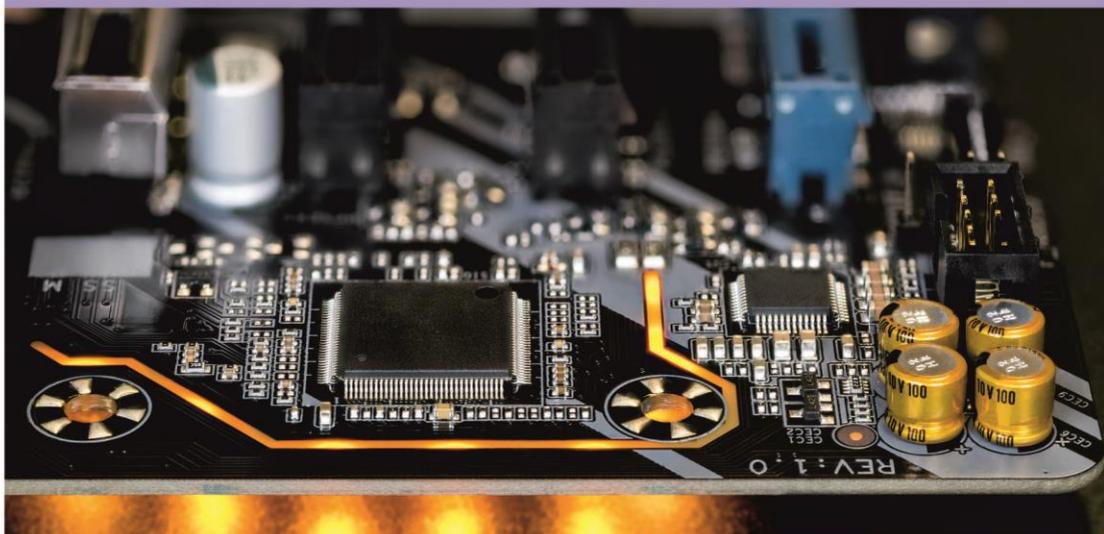




НАУЧНЫЙ  
ФОРУМ  
nauchforum.ru

ISSN: 2541-8394



№6(65)

# НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

МОСКВА, 2023



# НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

№ 6 (65)  
Август 2023 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва  
2023

УДК 51/53+62

ББК 22+3

Н34

Председатель редколлегии:

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

Редакционная коллегия:

*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 LXV междунар. науч.-практ. конф. – № 6 (65). – М.: Изд. «МЦНО», 2023. – 22 с.

ISSN 2541-8394

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

ISSN 2541-8394

ББК 22+3

© «МЦНО», 2023

## **Оглавление**

<b>Раздел 1. Технические науки</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Машиностроение и машиноведение</b>	<b>4</b>
МЕТОДИКА АНАЛИЗА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ	4
Козлов Антон Александрович	
Аксенова Екатерина Юрьевна	
Ярыгин Сергей Игоревич	
<b>1.2. Metallургия и материаловедение</b>	<b>9</b>
ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНОЙ ИЗНОСОСТОЙКОЙ СТАЛИ S690QL ТЕРМООБРАБОТКОЙ НА ПАО «НЛМК»	9
Риксен Алена Альбертовна	
Цыганов Игорь Анатольевич	
<b>Физико-математические науки</b>	<b>14</b>
<b>Раздел 2. Физика</b>	<b>14</b>
<b>2.1. Теплофизика и теоретическая теплотехника</b>	<b>14</b>
ОБ ОСОБОМ ПОЛИТРОПНОМ ПРОЦЕССЕ С БЛИЗКИМ К ИЗОТЕРМЕ ПОКАЗАТЕЛЕМ	14
Кодиров Нодир	

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

### **РАЗДЕЛ 1.**

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

### **1.1. МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ**

#### **МЕТОДИКА АНАЛИЗА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ**

***Козлов Антон Александрович***

*канд. техн. наук, доцент,  
Тольяттинский государственный университет,  
РФ, г. Тольятти*

***Аксенова Екатерина Юрьевна***

*магистрант,  
Тольяттинский государственный университет,  
РФ, г. Тольятти*

***Ярыгин Сергей Игоревич***

*старший преподаватель,  
Тольяттинский государственный университет,  
РФ, г. Тольятти*

#### **AUTOMATED CONTROL AND DIAGNOSTIC SYSTEMS ANALYSIS METHOD**

***Anton Kozlov***

*Candidate of Science, associate Professor,  
Togliatti State University,  
Russia, Togliatti*

**Ekaterina Aksenova**

Master's student,  
Togliatti State University,  
Russia, Togliatti

**Sergey Yarygin**

Senior lecturer,  
Togliatti State University,  
Russia, Togliatti

**Аннотация.** Автоматизация контроля дефектов автомобильных стекол является актуальной задачей. В настоящее время существует ряд систем контроля, которые способны решить данную задачу. При этом появляется проблема сравнения и выбора лучшего варианта. В статье рассматривается методика выбора автоматизированной системы бесконтактного контроля дефектов автомобильных стекол.

