

# ТОЧНАЯ НАУКА

естественнонаучный журнал

IX Международная научная конференция  
"Техноконгресс"

2017

**Международная  
заочная  
естественнонаучная  
конференция  
с публикацией в РИНЦ**

**t-nauka.ru**



КЕМЕРОВО 2017

СБОРНИК СТАТЕЙ ДЕВЯТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ «ТЕХНОКОНГРЕСС»

01 апреля 2017 г.

**ББК** Ч 214(2Рос-4Ке)73я431

ISBN

Кемерово УДК 378.001. Сборник статей студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава. По результатам IX Международной научной конференции «Техноконгресс», 01 апреля 2017 г. [www.t-nauka.ru](http://www.t-nauka.ru) / Редкол.:

Никитин Павел Игоревич - главный редактор, ответственный за выпуск журнала.

Баянов Игорь Вадимович - математик, специалист по построению информационно-аналитических систем, ответственный за первичную модерацию, редактирование и рецензирование статей.

Артемасов Валерий Валерьевич - кандидат технических наук, ответственный за финальную модерацию и рецензирование статей.

Зими́на Мари́я Игоре́вна - кандидат технических наук, ответственный за финальную модерацию и рецензирование статей.

Нормирзаев Абдукаюм Рахимбердиеви - кандидат технических наук, Наманганский инженерно-строительный институт (НамМПИ)

Безуглов Александр Михайлович - доктор технических наук, профессор кафедры математики и математического моделирования, Южно-российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И. Платова,

Наджарян Микаел Товмасович - кандидат технических наук, доцент, Национальный политехнический университет Армении.

Шушлебин Игорь Михайлович - кандидат физико-математических наук, кафедра физики твёрдого тела Воронежского государственного технического университета.

Равшанов Дилшод Чоршанбиевич - кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технология, машины и оборудования полиграфического производства», Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими.

Крутякова Маргарита Викторовна – доцент кандидат технических наук, Московский политехнический университет.

Гладков Роман Викторович - кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации вооружения и военной техники Рязанского гвардейского высшего воздушно-десантного командного училища

А.О. Сергеева (ответственный администратор)[и др.];

Кемерово 2017

В сборнике представлены материалы докладов по результатам научной конференции.

Цель – привлечение студентов к научной деятельности, формирование навыков выполнения научно-исследовательских работ, развитие инициативы в учебе и будущей деятельности в условиях рыночной экономики.

Для студентов, молодых ученых и преподавателей вузов.

Издательский дом «Плутон» [www.idpluton.ru](http://www.idpluton.ru) e-mail: admin@idpluton.ru

## Оглавление

1. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УКРЫТИЯ ЩЕЛЕВОГО НЕЛИНЕЙНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЫСОТЫ ЕГО УСТАНОВКИ.....4  
**Пичугин В.Н.**
2. РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СВОЕВРЕМЕННОГО ПРОВЕДЕНИЯ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ОБЩЕГО ИМУЩЕСТВА МКД.....7  
**Яценко М.С.**
3. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЧЕРВЯЧНЫХ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ.....11  
**Воронов А.Э.**
4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОХЛАЖДАЮЩИХ БАЛОК ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ТЕПЛОВОГО КОМФОРТА ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ.....15  
**Челпаченков М.И., Алексеев А.А., Волик С.С., Молостова И.Е.**
5. ОПИСАНИЕ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА МЕТОДАМИ ОБЩЕЙ ТЕОРИЙ ОТНОСЬТЕЛЬНОСТИ...19  
**Сатышев И.С.**

**Пичугин Владимир Николаевич**  
**Pichugin, Vladimir Nikolaevich**

кандидат технических наук, заведующий кафедрой высшей математики и информационных технологий

ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н.Ульянова», г. Алатырь

E-mail: [vladimir\\_iii@mail.ru](mailto:vladimir_iii@mail.ru)

УДК 537.87

## **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УКРЫТИЯ ЩЕЛЕВОГО НЕЛИНЕЙНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЫСОТЫ ЕГО УСТАНОВКИ**

### **THE SELECTION OF THE OPTIMUM THICKNESS OF DIELECTRIC COVER SLOTTED NONLINEAR EMITTER DEPENDING ON THE INSTALLATION HEIGHT**

**Аннотация:** Статья посвящена актуальной проблеме - исследованию параметров укрытия нелинейных щелевых излучателей работающих в многоволновом режиме приема. Разработана новая методика расчета электродинамической картины и проведен численный анализ. Экспериментально доказан оптимальный выбор параметров укрытия нелинейных щелевых излучателей и изучены новые электродинамические эффекты на таких нелинейных структурах.

**Abstract:** The article is devoted to the study of parameters of nonlinear shelter of slit emitters working in multiwavelength mode of reception. Developed a new method of calculating electrodynamic patterns and numerical analysis. Experimentally proved optimal choice of parameters of nonlinear shelter of slit emitters and studied a new electrodynamic effects in such nonlinear structures.

**Ключевые слова:** щелевые нелинейные излучатели, прямоугольные резонаторы, исследование электромагнитных волн, диэлектрическое укрытие.

**Key words:** nonlinear slit emitters, rectangular resonators, the study of electromagnetic waves, the dielectric cover.

#### **Введение**

Во многих случаях система нелинейных излучателей располагается под укрытием в виде диэлектрической пластины. Излучателями возбуждаются поверхностные волны в диэлектрической пластине, причём при некоторых условиях их амплитуда может быть значительной [3,66]. На краю диэлектрического укрытия энергия поверхностной волны частично излучается, и поле этого излучения может существенно исказить характеристики радиотехнических систем управления. Данное явление изучено не достаточно и создаёт проблему исследования влияния диэлектрического укрытия на характеристики систем управления.

Исследования, приведенные в [1,56;2,23;3,96], проводились на диэлектрической пластине полуволновой толщины и могут быть использованы при оценке работы антенных решёток под полубесконечным укрытием. Последние широко применяются, так как наряду с хорошими механическими и теплозащитными качествами обладают оптимальным отношением между коэффициентом прохождения и отражения (максимальному коэффициенту прохождения соответствует минимальный коэффициент отражения). Очевидно, с изменением высоты установки такого укрытия над поверхностью щелей оптимальные соотношения между коэффициентом прохождения и отражения нарушаются и каждой высоте будет соответствовать своя наилучшая толщина диэлектрического слоя.

Ниже приводятся материалы по исследованию активной составляющей проводимости щели в зависимости от толщины диэлектрического укрытия и величины воздушного зазора (рис. 1). Все

изменения проводились на резонаторе  $0,782\lambda \times 0,17\lambda$  при  $x=0,2\lambda$  и ширине щели  $0,068\lambda$ .

Длина щели выбрана близкой к резонансной для случая  $\frac{h}{\lambda} = \infty$  и оставалась постоянной в процессе эксперимента. В качестве диэлектрического укрытия использовалась пластина. Шаг изменения по толщине составил  $0,02 \div 0,025\lambda$ .

