Машиностроение, 1964, с. 546.
3. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. Учебн. пособие для неэнергетических специальностей вузов. М., «Высшая школа», 1975, с. 496.
4. Под ред. акад. Г.С.Ландсберга, «Элементарный учебник физики», Том 1, Изд. 5-ое, перераб. М., «Наука», 1984, с. 616.
5. Ховах М.С. и Маслов Г. С. Автомобильные двигатели. Изд. 2-е, пер. и доп. М., «Машиностроение», 1971, стр. 456.

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

### РАЗДЕЛ 2.

### ФИЗИКА

#### 2.1. ОПТИКА

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КИНЕТИЧЕСКОЙ ПОДВИЖНОСТИ ИЗ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ ГИПЕРЗВУКА В РАСТВОРАХ

**Сабиров Леонард Мухаммеджанович**

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

**Каршибоев Шавкат Эсиргапович**

*аспирант,  
Самаркандский государственный университет,  
Республика Узбекистан, г. Самарканд*

**Кадиров Шавкат Абдуллаевич**

*ассистент  
Ургенчский государственный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ургенч*

**Жураев Йулчи Тошмамадович**

*ассистент  
Самаркандский государственный университет,  
Республика Узбекистан, г. Самарканд*

**Буриев Сардор Бегмурод Угли**

*лаборант,  
Самаркандский государственный университет,  
Республика Узбекистан, г. Самарканд*

**Хасанов Мухриддин Абдурасул Угли**

научный сотрудник,  
Самаркандский государственный университет,  
Республика Узбекистан, г. Самарканд

**DETERMINATION OF THE KINETIC MOBILITY  
COEFFICIENT FROM THE TEMPERATURE DEPENDENCE  
OF HYPERSOUND ABSORPTION IN SOLUTIONS**

**Leonard Sabirov**

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Prof.,  
Samarkand State University,  
Uzbekistan, Samarkand

**Shavkat Karshiboev**

Graduate student  
Samarkand State University,  
Uzbekistan, Samarkand

**Shavkat Kadirov**

Assistant  
Urgench State University,  
Uzbekistan, Urgench

**Yulchi Juraev**

Assistant  
Samarkand State University,  
Uzbekistan, Samarkand

**Sardor Buriev**

Laboratory assistant  
Samarkand State University,  
Uzbekistan, Samarkand

**Mukhriddin Khasanov**

Researcher,  
Samarkand State University,  
Uzbekistan, Samarkand

**Аннотация.** Рассмотрена методика изучения величины коэффициента кинетической подвижности в бинарных растворах, а также приведена принципиальная схема экспериментальной установки на базе двухпроходного интерферометра Фабри-Перо, сопоставлены теоретические и экспериментальные результаты поглощения звука в растворах анилин-циклогексан, объяснено механизм избыточного поглощения гиперзвука, приводящий к расхождению теоретических и экспериментальных значений.

**Abstract.** A method for studying the value of the kinetic mobility coefficient in binary solutions is considered, as well as a schematic diagram of an experimental setup based on a two-pass Fabry-Perot interferometer, theoretical and experimental results of sound absorption in aniline-cyclohexane solutions are compared, and the mechanism of excessive hypersound absorption leading to a discrepancy between theoretical and experimental values is explained.

**Ключевые слова:** гиперзвук; поглощения и скорость звука; бинарные растворы; коэффициент диффузии; интерферометр Фабри-Перо; температура расслаивания; релаксационные процессы; коэффициент кинетической подвижности.

**Keywords:** hypersound; absorption and speed of sound; binary solutions; diffusion coefficient; Fabry-Perot interferometer; delamination temperature; relaxation processes; kinetic mobility coefficient.