**Abstract.** The automobile glass defects control automation is an actual task. Currently, there are a number of control systems that are able to solve this problem. At the same time, there is a problem of comparing and choosing the best option. The article discusses the method of choosing a car glass defects contactless inspection automated system.

**Ключевые слова:** контроль дефектов; автоматизированная система; автомобильное стекло; методика выбора.

**Keywords:** defect control; automated system; automotive glass; selection methodology.

В ходе анализа известных автоматизированных систем контроля и диагностики часто возникает задача их сравнения. Как правило, простым сравнением характеристик анализируемых систем, сказать однозначно какая из них лучше подходит для решаемой задачи весьма затруднительно, так как часть характеристик совпадают, а другие сильно отличаются. При этом количество характеристик тоже значительно и определить степень их важности также затруднительно [3].

В связи с этим для анализа эффективности рассматриваемых систем предлагается использовать формализованный подход к их сравнению [4].

Суть данного подхода заключается в определении показателя привлекательности системы по формуле:

$$P = \sum_i \gamma_i \cdot A_i, \quad (1)$$

где  $A_i \in \{0; 1\}$  – критерии оценки, которые говорят о наличии или отсутствии определенных свойств;

$\gamma_i$  – весовые коэффициенты критериев.

$$\gamma_i = \frac{1}{\sum_j k_j}, \quad (2)$$

где  $k_j$  – баллы по усредненным экспертным оценкам.

Рассмотрим данный подход более подробно на примере сравнения систем бесконтактного контроля дефектов автомобильных стекол. Для рассмотрения выбираем следующие системы: Ахуз STM, Ахуз МТМ, Ахуз LTD, V-Stars, ATOS II SO, ATOS II 400, M2D [1], [5].

В качестве критериев оценки примем следующие [2]: размер контролируемого объекта; скорость замера; обнаружение всех различий образца и эталона; точность измерений; бесконтактность; слежение за контролируемым объектом; время наладки системы; возможность модернизации системы; стоимость.

Далее для каждого из критериев присваиваем баллы, которые, по сути, являются средневзвешенной экспертной оценкой специалистов и пользователей систем в области контроля автомобильных стекол. Были получены следующие результаты.

Размер контролируемого объекта: от 0,001 до 1 метра – 90 баллов; от 1 до 10 метров – 70 баллов; от 10 до 50 метров – 50 баллов; от 50 до 100 метров – 20 баллов. Скорость замера: менее 100 точек в секунду – 10 баллов; от 100 до 500 точек в секунду – 60 баллов; от 500 до 1000 точек в секунду – 100 баллов.

Точность измерений: от 0,001 до 0,01 мм – 60 баллов; от 0,01 до 0,1 мм – 80 баллов; более 0,1 мм – 40 баллов.

Время наладки системы: до 10 минут – 60 баллов; от 10 до 30 минут – 50 баллов; более 30 минут – 30 баллов.

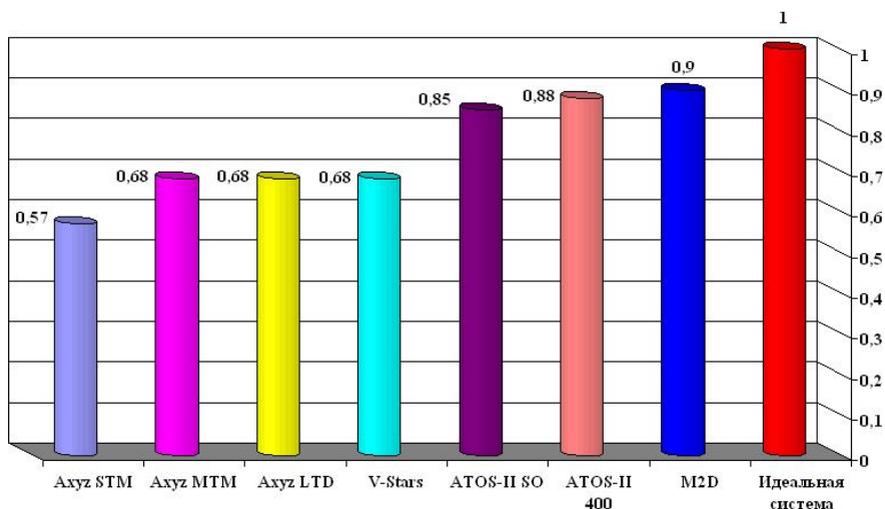
Стоимость системы: до 100000 долларов – 60 баллов; от 100000 до 250000 долларов – 10 баллов; более 250000 долларов – 0 баллов.