Кривые на рис. 1 имеют явно выраженный осциллирующий характер. Период и амплитуда колебаний зависят от величины воздушного зазора. С уменьшением толщины пластины величина проводимости стремится к значению, определяемому проводимостью щели, изменения проводимости щели составляет  $0,496\lambda_B$ , что близко к геометрическому значению, равному

$0,5\lambda_B$ . Здесь следует отметить, что данные на рис. 1 для  $\frac{h}{\lambda} = 0$  имеют хорошее совпадение с результатами работы [4], где подробно исследован именно случай установки диэлектрической

пластины на поверхности щели в тех же пределах изменения  $\frac{t}{\lambda_B}$ . Легко заметить, что положения минимумов и максимумов зависимостей перемещается с изменением величины воздушного зазора.

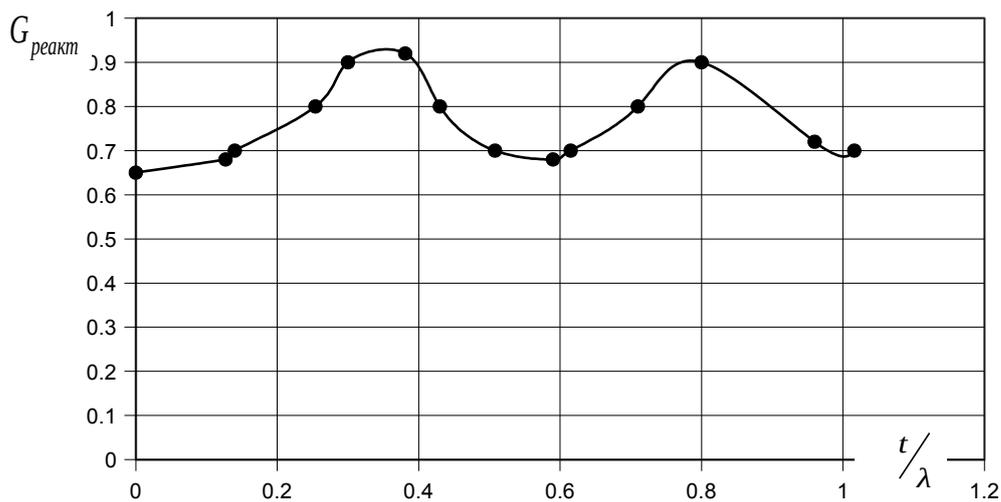


Рис. 1. Зависимости реактивной составляющей проводимости щели от толщины диэлектрического укрытия и величины воздушного зазора.

— при  $\frac{h}{\lambda} = 0$ ; - - - - - при  $\frac{h}{\lambda} = 0,084$ ; — при  $\frac{h}{\lambda} = 0,102$ ; - · - - при  $\frac{h}{\lambda} = \infty$ ;  
 - Δ - - при  $\frac{h}{\lambda} = 0,375$ ; - ° - - при  $\frac{h}{\lambda} = 0,238$ .

Обычно принято выбирать толщину диэлектрического укрытия соответствующей первому максимуму (кривая б, рис. 2), что для  $\frac{h}{\lambda} = 0$  составляет  $0,5\lambda_B$ . Кривые на рис. 2 в рассмотренных пределах изменения величины воздушного зазора имеют спадающий характер. С их помощью легко определить оптимальную толщину укрытия для заданной высоты установки его над поверхностью щелей.

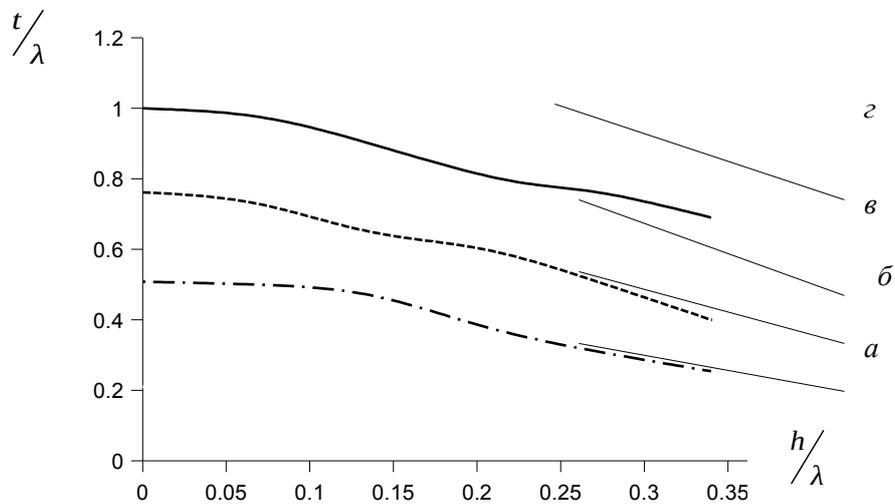


Рис. 2. Зависимость положения минимумов и максимумов с изменением величины воздушного зазора.

Эффект применения полученных результатов иллюстрируется в табл. 1, где в зависимости от  $h/\lambda$  указаны величины активной составляющей комплексной проводимости щели, укрытой полуволновым диэлектриком и диэлектриком, толщина которого в каждом из положений  $h/\lambda$  соответствует оптимальной и определяется кривой *б* рис. 2.

Таблица 1. Данные полученные в результате расчетов.

Толщина диэлектрического уровня	Активная проводимость $G_{акт}$ при различных отношениях $h/\lambda$						
	0	0,068	0,136	0,204	0,272	0,34	0,408
Полуволновая	0,2	0,4	0,53	0,61	0,67	0,69	0,68
Оптимальная	0,2	0,45	0,66	0,84	0,94	0,93	0,88

### Заключение

Сравнение данных, приведенных в таблице 1, показывают, что правильный выбор толщины диэлектрического укрытия позволяет лучше (в смысле получения максимальной излучаемой мощности) использовать возможности системы щель – воздушный зазор – диэлектрическое укрытие системы нелинейных излучателей.

### Библиографический список:

1. Васильев Е.Н., Охматовский В.И. Краевые эффекты в щелевой фазированной антенной решётке при излучении из-под полубесконечного диэлектрического покрытия. // Радиотехника и электроника, 1997, т.42, №11.
2. Пичугин, В.Н. Исследование характеристик антенной решетки щелевых излучателей на основной частоте и в многоволновом режиме приема: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. Казань, 2004. – 16 с.
3. Пичугин, В.Н. Исследование характеристик антенной решетки щелевых излучателей на основной частоте и в многоволновом режиме приема: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2004. – 120 с.

**Яценко Марина Сергеевна**  
**Yatsenko Marina Sergeevna**

Магистр, Воронежский государственный технический университет (г. Воронеж)  
Magister, Voronezh state technical University (Voronezh)

E-mail: [yatsenko\\_m1@bk.ru](mailto:yatsenko_m1@bk.ru)

УДК 64.069.5

## **РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СВОЕВРЕМЕННОГО ПРОВЕДЕНИЯ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ОБЩЕГО ИМУЩЕСТВА МКД**

### **DEVELOPMENT OF OFFERS FOR IMPROVEMENT OF TIMELY CARRYING OUT CAPITAL REPAIRS OF THE COMMON PROPERTY OF APARTMENT APARTMENT HOUSES**

**Аннотация.** В статье рассмотрены главные причины, которые являются барьером для осуществления региональной программы и представлены решения, с помощью которых можно получить своевременный капитальный ремонт общего имущества многоквартирных домов.