**ВВЕДЕНИЕ:** В настоящее время нет точных сведений о величине коэффициента кинетической подвижности  $L$ , связывающего массовый поток диффундирующего вещества с градиентом химического потенциала:  $\mu$  при рассмотрении в линейном приближении Онзагера кинетики бинарных растворов. Важность этого кинетического коэффициента трудно переоценить - он определяет коэффициенты диффузии

$$D = \left( \frac{L}{\rho} \right) * \left( \frac{\partial \mu}{\partial C} \right)_{p,T} \quad (1)$$

Термодиффузии  $D_T = K_T D$ , бародиффузии  $D_p = K_p D \left( \frac{\partial \mu}{\partial C} \right)^{-1}$

восприимчивость системы, т.е. отклик системы на внешнее воздействие экспериментальные данные по определению которой в растворах тоже отсутствуют. Можно оценить коэффициент  $L$  в приближении идеальных растворов. В этом приближении производная химического потенциала по концентрации  $\left( \frac{\partial \mu}{\partial C} \right)$  примерно равна  $RT/MC$  ( $M$  - молярная

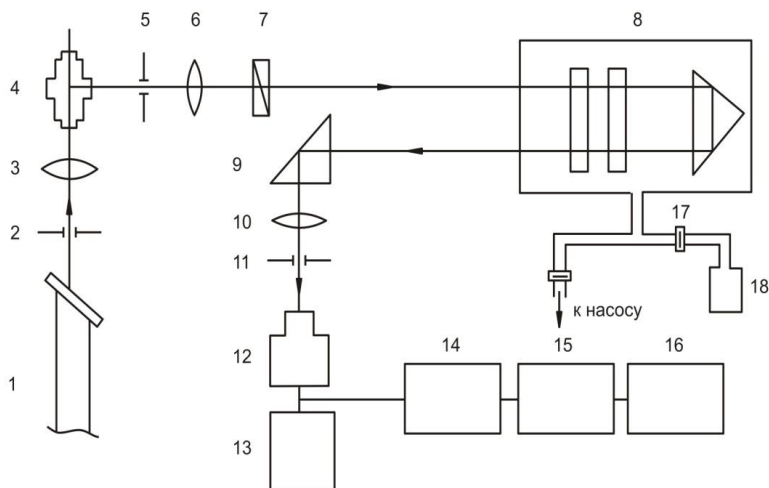
масса,  $R$  - газовая постоянная,  $C$  - массовая концентрация,  $\rho$  - плотность,  $T$  - температура). Следовательно,  $L = \frac{\rho DMC}{RT}$  есть величина порядка  $10^{-12} \div 10^{-13}$  г.с.м.см<sup>-3</sup>.

В последние годы в печати неоднократно поднимался вопрос о необходимости точного измерения этого важного параметра. Величину коэффициента  $L$  можно определить по пороговым значениям ряда концентрационных нелинейных явлений.

Однако выявить эти концентрационные эффекты на фоне температурных не легко. Несмотря на это нам удалось вычислить этих величин по скорости и поглощения гиперзвука по спектрам тонкой структуры линии Рэлея.

### ЭКСПЕРИМЕНТ

Спектры рассеяния Мандельштама-Бриллюэна регистрировали при помощи экспериментальной установки с двухлучевым интерферометром Фабри-Перо, который схематично представлен на рис. 1.



**Рисунок 1. Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования скорости и коэффициента поглощения гиперзвука в жидкостях:**

1- He-Ne лазер ( $\lambda=632,8$  нм, мощность  $\sim 15$  мВт); 2- диафрагма; 3- объектив (120 мм); 4- сосуд с исследуемой жидкостью; 5- диафрагма; 6- коллиматорный объектив (210 мм); 7- поляризатор (призма Франка-Риттера); 8- барокамера с двухпроходным интерферометром Фабри-Перо;

9–поворотная призма; 10–камерный объектив (270 мм); 11–диафрагма (0.25 мм); 12–ФЭУ-79; 13–блок питания ФЭУ; 14–эмиттерный повторитель; 15–линейный интенсивметр; 16–самописец КСП-4; 17–сверхзвуковой игольчатый натекатель; 18–баллон с азотом.