Обнаружение всех различий образца и эталона 100 баллов.

Бесконтактность 80 баллов.

Возможность модернизации системы 50 баллов. Слежение за контролируемым объектом 30 баллов.

Исходя из имеющихся данных и характеристик сравниваемых систем контроля, проводим расчеты по формулам (1) и (2). Полученные результаты оценки систем приведены на рисунке в удобном для дальнейшего анализа виде.



**Рисунок. Оценка систем контроля дефектов автомобильных стекол**

Проанализируем полученные результаты. Как видно из гистограммы, приведенной на рисунке, наименее привлекательными являются системы семейства Axyz и система V-Stars. Показатели данных систем составили от 0,57 до 0,68, что с точки зрения принятого для сравнения систем подхода является неудовлетворительным результатом. Следовательно, данные системы к дальнейшему анализу не принимаются.

Показатели систем ATOS II SO, ATOS II 400 и M2D составили от 0,85 до 0,9, что с точки зрения принятого для сравнения систем подхода является хорошим результатом. Следовательно, данные системы выполнены на хорошем техническом уровне, а подходы, которые применены в них, наиболее приспособлены к решению задачи автоматизации контроля автомобильных стекол. Другой вывод, который можно сделать при анализе результатов оценки систем контроля дефектов автомобильных стекол заключается в том, что на данный момент не существует системы в полной мере отвечающей всем требованиям, то есть с показателем 1,0. Следовательно, при проектировании системы контроля необходимо стремиться к созданию системы с данным показателем или близким к нему, но большим чем 0,9.

Отметим, что представленная методика оценки, рассмотренная на примере систем контроля, дает возможность получить качественную

оценку сравниваемых систем, но не является идеальной. Это связано с тем, что баллы принятых критериев могут изменяться в зависимости от серийности производства, где используются системы контроля. Кроме того, могут измениться сами значения этих критериев. Например, стоимость, что может быть связано с переходом на более дешевые комплектующие или увеличением серийности выпуска систем контроля. В случае сравнения данных систем применительно к решению других задач или в других областях результаты также могут отличаться.

### Список литературы:

1. Болтон У. Карманный справочник инженера – метролога. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 380 с.
2. Гонсалес Р.С. Цифровая обработка изображений / Р.С. Гонсалес, Р.Е. Вудс ; пер. с англ. Л.И. Рубанова, П.А. Чочиа ; науч. ред. П.А. Чочиа. – Третье изд., испр. и доп. – Москва : Техносфера, 2019. – 1103 с.
3. Гуляев В.А. Система определения дефектов автомобильных зеркал заднего вида / В.А. Гуляев, Н.Ю. Логинов // Theoretical & Applied Science. – 2017. – № 5 (49). С. 28–31.
4. Козлов А.А. Повышение качества контроля зазоров кузова автомобиля путем автоматизации процесса: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Тольятти, 2005. – 18 с.
5. Неразрушающий контроль и диагностика : справочник / В.В. Клюев [и др.] ; под ред. В.В. Клюева. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 2005. – 656 с.

## **1.2. МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

### **ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНОЙ ИЗНОСОСТОЙКОЙ СТАЛИ S690QL ТЕРМООБРАБОТКОЙ НА ПАО «НЛМК»**

***Риксен Алена Альбертовна***

*магистрант*

*Липецкий государственный  
технический университет,  
РФ, г. Липецк*

***Цыганов Игорь Анатольевич***

*канд. техн. наук, доцент,  
Липецкий государственный  
технический университет,  
РФ, г. Липецк*

### **CHANGING THE MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH WEAR-RESISTANT STEEL S690QL BY HEAT TREATMENT AT NLMK PJSC**

***Alyona Riksen***

*Master's student,*

*Lipetsk state technical University,  
Russia, Lipetsk*

***Igor Tsyganov***

*Candidate of Science, associate Professor,  
Lipetsk State Technical University,  
Russia, Lipetsk*

**Аннотация.** Изучено воздействие различных режимов термической обработки на микроструктуру и механические свойства высокопрочной износостойкой стали S690QL.

В процессе исследования на «ПАО НЛМК» были изучены микроструктура, микротвердость и фазовый состав высокопрочной износостойкой стали S690QL после различных термических обработок. По

результатам изучения микроструктуры, механическим и физическим свойствам даны рекомендации позволяющие получить структуру зернистого бейнита на стали S690QL, дающие высокий комплекс механических свойств.