**Annotation.** In article the main reasons which are a barrier to implementation of the regional program are considered and decisions by means of which it is possible to receive timely capital repairs of a common property of apartment houses are provided.

**Ключевые слова:** жилищный фонд, капитальный ремонт, региональная программа, способы формирования фондов капитального ремонта.

**Keywords:** housing stock, capital repairs, regional program, methods of forming of funds of capital repairs.

В России жилищный фонд насчитывает более 3,26 млрд. кв. м, из которых 2,5 млрд. кв. м (79%) — это многоквартирный жилищный фонд. В течение последних 50 лет в России внимание уделяли наращиванию размера жилищного фонда. Но после 1992 года финансирование капитального ремонта уже построенного жилого фонда существенно снизилось. Из-за скудности финансирования капитального ремонта, некоторый объем фонда жилых зданий не попал в число обновляемых объектов, тем самым происходило накопление недоремонта. Деятельность Фонда содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства улучшила ситуацию, но не решила проблему недоремонта.

В 2012 году уже были внесены изменения в Жилищный кодекс Российской Федерации (ЖК РФ), касающиеся регулирования работы систем капитального ремонта. Согласно этим изменениям, необходимость капремонта теперь устанавливают субъекты РФ, само же государство отныне занимается лишь методическим обеспечением этого вопроса. В соответствии с п.1 ст.168 Жилищного кодекса РФ [1], органы государственной власти субъектов Российской Федерации

утверждают региональные программы капитального ремонта общего имущества в многоквартирных домах. Цель программы – своевременное проведение КР общего имущества МКД. Для этого региональные власти должны поставить на учет все многоквартирные дома и указать для каждого срок комплексного ремонта или сроки каждой из работ, проводимых отдельно.

Количество многоквартирных домов, находящихся на территории Воронежской области по данным региональной программы капитального ремонта 8 735 единиц. Количество жителей, проживающих в многоквартирных домах, включенных в региональную программу капитального ремонта 1054,99 тыс. чел.

В основу данной программы положена обязанность собственников помещений формировать фонды капитального ремонта, необходимые для финансирования затрат на проведение работ по капитальному ремонту, путем уплаты обязательных ежемесячных взносов. Опрос жителей, проведенный в целях исследования их отношения к реализации программы капремонта, показал, что многие собственники МКД с недоверием отнеслись к этой программе, поскольку в период действия утвержденного краткосрочного плана не вошли дома находящиеся в ограниченно-работоспособном техническом состоянии. Неясен вопрос определения очередности многоквартирных домов на капитальный ремонт.

По приведенным в работе [2] данным были сопоставлены годы постройки домов и планируемые для каждого из них сроки проведения капитального ремонта региональным оператором г. Воронеж (рис. 1).

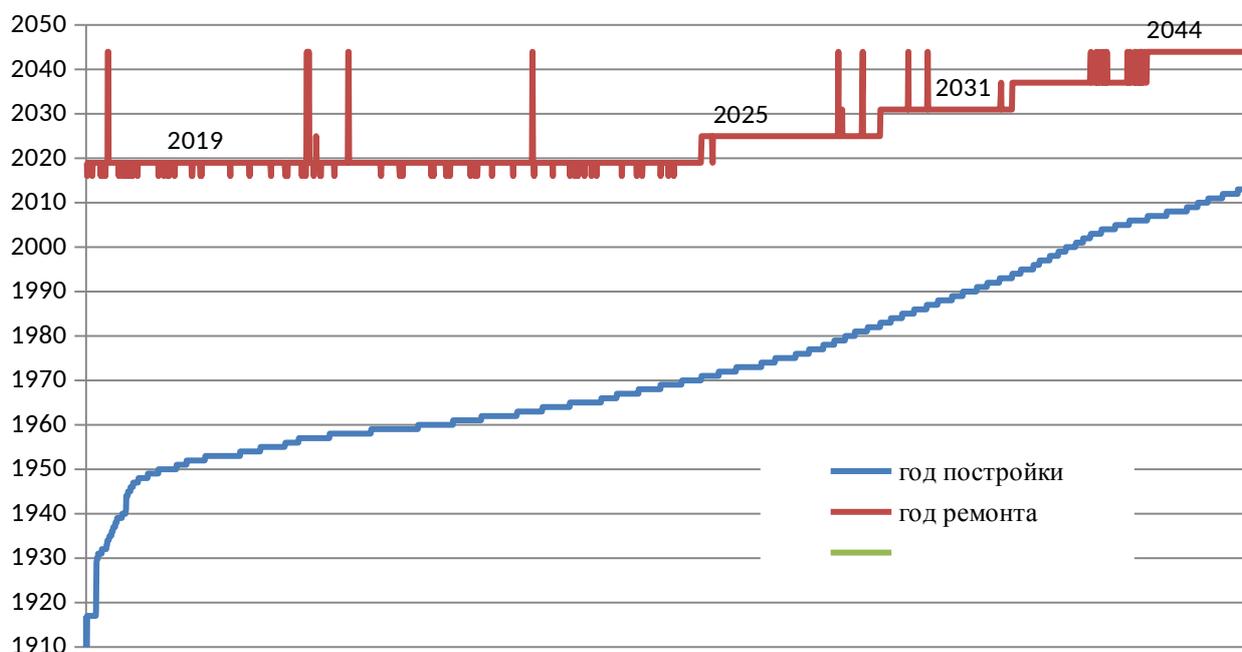


Рисунок 1- Сопоставление года постройки дома и планируемого срока проведения капитального ремонта, региональным оператором в г. Воронеж

Согласно представленным результатам анализа (рис.1), в период до 2020 г. подлежат капитальному ремонту около 50% многоквартирных домов городского округа г. Воронеж. Средства, собираемые с населения, необходимые для проведения капитального ремонта, не смогут обеспечить в полной мере выполнение планируемых работ. Причины, по которым региональная программа осуществляется не так удачно, как планировалось, являются:

- неплатежи собственников МКД;
- уклонение от уплаты взносов малоимущего населения РФ;
- бессмысленность платежей за капитальный ремонт пенсионерами от 70 лет.

Для решения проблем необходимо:

1. Провести информационную работу с населением;

Информационная работа необходима для того, чтобы собственники жилья понимали всю структуру организации и проведения капитального ремонта, знали о способах формирования фондов капитального ремонта. Именно от этого зависит успех реализации программы капитального ремонта.

Собственникам многоквартирных домов следует объяснить:

1. Все собственники МКД обязательно должны уплачивать взносы на капитальный ремонт (согласно законодательству);
2. Определение очередности многоквартирных домов на капитальный ремонт;
3. Способы накопления средств на капитальный ремонт;
4. Контроль и распределение средств;
5. Каким образом определяется размер взноса на капитальный ремонт;
6. Перечень работ общего имущества в многоквартирном доме при капитальном ремонте по региональной программе.