### Обсуждение результатов

Эксперимент по поглощению звука позволяет установить верхний предел численного значения кинетической подвижности, сопоставляя наблюдаемое поглощение с величиной бародиффузионного (1), пропорционального L:

$$\left(\frac{\alpha}{f^2}\right)_{\delta g} = \frac{2\pi^2 D}{g\rho^2 \left(\frac{\partial\mu}{\partial C}\right)} * \left(\frac{\partial\rho}{\partial C}\right)^2 \cong \frac{2\pi^2 L}{g_0\rho^3} * (\Delta\rho)^2 \quad (2)$$

Поскольку в реальных растворах  $\left(\frac{\alpha}{f^2}\right)_{\text{экс}} \cong 5 * 10^{-17} c^2 * \text{см}^{-1}$

$$(g_0 = 10^5 \text{ см}/\text{с}),$$

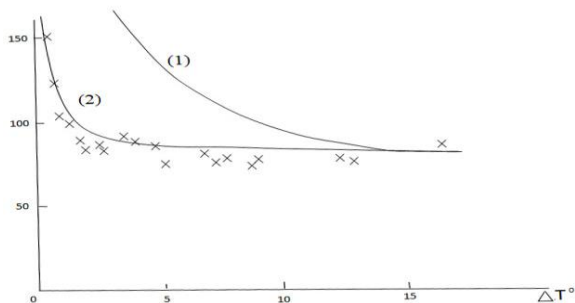
$(\rho = 1 \text{ г}/\text{см}^3, \Delta\rho = 0,5 \text{ г}/\text{см}^3)$ , то L не может быть больше  $10^{-11} \text{ г.с.см}^{-3}$ .

Однако в расслаивающихся растворах по мере приближения к температуре расслаивания  $T_c$  коэффициент L значительно возрастает. Следуя масштабной теории, по которой  $D \sim [\Delta T / T_c]^\nu$ ,  $(\partial C / \partial \mu) \sim [\Delta T / T_c]^{-\gamma}$ , коэффициент L, согласно (1), должен возрастать по закону  $L = L_0 [\Delta T / T_c]^{\nu-\gamma}$  ( $\nu = 0,6; \gamma = 1,2$ ). Если по-прежнему предполагать  $L_0 = \frac{D_0 M C \rho_0}{RT}$ , то при удалении от  $T_c$  на 0,1 К кинетическая подвижность будет величиной порядка  $10^{-11} \text{ г.с.см}^{-3}$ .

Учитывая такой степенной рост кинетической подвижности в окрестности  $T_0$  можно более точно определить L, используя экспериментальные данные по аномальному возрастанию поглощения в окологренической зоне.

Сопоставляя формы зависимости  $\left(\frac{\alpha}{f^2}\right)_{\text{экс}} = F(\Delta T - T_c)$  и  $L(\Delta T) = L_0 [\Delta T / T_c]^{0,6}$ , а также их численные значения, получаем уточненное значение  $L_0$  для ряда расслаивающихся растворов.





**Рисунок 2. Экспериментальные значения по поглощению гиперзвука в растворе анилин-циклогексан - (x)**

На рисунке (2) приведены экспериментальные значения по поглощению гиперзвука в растворе анилин-циклогексан - (x). Линии (1) и (2) – теоретические, определенные из уравнения:

$$\left(\frac{\alpha}{f^2}\right)_T = \left(\frac{\alpha}{f^2}\right)_{CT} + \left(\frac{\alpha}{f^2}\right)_{\delta g} + M'$$

где  $\left(\alpha / f^2\right)_{CT}$  - стоксовое поглощение,  $M'$  - поглощение за счет релаксационных процессов, протекающих на данной частоте в исследованном температурном интервале. Линия (1) построена в предположении полного отсутствия релаксационных процессов ( $M'=0$ ); в данном случае  $L_0 = 7 * 10^{-12} \text{ Г.С.См}^{-3}$ . Линия (2) получена в результате подбора  $M$  и  $L_0$  с целью наилучшего соответствия экспериментальным данным. В данном случае  $M^3 = 51,5 * 10^{-17} \text{ с}^2 / \text{с м}$ ,  $L_0 = 8,9 * 10^{-3} \text{ Г.С.См}^{-3}$ . Аналогичные кривые построены и для других растворов, приведенных в таблице.