**Abstract.** The effect of various heat treatment modes on the microstructure and mechanical properties of high-strength wear-resistant steel S690QL has been studied.

During the research at NLMK PJSC, the microstructure, microhardness and phase composition of high-strength wear-resistant steel S690QL after various thermal treatments were studied. Based on the results of studying the microstructure, mechanical and physical properties, recommendations are given to obtain the structure of granular bainite on S690QL steel, giving a high complex of mechanical properties.

**Ключевые слова:** микроструктура; сталь; исследование; микротвердость; высокопрочность; износостойкость; термическая обработка; зернистый бейнит; мартенсит.

**Keywords:** microstructure; steel; research; microhardness; high strength; wear resistance; heat treatment; granular bainite; martensite.

Требования к конструкционным сталям с бейнитно-мартенситной структурой постоянно возрастают. Изменяя микроструктуру стали различными видами термической обработки можно получить значительное изменение свойств изделий, например износостойчивость и твердость при одном и том же химическом составе материалов. Высокопрочная холоднокатаная сталь S690QL после обработки на бейнитно-мартенситную структуру применяется при изготовлении изделий безопасности кузовной арматуры автомобиля. S690QL сталь конструкционная весьма широкого применения (S – обозначает конструкционная высокопрочная) хорошей пластичности (690 – обозначает минимальный предел текучести  $\sigma_T = 690$  МПа при температуре окружающей среды после заковки с 950 °C и последующего отпуска при 400 °C, QL – обозначает (Q – закалка и отпуск L – низкотемпературная вязкость), отвечающая требованиям стандарта EN 10025-6 [1, 1с]. Бейнитно-мартенситные стали широко используются в качестве высокопрочных материалов. В связи с этим микроструктура и свойства этой стали после различных видов термической обработки представляют большой интерес и нуждаются в изучении. Целью данной работы является изучение влияния параметров термической обработки на микроструктуру и свойства высокопрочной износостойкой стали S690QL, сочетающей высокую прочность и пластичность с хорошей свариваемостью. Для исследования физико-

механических свойств были отобраны образцы из стали S690QL, химический состав которой приведен в таблице 1 из полос фронтального профиля на ПАО «НЛМК».

Химический состав изучаемой стали S690QL устанавливается стандартом EN 10125-6-04.

**Таблица 1.**

**Химический состав изучаемой стали S690QL, %(масс)**

C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Mo
0,17	0,8	1,7	1,5	0,01	0,02	1,8	0,68
Al	Co	Cu	V	Ti	Nb	Pb	W
0,05	0,01	0,07	0,10	0,04	0,04	0,001	0,01
Sn	As	Zr	B	Sb	Ca	N	Zn
0,005	0,01	0,1	0,005	0,02	0,001	0,01	0,01

После отжига конструкционной стали S690QL в структуре присутствуют бейнит зернистый и аустенит остаточный, после закалки – мартенсит, бейнит нижний и аустенит остаточный; после нормализации – бейнит верхний, бейнит нижний и аустенит остаточный. Получить равновесную структуру невозможно, так как присутствует аустенит остаточный.

Было изучено поведение бывшего зерна аустенита в стали S690QL подвергнутой отжигу при 900 °С, выдержке 40 минут, а затем закалке с температур 900–1 050 °С, и при выдержке 40 минут с охлаждением в воде. Такой обработке были подвергнуты образцы стали S690QL, отобранные с поверхности и сердцевина полосы. Выявление бывшего зерна осуществляли в результате травления образцов в горячем растворе пикриновой кислоты. Травление проводилось втиранием кислоты в образец, в результате чего на образце появлялись границы бывшего аустенитного зерна. Всего на образец набирали 500 зерен. Был подсчитан размер зерна и построены гистограммы.