Главным вопросом для собственников является контроль и распределение средств. Специалисты должны разъяснить горожанам, что законодательством предусмотрено два способа формирования фонда капитального ремонта:

1. Средства перечисляются региональному оператору, созданному в конкретном субъекте Российской Федерации. Региональный оператор накапливает взносы всех МКД, которые выбрали этот способ. Он осуществляет надзор над проведением капитального ремонта.

2. Средства перечисляются на специальный счет в банке, который открыт от имени всех собственников одного конкретного многоквартирного дома. Проведение капитального ремонта осуществляют сами собственники.

Также, существует еще один вариант, при котором создаются несколько региональных операторов. Этот способ позволяет при нехватке средств на осуществление капитального ремонта в одном многоквартирном доме, предусмотренного региональной программы, использовать средства, полученные от собственников других многоквартирных домов, которые планируют капитальный ремонт позже. Иначе говоря, собственники одного МКД берут в долг средства на проведение капитального ремонта у других собственников через регионального оператора. После, собственники продолжают оплачивать взносы до тех пор, пока не возместят всю предоставленную им сумму [1].

На специальном счете накапливаются взносы только для проведения капитального ремонта одного конкретного МКД. При формировании такого фонда для собственников определяется минимальный размер. Иначе говоря, при достижении необходимой суммы, происходит приостановление начислений взносов на капитальный ремонт.

Владельцем специального счета могут быть: товарищество собственников жилья (ТСЖ); жилищный кооператив или иной специализированный потребительский кооператив; управляющая компания, региональный оператор, если собственники многоквартирного дома приняли такое решение [1].

Собственникам МКД, которые только вошли в эксплуатацию, нужно объяснить, что необходимость проведения капитального ремонта появиться чуть позже. К тому времени они уже смогут собрать достаточную сумму на его осуществление, так как за 10 лет невозможно собрать необходимые средства.

Также, нужно подробно рассказать о видах работ по КР многоквартирных домов: работы по ремонту или замене внутридомовых инженерных систем, работы по замене лифтового оборудования, работы по ремонту фасадов дома, а также ремонтные работы крыш, подвальных помещений и фундамента.

Объяснить собственникам, каким образом устанавливается очередность проведения капитального ремонта общего имущества в МКД. Оповестить, что в первую очередь КР проводится в домах, в которых требовался капитальный ремонт на дату приватизации первого жилого помещения, но так и не был проведен до региональной программы [1].

Собственникам МКД, нужно дать понять, что это программа просто необходима. У каждого строения есть свой срок службы. И срок службы здания можно продлить благодаря своевременному проведению капитального ремонта. Если не провести капитальный ремонт МКД сейчас, то возникнут большие проблемы. Дома начнут разрушаться и ничего не останется, как присвоить им статус ветхого или аварийного жилья. Проведение программы необходимо, причем в ускоренном темпе.

Увы, никто с собственниками не спешит проводить разъяснительные работы. Каждый пятый житель по всей России не платит взносы на капитальный ремонт. Люди не платят не потому, что не хотят платить, а потому что не понимают, за что платить, и боятся быть обманутым. Люди

перестали доверять органам, предоставляющим жилищно-коммунальные услуги. И их тоже можно понять. Задача исполнителей программы, все им объяснить и не вдогонку, а с самого начала. Чтобы взносы населения на капитальный ремонт выросли, важно проведение информационно-разъяснительной работы с собственниками. Используя сеть Интернет, печатные издания, телевидение, радио, различные совещания и приемы граждан.

2. Изменить срок, после которого осуществляется переход от формирования фонда КР на счете регионального оператора к формированию фонда КР на специальный счет;

Для ускорения процесса сбора средств на капитальный ремонт для своего дома, необходимо уменьшить срок, после которого начинает действовать решение об окончании формирования фонда капитального ремонта на счете регионального оператора и начале формирования фонда капитального ремонта на специальном счете. Для выбора способа формирования фонда капитального ремонта предостаточно шести месяцев [1]. Поэтому срок при переходе нужно уменьшить с двух лет до шести месяцев.

3. Обозначить меру помощи различным категориям граждан, в том числе малоимущим.

По программе необходимо внести поправки в нормативно-правовую базу капитального ремонта, так как малоимущие семьи не в состоянии оплачивать взносы на капитальный ремонт. Важно обозначить меру помощи различным категориям граждан, в том числе малоимущим. Естественно, о полной свободы от уплаты не может быть и речи, но имеется возможность определить сумму, которую смогут платить малоимущие семьи. Если немного снизить сумму, малоимущие семьи смогут сэкономить свои средства.

4. Избавить от взносов на капитальный ремонт пенсионеров от 70 лет.

Региональная программа по капитальному ремонту МКД рассчитана на 2014-2044 годы. Допустим, МКД в очереди по этой программе на 2036 год, а пенсионеру, который проживает в этом доме, 76 лет. Следовательно, этот пенсионер может и не дожидаться этого капитального ремонта, и взносы будут оплачены впустую.

Таким образом, пенсионеров нужно избавить от платежей за капитальный ремонт. Но, эти взносы перевести на лица, которые позже получают эту квартиру в наследство. Это будет рентабельным решением. Получается, и взносы будут оплачиваться на капитальный ремонт и у пенсионеров не будет лишних затрат.

Отсюда следует, если все вышеперечисленные предложения реализовать, то будут решены проблемы региональной программы, а значит, достигнута главная цель – своевременное проведение капитального ремонта общего имущества МКД.

#### **Библиографический список:**

1. Жилищный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. №188-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2005. – №1 (часть 1). – Ст.14; Российская газета. – 2013. – № 295.
2. Воробьева Ю.А., Зайцев Д.В. Информационно-диагностическое обеспечение программы капитального ремонта. Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2016. № 1 (22). С. 159-163.
3. Макиева, М. Т., Хосроева Н. И. Программный подход к реализации реформы ЖКХ // Международный научный альманах. — 2016. — № 4.

**Воронов Артур Эдуардович**  
**Voronov Arthur Eduardovich**

Старший преподаватель кафедры "Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии"

ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля»  
E-mail: ocooler@ya.ru

УДК 621.9.04

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЧЕРВЯЧНЫХ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ**

### **PRODUCTION TECHNOLOGY HYPERBOLOID WORM GRINDING WHEEL**

**Аннотация:** Данная статья посвящена вопросам технологии производства червячных гиперболоидных кругов на стандартных вертикально-фрезерных станках с делительной головкой. В качестве накатников применяются прямобочные ролики и зуборезные прямозубые долбяки.

**Abstract:** This article is devoted to the production technology of worm hyperboloid wheels on standard vertical milling machines with a dividing head. As the rollers are used straight-ahead rollers and gear cutters with straight teeth.

**Ключевые слова:** гиперболоидный шлифовальный круг, прямобочный ролик, накатка, формообразование.

**Keywords:** Hyperboloid grinding wheel, straight-ahead roller, knurling, shaping.

#### **Введение**

Финишная обработка зубьев цилиндрических зубчатых колес после закалки дает возможность устранить погрешности профиля зуба, возникшие в результате термического воздействия и других этапов производства. Качество проведения последнего этапа обработки позволяет получать более высокую точность боковых поверхностей зуба цилиндрического зубчатого колеса и ожидать ее постоянства. На заводах и промышленных предприятиях в качестве финишной обработки зубьев цилиндрических зубчатых колес применяют притирку, хонингование и зубошлифование [3].