**Таблица 1.**

**Полученные значения кинетической подвижности такого же порядка, как и предсказанные теорией идеальных растворов**

Раствор	$C=C_0$ М.д	$T_C$ °С	$L(\Delta T=15^0)$ г.с.см <sup>3</sup> .	$L(\Delta T=0,2^0)$ г.с.см <sup>3</sup> .	$L_0$ г.с.см <sup>3</sup> .
анилин I - циклогексан	0,56	32,2	$5,4 * 10^{-12}$	$7,2 * 10^{-11}$	$8,9 * 10^{-13}$
нитробензол I – додекан	0,43	28,4	$1,8 * 10^{-12}$	$2,4 * 10^{-11}$	$2,9 * 10^{-13}$
нитробензол I – гексан	0,60	20	$6,6 * 10^{-13}$	$8,8 * 10^{-12}$	$1,1 * 10^{-13}$

Кроме этого, этот метод анализа позволяет объяснить избыточное поглощение гиперзвука: энергия звуковой волны расходуется на преодоление диффузионного потока, связанного с перепадами давления; А поскольку в зоне предраслаивания подвижность возрастает, то возрастает и диффузионный поток, а значит и величина бародиффузионного поглощения.

### Список литературы:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика Изд.3.-Т.6: Гидродинамика. М.Наука, 1906, сс. 325, 422-429.
2. Бункин Ф.В., Ляхов Г.А., Шуман О.Б. Концентрационный механизм самовоздействия звука, в расслаивающемся жидком растворе. Письма в ЖТФ Т. 8, с. 1048, 1982.
3. Бункин Ф.В., Ляхов Г.А., Шилов К.Ж., Шмаонов Т.О. Концентрационном механизме самовоздействия света в расслаивающихся жидких растворах. Письма в ЖЭТФ 1982, Т. 35, с. 251.
4. Бункин Ф.В., Ляхов Н.А., Шуман О.Б. О вынужденном концентрационном рассеяния звука в расслаивающихся жидких растворах. Кр. Сообщения по физике, 1983. №2, с. 21.
5. Бункин Ф.В., Давыдов М.А. и др. Измерение кинетического коэффициента подвижности в расслаивающемся жидком растворе оптическим методом. Письма в ЖЭТФ, 1984, Т. 40, вып. 9, с. 389.
6. Бункин Ф.В., Ляхов Г.А., Романовский М.Ю. Вынужденное концентрационное рассеяние звука в расслаивающихся жидких растворах. Акустический журнал, 1985, т. 31, выл. 6, с. 733.
7. Сабиров Л.М., Туракулов Я., Утарова Т.М. О поглощении гиперзвука в расслаивающихся растворах в окрестности критической точки. ЖЭТФ, 1980, т. 79. с. 2263.
8. Коваленко К.В., Кривохижа С.В., Фабелинский И.Л., Чайков Л.Л. Распространение гиперзвука в растворе с особой точкой // Кр. сообщ. по физике ФИАН, 2001. - вып.2. - С. 40-45.
9. Sabirov L.M., Semenov D.I., Haidarov H.S. Negative dispersion of high-frequency sound velocity in aqueous solutions of non-electrolyte in the vicinity of the singular point concentration // Украинский физический журнал. Киев, 2015. Том 60, - № 9. - С. 872-875.
10. К.В. Коваленко, С.В. Кривохижа, И.А. Чабан, Л.Л. Чайков, Обнаружение различных фаз в жидкостях по скорости и затуханию гиперзвука вблизи замкнутых областей расслаивания растворов, ЖЭТФ 133, 330 (2008).
11. Кривохижа С.В., Чайков Л.Л. Попытка описания с помощью нелокальной теории экспериментальной температурной зависимости поглощения гиперзвука в критическом растворе с областью расслаивания // Краткие сообщения по физике ФИАН, 2004. - вып. 1. - С. 32-35.

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

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

№ 8 (48)  
Октябрь 2021 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 14.10.21. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 2,125. 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