**Таблица 2.**

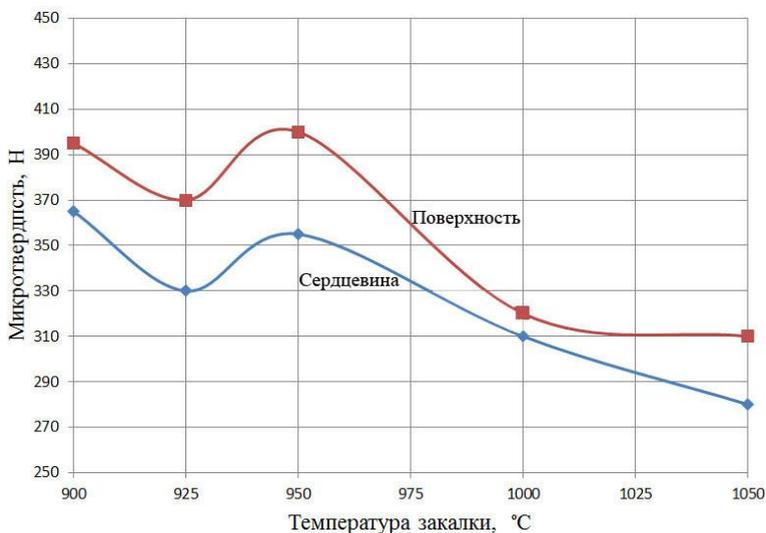
**Средний условный диаметр зерна, мкм**

Температура закалки, °С	Размер зерна, мкм	
	Место отбора образца	
	Сердцевина	Поверхность
900	15,64	13,9
925	14,62	14,5

Температура закалки, °С	Размер зерна, мкм	
	Место отбора образца	
	Сердцевина	Поверхность
950	19,61	20,94
1000	24,28	21,1
1050	42,21	27,64

На исследуемых образцах на микротвердомере ПМТ-3 была измерена микротвердость [2, 1–5 с]. Результаты исследований статистически обработаны и приведены с 5 % отклонением.

По результатам микротвердости, была построена зависимость изменения микротвердости от температуры закалки исследуемых образцов (см. рис. 1).



**Рисунок 1.** Зависимость микротвердости от температуры закалки стали S690QL

### Выводы

1. Исследовано влияние термической обработки на микроструктуру и свойств конструкционной низколегированной стали S690QL.
2. Температура отжига 900 °С, время выдержки 40 мин и печное охлаждение позволяют получить микроструктуру, состоящую из зерни-

стого бейнита и остаточного аустенита, а не феррито-перлитную композицию.

3. Повышение температуры закалки в интервале 900–1 050 °С не приводит к увеличению размера зерна бывшего аустенита выше № 5 по ГОСТ 5639-82.

4. После закалки при 900 °С выдержка в течение 40 мин и охлаждение водой приводит к образованию микроструктуры мартенсита, нижнего бейнита и остаточного аустенита.

5. Отпуск в интервале температур 550–700 °С приводит к разупрочнению поверхности стали с 327 HV до 206 HV и центра с 346 HV до 205 HV.

6. Существенных различий в микроструктурном поведении поверхности и сердцевины полосы из стали S690QL, закаленной в интервале температур 900–1 050 °С и отпущенной в интервале температур 550–700 °С, не наблюдалось.

### **Список литературы:**

1. Стандарт DIN EN 10025-6:2020 Изделия горячекатаные из конструкционных сталей. Часть 6. Технические условия поставки плоских изделий из конструкционной стали с высоким пределом текучести в закаленном и отпущенном состоянии. Немецкая версия EN 10025-6:2019 Дата введения в действие: 01.02.2020. С. 29. <https://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=6485557>
2. ПМТ-3 микротвердомер. 02.05.2015. 1–5 с. <https://studfile.net/preview/3561636/>

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

### РАЗДЕЛ 2.

### ФИЗИКА

#### 2.1. ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

#### ОБ ОСОБОМ ПОЛИТРОПНОМ ПРОЦЕССЕ С БЛИЗКИМ К ИЗОТЕРМЕ ПОКАЗАТЕЛЕМ

*Кодиров Нодир*

*независимый исследователь,  
Республика Узбекистан*

#### ABOUT A SPECIAL POLYTROPIC PROCESS WITH AN INDEX CLOSE TO ISOTHERM

*Nodir Kodirov*

*Independent researcher,  
Republic of Uzbekistan*

**Аннотация.** В статье показан гипотетический особый политропный процесс, показатель которого оказывается близким к изотерме.

**Abstract.** The article shows a hypothetical special polytropic process, the index of which turns out to be close to the isotherm.

**Ключевые слова:** прямой политропный процесс; особый политропный процесс; показатель процесса; политропа; изотерма.

**Keywords:** direct polytropic process; special polytropic process; process index; polytrope; isotherm.

## 1. Введение

Из термодинамики известно, что вся подводимая к рабочему телу теплота преобразуется в работу только в одном термодинамическом процессе идеального газа-изотермическом [2, с.84-85]. Целью настоящего исследования является выяснение ответа на вопрос о том, может ли какой-либо другой тепловой процесс быть близким к изотермическому процессу идеального газа. Далее по тексту под работой политропного процесса подразумевается работа рабочего тела, необязательно идеального газа.