Методы притирки и хонингования улучшают качество боковых поверхностей зубьев цилиндрических зубчатых колес и уменьшают повреждения, вызванные закалкой и другими этапами производства зубчатого колеса. Однако в силу особенностей применения методов, производительность съема материала имеет ряд ограничений, и высокая точность может быть достигнута только при выполнении целого комплекса мероприятий по настройке станка, качества инструмента, дополнительных приспособлений и соответствующих процессу припусков на

обработку. Процессы притирки и хонингования осуществляются в пространственном станочном зацеплении и при жесткой кинематической связи между инструментом и изделием имеют устойчивый точечный характер касания, что не позволяет повысить производительность [4].

### Результаты исследования

Для исключения перечисленных недостатков был разработан новый способ формообразования червячного шлифовального круга, построенного на теле однополостный гиперboloид. Витки шлифовального круга формуются, когда оси заготовки и инструмента находятся на скрещивающихся осях  $\gamma$ , а угловые скорости  $\omega_1$  и  $\omega_2$  обратно пропорциональны количеству зубцов гиперboloидного шлифовального круга и заготовки прямозубого долбяка. Нарезание витков выполняется на вертикально-фрезерном станке с делительной головкой одной подачей  $S$  вдоль прямолинейной формообразующие однополосного гиперboloида.

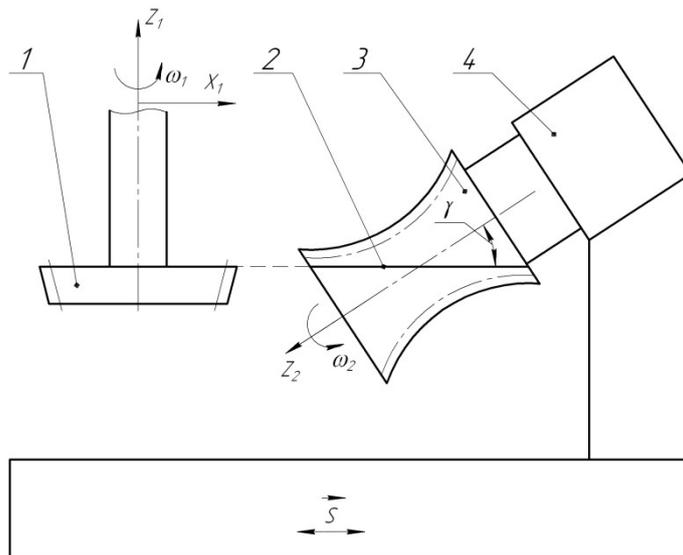


Рис.1.Схема формообразования витков шлифовального круга на поверхности однополостный гиперboloид долбяком: 1 –долбяк; 2 – прямолинейная образующая винтовой гиперboloидной поверхности; 3 – гиперboloидная заготовка шлифовального круга; 4 – делительная головка

Первоначальное формообразование витков червячного гиперboloидного шлифовального круга может быть выполнено прямобочным роликом или каскадом из прямобочных роликов. Для большей точности шага витков шлифовального круга, каскад прямобочных роликов может быть выполнен виде нарезанной поверхности на цельном цилиндре (рис. 2).

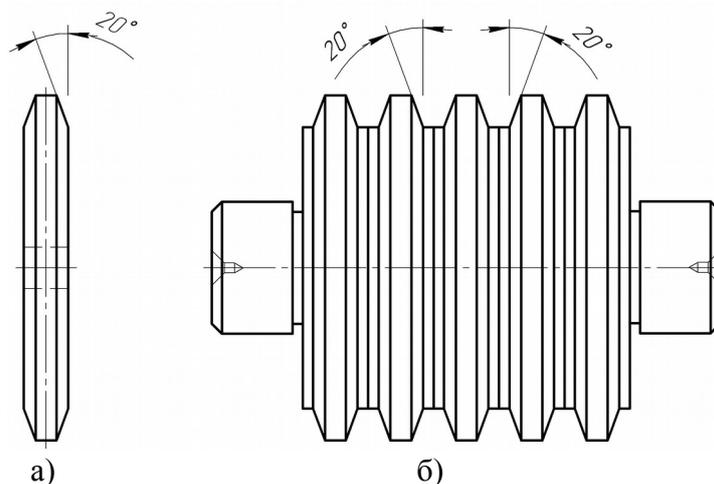


Рис. 2.Накатники для формирования червячной поверхности гиперboloидного шлифовального круга: а) прямобочный ролик; б) каскад прямобочных роликов

При накатке червячной гиперboloидной шлифовальной поверхности накатниками в виде прямобочных роликов схема формообразования будет схожа со схемой, изображенной на рис. 1. Для этого снимем долбяк и при помощи оснастки установим на неподвижной части стола станка жестко зафиксированную ось вращения прямобочного ролика на высоте расположения прямолинейной образующей гиперboloидного шлифовального круга. Витки шлифовального круга формoобразуются, когда ось прямобочного ролика коллинеарна прямолинейной образующей гиперboloидного шлифовального круга, а угловая скорость  $\omega_2$  согласована с поступательным движением подачи  $S$  вдоль прямолинейной образующей, при этом ролик может свободно вращаться вокруг своей оси.

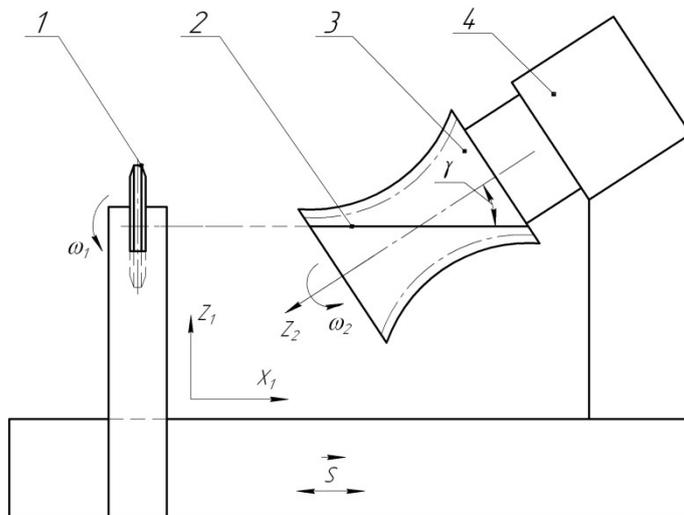


Рис. 3.Схема формообразования витков шлифовального круга на поверхности однополостных гиперboloид прямобочным роликом: 1 – прямобочный ролик; 2 – прямолинейная образующая винтовой гиперboloидной поверхности; 3 – гиперboloидная заготовка шлифовального круга; 4 – делительная головка

При черновом формoобразовании гиперboloидной поверхности, показанной на рис. 3, стол, на котором закреплена делительная головка, должен совершать возвратно поступательные движения подачи  $S$  с ускоренным или обычном режиме обкатки. При обычном режиме обкатки при обратном движении стол совершает холостой ход на повышенной скорости, выводя заготовки из зацепления с прямобочным роликом. В ускоренном режиме формoобразования обкатка происходит и в прямом о в обратном направлении подачи  $S$  стола, при этом шпиндель делительной головки меняет направление вращения, согласовывая его с направлением относительного перемещения прямобочного ролика вдоль прямолинейной образующей гиперboloидного шлифовального инструмента.

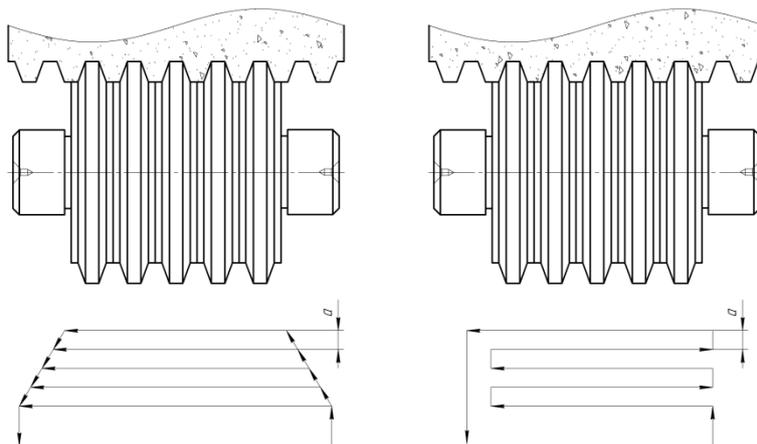


Рис.4.Схемы накатки червячной поверхности гиперboloидного шлифовального круга:

а) односторонняя; б) двухсторонняя

В процессе накатки червячной поверхности гиперболоидного шлифовального круга, как и процесс накатки шлифовального круга цилиндрической формы, сопровождается тепловыделением [1, 5]. Для сохранения физических свойств связки шлифовального круга, выделяющееся в процессе накатки тело, необходимо отводить при помощи охлаждающей жидкости из веретенного масла или его смеси с керосином [2].

Кроме самого формообразования, процесс изготовления шлифовального круга и его последующая эксплуатация должен отвечать технике безопасности, для этого крепление шлифовального круга на шпинделе любого станка должно быть надежным, но при этом не создавать дополнительных напряжений в круге. Несоблюдение техники безопасности может приводить к травмам и выходе отдельных узлов оборудования из строя, поскольку скорость вращения шлифовальных кругов достаточно высокая и при аварийной ситуации может произойти их разрыв, в результате чего отдельные части, имея достаточный импульс, обладают большой кинетической энергией. Для равномерного распределения усилия зажима рекомендуется применять кольца-прокладки из кожи или резины толщиной от 0,5 до 3 мм. Избежать внутренних напряжений в зоне посадочного отверстия возможно устанавливая шлифовальный круг на оправку или шпиндель станка с небольшим зазором до 1 мм в зависимости от диаметра и размера шлифовального круга.

Шлифовальный круг перед установкой на станок должен быть осмотрен на наличие трещин, вмятин, и других дефектов. После визуального контроля, шлифовальный круг проверяется на специальном испытательном стенде на скорости в 1,5 раза превышающей рабочую.

Непосредственно перед установкой шлифовальный круг, собранный с фланцами или планшайбой необходимо отбалансировать. Балансировка возможна непосредственно на шлифовальном станке или при помощи специально предусмотренных сухарей на фланцах или планшайбе, которые способны совершать перемещения по предусмотренным круговым пазам. На самих шлифовальных станках рекомендуется устанавливать защитные кожухи. При установке кожуха рекомендуемый зазор до режущей поверхности круга должен составлять не более 6 мм. Устанавливаемые кожухи должны предусматривать вентиляционные устройства.

### **Заключение**

Описанная технология производства червячных гиперболоидных шлифовальных кругов позволяет изготовить шлифовальный круг принципиально новой геометрической формы. Такие шлифовальные круги способны обрабатывать прямозубые цилиндрические зубчатые колеса небольшой высоты по сравнению с диаметром шлифовального круга в горловом сечении. Появляется возможность существенно повысить производительность финишной обработки боковых поверхностей зубьев зубчатых колес, применив схему обработки, содержащую только радиальную подачу инструмента.

### **Библиографический список:**

1. Барсов А.И. Технология изготовления режущего инструмента / А.И. Барсов, А.В. Иванов, К.И. Кладова, и др. – М.: Машиностроение, 1979. – 136 с., ил.
2. Витенберг Ю.Р. Зубообрабатывающие станки и инструменты в приборостроении / Ю.Р. Витенберг, Н.П.Соболев, Л.: Машиностроение, 1969. – 284 с.
3. Гинзбург Е.Г., Халевский Н.Т. Производство зубчатых колес. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978. – 136с. с ил.
4. Гинзбург Е.Г. Зубчатые передачи: Справочник / [Гинзбург Е. Г., Голованов Н. Ф., Фирун Н. Б., Халевский Н. Т.] ; под ред. Е. Г. Гинзбурга. – [2-е изд. перераб. и доп.] – Л.: Машиностроение, 1980. – 416 с.
5. Круги шлифовальные. Технические условия. [Текст] : ГОСТ 2424-83. – Взамен ГОСТ 2424-75; введ. 01.01.85.

**Челпаченков Максим Игоревич**  
**Chelpachenkov Maxim Evgenievich**

**Алексеев Алексей Айратович**  
**Alekseev Alexei Ayratovich**

**Волик Сергей Сергеевич**  
**Volik Sergey Sergeevich**

Магистры кафедры теплогазоснабжение и вентиляция  
ФГБОУ ВПО «Тюменский Индустриальный Университет», Тюмень, Россия

**Молостова Ирина Евгеньевна**  
**Molostova Irina Evgenievna**

Ассистент, кафедра Теплогазоснабжение и вентиляция  
ФГБОУ ВПО «Тюменский Индустриальный Университет», Тюмень, Россия.  
E-mail: [molostova1@yandex.ru](mailto:molostova1@yandex.ru)

УДК 504.064.47

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОХЛАЖДАЮЩИХ БАЛОК ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ТЕПЛОВОГО  
КОМФОРТА ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ**  
**DESIGN CHILLED BEAMS TO ACHIEVE THERMAL COMFORT OF USERS**

**Аннотация:** в статье рассматривается проектирование и технические особенности активных охлаждающих балок. Так же представлено сравнение типоразмеров проекта с активными охлаждающими балками NJEDA Tech IV с типовыми проектами для кондиционирования воздуха в лаборатории площадью 9м<sup>2</sup>.

**The abstract:** The article deals with the design and technical features of active chilled beams. As a comparison of sizes of the project with active chilled beams NJEDA Tech IV with sample projects for air conditioning in the laboratory area of 9m<sup>2</sup>.

**Ключевые слова:** активные охлаждающие балки, вентиляция, кондиционирование, проектирование.

**Keywords:** active chilled beams, ventilation, air conditioning, projection.

**Введение**

Активные охлаждающие балки, используются в Европе и США уже с середины 90-х годов прошлого века, но лишь недавно холодные балки получили широкое распространение в системах кондиционирования воздуха и закрепились как альтернативные системы кондиционирования воздуха на базе холодильных машин. Охлаждающие балки не только поддерживают микроклимат в помещении, но и обеспечивают необходимый воздухообмен. Такие системы необходимы для обеспечения уровня комфорта, соответствующего стандарту ASHRAE 55–2004 [1].