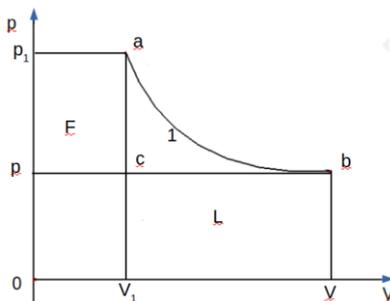
## 2. Метод исследования

Исследование производится графическим способом, который и применил первооткрыватель политропного процесса, Автор источника [1] G.Zeuner в XIX веке, результат исследования проверяется численным расчетом.

## 3. Результаты исследования

### 3.1. Прямой политропный процесс

Политропным процессом называется такой процесс, когда теплоемкость идеального газа постоянна [2, с.89]. Графическое изображение прямого политропного процесса, выражаемого кривой  $a1b$ , приведено на рис.1 ниже.



**Рисунок 1. Располагаемая внешняя работа и работа изменения объёма в политропном процессе  $a-1-b$  на  $p-V$  диаграмме [1, с. 144] (дополнен точками  $c$  и  $l$ )**

Согласно описанию, площадь фигуры, ограниченной точками  $a-1-b-p_1$ , выражает располагаемую внешнюю работу, а площадь фигуры, ограниченной точками  $a-1-b-V_1-V$ , выражает работу изменения объёма, их отношение есть показатель этого процесса. Интересен вывод уравнения показателя процесса, поэтому цитируем первоисточник. Работа изменения объёма:

$$L = \frac{1}{n-1} \cdot (p_1 \cdot V_1 - p \cdot V) [1, \text{с.145}] \quad (1)$$

Располагаемая внешняя работа:

$$F = p_1 \cdot V_1 + L - p \cdot V [1, \text{с.145}] \quad (2)$$

Преобразуем последнее уравнение:

$$\begin{aligned} F &= p_1 \cdot V_1 + L - p \cdot V = \frac{1}{n-1} \cdot (p_1 \cdot V_1 - p \cdot V) + (p_1 \cdot V_1 - p \cdot V) = \\ &= \left(1 + \frac{1}{n-1}\right) \cdot (p_1 \cdot V_1 - p \cdot V) = \left(\frac{n-1+1}{n-1}\right) \cdot (p_1 \cdot V_1 - p \cdot V) = \\ &= \frac{n}{n-1} \cdot (p_1 \cdot V_1 - p \cdot V) \end{aligned} \quad (3)$$

Показатель прямого политропного процесса:

$$\frac{F}{L} = \frac{\frac{n}{n-1} \cdot (p_1 \cdot V_1 - p \cdot V)}{\frac{1}{n-1} \cdot (p_1 \cdot V_1 - p \cdot V)} = n \quad (4)$$

Другими словами, открывший политропный процесс G.Zeuner вывел уравнение показателя процесса геометрическим способом без оперирования бесконечно малыми величинами. Выведем это же уравнение несколько иначе. Площадь фигуры  $a1bc$  по работе изменения объёма:

$$S_{a1bc} = L - p \cdot (V - V_1) \quad (5)$$

Площадь той же фигуры  $a1bc$  по располагаемой внешней работе:

$$S_{a1bc} = F - V_1 \cdot (p_1 - p) \quad (6)$$

Приравняем:

$$F - V_1 \cdot (p_1 - p) = L - p \cdot (V - V_1)$$

Преобразуем:

$$\begin{aligned} F &= L - p \cdot (V - V_1) + V_1 \cdot (p_1 - p) = L - p \cdot V + p \cdot V_1 + p_1 \cdot V_1 - p \cdot V_1 = \\ &= L - p \cdot V + p_1 \cdot V_1 = p_1 \cdot V_1 + L - p \cdot V \end{aligned}$$

и получаем уравнение (2), из которого и выводятся уравнения (3) и (4). Кроме того, по определению в политропном процессе:

$$p \cdot V^n = p_1 \cdot V_1^n [1, \text{с.143}]$$

Из чего и уравнения отношения объёмов  $V$  и  $V_1$ :

$$\frac{V}{V_1} = \varepsilon \quad (7)$$

следует:

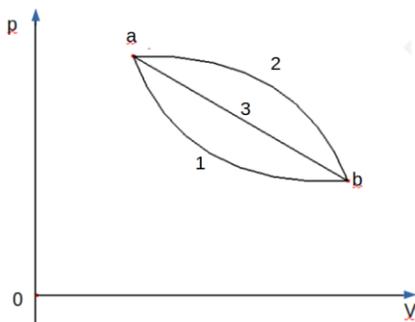
$$\frac{p}{p_1} = \frac{V_1^n}{V^n} = \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^n$$