Стандарт ASHRAE 55-2004 определяет рабочую зону как часть помещения, в которой находятся пользователи. Рабочая зона должна находиться не менее 1 м от наружных ограждений, не

менее 0,3 м от внутренних перегородок, и вертикально ограничен полом с преобладающим ростом пользователей помещения. Рост пользователей принимается равным 1,7 м, стандарт позволяет проектировщикам задавать эту высоту исходя из особенностей использования помещения.

### Принцип работы

Принципиальная схема активной охлаждающей балки (рисунок 1). Первичный воздух после охлаждения и осушения (показан на рисунке цифрой 1) подается через воздуховоды от центральной приточной установки в распределительную камеру балки, далее он инжектируется (показан на рисунке цифрой 2) через группу сопел. Побуждаемый струями первичного воздуха, воздух из помещения (показан на рисунке цифрой 3) проходит через змеевик теплообменника балки, где охлаждается (показан на рисунке цифрой 4) далее смешивается с первичным воздухом и поступает в обслуживаемое помещение (показан на рисунке цифрой 5).

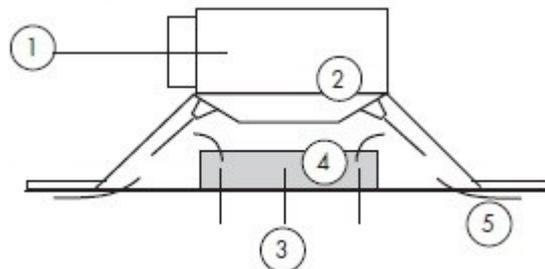


Рисунок 1. Схема активной охлаждающей балки

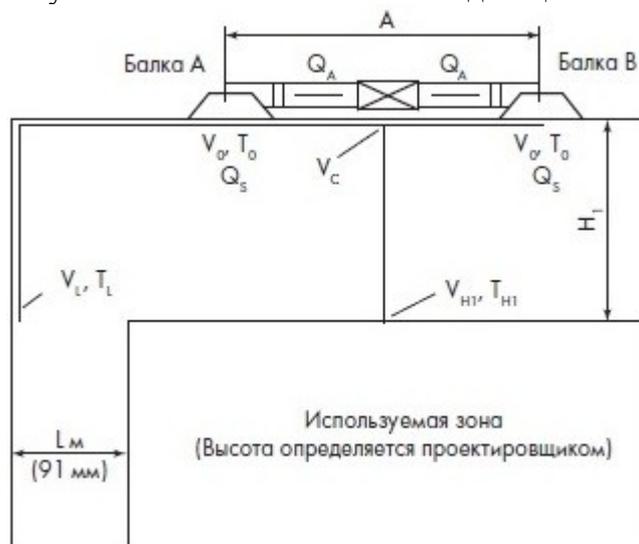


Рисунок 2. Применение активных охлаждающих балок

Объем эжектируемого воздуха как правило зависит от количества и конструктивных особенностей сопел, и превышает количество первичного воздуха в 2–5 раз. Таким образом интенсивность воздуха, поступающего в помещение, увеличивается в 3–6 раз в сравнении с потоком первичного воздуха, а отношение потоков эжектируемого и первичного воздуха называется коэффициентом эжекции балки (КЭ).

Холодопроизводительность по явной теплоте посредством охлаждающих балок дает возможность существенно снизить расход первичного воздуха в сравнении с полностью воздушными системами. В связи с тем, что от 50 до 75 % явной теплоты ассимилируется охлаждающим змеевиком, в системе допускается пропорциональное снижение расхода первичного воздуха. Так как температура воды, поступающая в змеевик балки, поддерживается выше точки росы помещения, температура воздуха на выходе из балки будет выше, чем температура первичного воздуха. Однако здесь следует проявлять осторожность, так как окончательная температура выходящей из балки смеси обычно на 2–3,3 °С выше, чем в полностью воздушных системах. Таким образом, расход воздуха, подаваемого в помещение, должен быть пропорционально выше (20–30 %). Такой увеличенный расход создает вероятность возникновения сквозняков, что может отрицательно сказаться на уровне теплового комфорта пользователей. Расход первичного воздуха в помещении должен удовлетворять или превышать требования к вентиляции помещения согласно стандарту ASHRAE 62.1-2007 (или иные применимые вентиляционные нормы); компенсировать прирост по

скрытому теплу для поддержания требуемого уровня влажности в помещении согласно рекомендациям стандарта ASHRAE 55-2004; [2,3] обеспечивать достаточное охлаждение по явной теплоте вдобавок к отводу явной теплоты охлаждающим змеевиком.

Подача приточного воздуха активными охлаждающими балками аналогична с линейным щелевым диффузором. Воздушный поток, выходя из линейного щелевого диффузора имеет относительно большую длину струи, а скорость и температура потока уменьшается из-за эжекции внутреннего воздуха. Производители публикуют технические характеристики струи, которые полученные с использованием изотермического воздуха, для конечных скоростей 0,75; 0,5 и 0,25 м/с. Эти данные можно использовать для расчета температуры исходя из начальной разницы ( $\Delta T_0$ )

На рисунке 2 изображено пространство, обслуживаемое двумя активными охлаждающими балками с одинаковой интенсивностью потоков первичного ( $Q_p$ ) и выходящего ( $Q_s$ ) воздуха. Выходящий поток вычисляется путем произведения коэффициента эжекции величины первичного потока. Допустим, коэффициент эжекции балки равен 2,5, скорость первичного потока — 170 м<sup>3</sup>/ч, температура — 13 °С. Температура в помещении — 24 °С. Температура воды на входе в теплообменник — 14 °С, ее же температура на выходе — 16 °С. Интенсивность выходящего потока будет в 3,5 раза выше, чем первичного, и составит 595 м<sup>3</sup>/ч. Температура воздуха, выходящего из теплообменника ( $T_{oc}$ ) на 0,6 °С больше температуры воды в теплообменнике (на самом деле она теплее воды на 1–2 °С).

Зная температуру первичного воздуха ( $T_{pa}$ ) можно вычислить температуру воздуха на выходе из балки ( $T_z$ ) и разницу между ней и температурой воздуха в помещении ( $\Delta T_z$ ).

$$T_z = \frac{T_{pa} + T_{oc} \cdot KЭ}{KЭ + 1} \quad (1)$$

$$\Delta tz = T_{room} - T_z \quad (2)$$

Подставив значения, получим:

$$T_z = \frac{13^\circ C + 15,6^\circ C \cdot 2,5}{2,5 + 1} = 14,9^\circ C$$

$$\Delta tz = 24^\circ C - 14,9^\circ C = 9,1^\circ C$$

Начальная скорость ( $V_0$ ) воздуха из щели может быть определена путем деления интенсивности потока воздуха из каждой щели (для двусторонних балок — 0,5 х  $Q_s$ ) на эффективную площадь щели. Так как эффективная площадь неизвестна, то примем начальную скорость  $V_0$  равной 2,3 м/с. Разница температуры потока в любой точке его пути и воздуха в помещении ( $\Delta t_x$ ) рассчитаем по следующей формуле:

$$\Delta t_x = 0,8 \cdot \Delta tz \cdot \frac{V_x}{V_0} \quad (3)$$

Для балки с  $V_0$  равной 2,3 м/с и  $\Delta t_z = 9,1^\circ C$  величина  $\Delta t_x$  в точке, соответствующей скорости выходящего воздуха 0,25 м/с, будет равна 0,9 °С.