Откуда:

$$p_1 = p \cdot \varepsilon^n \quad (8)$$

### 3.2. Особый политропный процесс

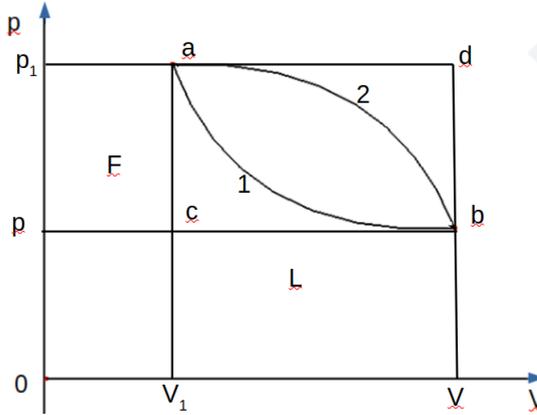
Допустим теперь, что возможно совершить особый политропный процесс, зеркально симметричный прямому, выражаемый кривой  $a-2-b$ , полученный симметричным переносом кривой  $a-1-b$ , выражающей прямой политропный процесс, относительно отрезка  $a-3-b$ , изображенной на рис.2 ниже. Из рис.2 очевидно, что параметры точек  $a (p_1; V_1)$  и  $b (p; V)$  не изменились.



**Рисунок 2. Прямой  $a-1-b$  и особый  $a-2-b$  политропные процессы на  $p-V$  диаграмме**

Тогда графическое изображение прямого и особого политропных процессов и работ соответствует рис.3. ниже, согласно которому располагаемая внешняя работа особого политропного процесса равна площади

фигуры, ограниченной точками  $p_1$ -a-2-b-p, которую можно выразить как разницу площадей фигур, ограниченных точками  $p_1$ -d-b-p и a-d-b-2, а работа изменения объёма того же процесса, равна площади фигуры, ограниченной точками a-2-b- $V_1$ , которую можно выразить как разницу площадей фигур, ограниченных точками a-d- $V_1$ - $V_1$  и a-d-b-2.



**Рисунок 3. Располагаемая внешняя работа и работа изменения объёма в прямом a-1-b и особом a-2-b политропных процессах на p-V диаграмме**

Теперь можно вычислить показатель особого политропного процесса. Площадь фигуры adb2 по работе изменения объёма в прямом политропном процессе:

$$S_{adb2} = S_{a1bc} = L - p \cdot (V - V_1)$$

Площадь той же фигуры adb2 по располагаемой внешней работе в прямом политропном процессе:

$$S_{adb2} = S_{a1bc} = F - V_1 \cdot (p_1 - p)$$

Располагаемая внешняя работа в особом политропном процессе через работу изменения объёма в прямом политропном процессе:

$$\begin{aligned} F^1 &= p_1 \cdot V - p \cdot V - S_{adb2} = p_1 \cdot V - p \cdot V - S_{a1bc} = \\ &= p_1 \cdot V - p \cdot V - (L - p \cdot (V - V_1)) = \\ &= p_1 \cdot V - p \cdot V - L + p \cdot V - p \cdot V_1 = p_1 \cdot V - p \cdot V_1 - L = \\ &= p_1 \cdot V - p \cdot V_1 - \frac{1}{n-1} \cdot (p_1 \cdot V_1 - p \cdot V) = \frac{(p_1 \cdot V - p \cdot V_1) \cdot (n-1) - (p_1 \cdot V_1 - p \cdot V)}{n-1} \end{aligned}$$

С учетом уравнений (7) и (8):

$$\begin{aligned}
 F^1 &= \frac{(p_1 \cdot V - p \cdot V_1) \cdot (n-1) - (p_1 \cdot V_1 - p \cdot V)}{n-1} = \\
 &= \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot \left( \left( \frac{p_1 \cdot V}{p_1 \cdot V_1} - \frac{p \cdot V_1}{p_1 \cdot V_1} \right) \cdot (n-1) - \left( \frac{p_1 \cdot V_1}{p_1 \cdot V_1} - \frac{p \cdot V}{p_1 \cdot V_1} \right) \right)}{n-1} = \\
 &= \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot \left( \left( \varepsilon - \frac{1}{\varepsilon n} \right) \cdot (n-1) - \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon(n-1)} \right) \right)}{n-1} \quad (9)
 \end{aligned}$$

Работа изменения объёма в особом политропном процессе через располагаемую внешнюю работу в прямом политропном процессе:

$$\begin{aligned}
 L^1 &= p_1 \cdot V - p_1 \cdot V_1 - S_{adb2} = \\
 &= p_1 \cdot V - p_1 \cdot V_1 - S_{a1bc} = p_1 \cdot V - p_1 \cdot V_1 - (F - V_1 \cdot (p_1 - p)) \\
 &= p_1 \cdot V - p_1 \cdot V_1 - F + p_1 \cdot V_1 - p \cdot V_1 = p_1 \cdot V - F - p \cdot V_1
 \end{aligned}$$

Согласно уравнению (4), располагаемая внешняя работа F больше работы изменения объёма L в n раз, поэтому далее можно не преобразовывать, а сразу записать из уравнения (9):

$$L^1 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot \left( \left( \varepsilon - \frac{1}{\varepsilon n} \right) \cdot (n-1) - n \cdot \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon(n-1)} \right) \right)}{n-1} \quad (10)$$

Находим показатель особого политропного процесса:

$$\begin{aligned}
 n^1 &= \frac{F^1}{L^1} = \frac{\frac{p_1 \cdot V_1 \cdot \left( \left( \varepsilon - \frac{1}{\varepsilon n} \right) \cdot (n-1) - \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon(n-1)} \right) \right)}{n-1}}{\frac{p_1 \cdot V_1 \cdot \left( \left( \varepsilon - \frac{1}{\varepsilon n} \right) \cdot (n-1) - n \cdot \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon(n-1)} \right) \right)}{n-1}} = \\
 &= \frac{\left( \varepsilon - \frac{1}{\varepsilon n} \right) \cdot (n-1) - \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon(n-1)} \right)}{\left( \varepsilon - \frac{1}{\varepsilon n} \right) \cdot (n-1) - n \cdot \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon(n-1)} \right)} \quad (11)
 \end{aligned}$$

#### 4. Вывод

В табл.1 ниже значения показателей особого политропного процесса, вычисленные по уравнению (11) для разных отношений объёмов и показателей прямого.

Таблица 1.

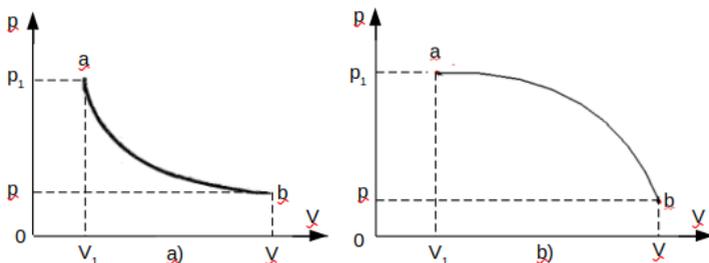
**Вычисленные значения показателей особого  
политропного процесса**

№	$\epsilon$	$k$	$k^1$	$n$	$n^1$	$n$	$n^1$
1.	8	1,4	1,096	1,39	1,094	1,28	1,075
2.	8,5	1,4	1,090	1,39	1,089	1,28	1,071
3.	9	1,4	1,085	1,39	1,084	1,28	1,068
4.	9,5	1,4	1,081	1,39	1,080	1,28	1,064
5.	10	1,4	1,077	1,39	1,076	1,28	1,061
6.	10,5	1,4	1,074	1,39	1,073	1,28	1,059
7.	11	1,4	1,070	1,39	1,069	1,28	1,056

Из табл.1 очевидно, что при увеличении отношения объёмов и понижении показателя прямого политропного процесса, показатель особого политропного процесса приближается к 1, то есть к показателю изотермического процесса. Другими словами, если идеальный газ расширяется по особому политропному процессу, то почти точно так же, как и в изотермическом [2, с.84-85], почти вся подводимая теплота, работа изменения объёма и располагаемая внешняя работа должны быть равны между собой.

### 5. Заключение

Как уже сказано выше, только в изотермическом процессе идеального газа, графическое изображение которого приведено на рис.4 а) ниже, вся подводимая теплота, работа изменения объёма и располагаемая внешняя работа равны между собой. Строго говоря, так как в таком процессе теплоёмкость постоянна, то изотермический процесс с равным 1 показателем является частным случаем политропного процесса [2, с.88].



**Рисунок 4. Изотермический a-b процесс а) [2, с.84]  
(отредактированный) и особый политропный процесс a-b,  
b) на p-V диаграмме**

Другими словами, если вся подводимая теплота преобразуется в работу в изотермическом процессе, графическое изображение которого приведено на рис.4 а) выше, то теоретически почти вся подводимая теплота преобразуется в работу и в исследованном выше особом политропном процессе, графическое изображение которого приведено на рис.4 б) выше.

### **Список литературы:**

1. G.Zeuner. Technische Thermodynamik. Leipzig, Verlag Von Arthur Felix, 1887, p. 454.
2. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. Учебн.пособие для неэнергетических специальностей вузов. М., «Высшая школа», 1975, с. 496.

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

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

№ 6 (65)  
Август 2023 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 07.08.23. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 1,375. 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