Эти условия будут дискомфортными менее чем для 20 % находящихся в помещении людей.

Температура и скорость воздушного потока возле стен не влияет на комфортность так как не является частью обитаемой зоны. Но тем не менее они могут препятствовать работе оборудования, размещенного в этих областях, например вытяжек. Наибольшая вероятность появления сквозняка существует прямо под точкой, где происходит столкновение двух воздушных потоков (рисунок 2), скорость столкновения обозначена  $V_C$ . Если  $V_C$  больше 0,5 м/с, то она повлияет на скорость воздуха, входящего в обитаемую зону ( $V_{H1}$ ).

Расход первичного воздуха, необходимый для компенсации скрытых тепловыделений, превысит необходимый расход приточного воздуха, требуемый для ассимиляции явных тепловыделений. Следовательно, именно коэффициент влажности ( $W_{комн}$ ) определяет расход первичного воздушного потока охлаждающей балки. В зонах по периметру помещения расход первичного воздуха определяется нагрузкой по явной теплоте.

Использование балок, холодопроизводительность водной части которых компенсирует более 65 % холодильной нагрузки в помещении, может оказаться непрактичным из-за архитектурных особенностей, ограничивающих количество и длину установленных балок в помещении. Проектирование систем с охлаждающими балками на поддержание уровня влажности в помещении

ниже необходимого может привести к значительному увеличению расхода первичного воздуха. При использовании охлаждающих балок точка росы в помещении не должна превышать температуру подачи охлажденной воды, поэтому проектирование систем с точкой росы около +14 °С не рекомендуется.

Большинство традиционных систем ОВК охлаждают воздух до точки росы около +11 °С, что соответствует влагосодержанию ( $W_{\text{первичное}}$ ) 3,8 г. Интенсивность воздушного потока ( $Q_{\text{первичное}}$ ) для компенсации прироста скрытой теплоты ( $q_{\text{скрытое}}$ ) можно рассчитать при помощи уравнения 4:

$$W_{\text{первичное}} = q_{\text{скрытое}} / [0,68 \cdot (W_{\text{комн}} - W_{\text{первичное}})]. \quad (4)$$

Применяя это уравнение для влагосодержания воздуха 3,8 г, получим необходимый расход первичного воздуха для помещения с общим приростом скрытого тепла 117 Вт для различных уровней влагосодержания.

Таким образом, при температуре 24 °С для поддержания относительной влажности, равной 50 %, необходим воздушный поток, интенсивность которого на 58 % больше требуемой для поддержания влажности на уровне 53 %. По стандарту ASHRAE 55–2004, относительная влажность 53 % является допустимой, она соответствует точке росы в 14 °С.

Охлаждающие балки часто используются в комбинации с центральным оборудованием ОВК, включая роторные рекуператоры. Эти технологии позволяют еще более понизить температуру точки росы в помещении. Использование такого оборудования рекомендуется в ситуациях, когда требуется температура точки росы ниже +13 °С.

Если исключения из уравнения воздушного баланса критерий «управления по нагрузке», то общее количество приточного воздуха при использовании охлаждающих балок, может быть сокращено на 25–50% по сравнению с традиционными системами.

#### **Заключение**

Активные охлаждающие балки могут быть использованы для отвода значительного количества тепла при сравнительно невысокой интенсивности первичного воздушного потока. Однако при этом необходимо помнить, что главной целью использования систем охлаждения в помещениях является поддержание максимально возможного уровня комфорта. Именно из этих соображений и следует подбирать параметры балок, учитывая, что:

1. Охлаждающие балки не следует применять в помещениях с низкими потолками, расстояние от потолка до верхней границы зоны обитания не должно быть меньше 0,9 м.

2. При установке балок в холлах, атриумах и других помещениях с высокой интенсивностью притока наружного воздуха необходимо принимать дополнительные меры по предотвращению образования конденсата.

3. Для обеспечения максимального уровня комфорта (скорость воздуха в обитаемой зоне не более 0,25 м/с) активные охлаждающие балки, установленные на высоте около 1,1 м над зоной обитания, следует размещать так, чтобы струя выходящего из них воздуха достигала скорости 0,5 м/с на дальности, не превышающей половины расстояния до балки, создающей встречный поток.

4. Чем меньше сопла балки, тем выше коэффициент эжекции и, соответственно, больше охлаждающая способность потока первичного воздуха. Однако уровень шума тоже выше. Кроме того, в этом случае для соблюдения требований по величине давления на входе придется использовать большее число балок.

5. Стремление чрезмерно снизить уровень влажности в помещении может привести к значительному увеличению интенсивности первичного воздушного потока.

#### **Библиографический список:**

1. ANSI/ASHRAE Standard 55–2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
2. Standard 55–2004, p. 3.
3. 2009 ASHRAE Handbook — Fundamentals, p. 20.13.
4. Koestal, A. 1954. «Computing temperature and velocities in vertical jets of hot or cold air.» ASHVE Transactions 60:385.
5. 2007 ASHRAE Handbook — HVAC Applications, p. 56.4.
6. ANSI/ASHRAE Standard 62.1–2004, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Table 6–1.
7. Standard 55–2004, p. 5.2.1.1.

8.2009 ASHRAE Handbook — Fundamentals, p. 9.12.

9.Вестник УКЦ [Электронный ресурс]: многопредмет. науч. журн. / Моск. учеб.-научн. центр. – Электрон. журн.– Кронштадтский бульвар, <http://www.hvac-school.ru/>

**Сатышев Ильяс Сатышевич**

Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Республика Казахстан, магистрант 2 курс, город Алматы. E-mail: [satyshevi@gmail.com](mailto:satyshevi@gmail.com)

**Satyshev Ilyas Satyshevich**

Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan, Mgr. 2 year, Almaty

УДК 536

## **ОПИСАНИЕ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА МЕТОДАМИ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ**

### **DESCRIPTION OF IDEAL GAS BY METHODS OF GENERAL RELATIVITY**

**Аннотация:** В работе изложен общий метод нахождения метрики для произвольного равновесного пространства, который вводится как - геометротермодинамика. Рассмотрены различные термодинамические потенциалы: Гиббса и энтропия, в контексте обсуждаемого метода. Рассматриваются некоторые свойства идеального газа и его описание в статистической физике: рассчитывается его внутренняя энергия, находится выражение для числа частиц. Для идеального газа находится фундаментальное уравнение, которое представляет собой выражение для определения энтропий как функций, которая зависит только от температуры и объема. Далее, используя полученное фундаментальное уравнение, находятся метрический тензор для идеального газа - методами общей теории относительности. Путем введения новых переменных показывается, что полученный тензор кривизны равен нулю, что свидетельствует об отсутствии потенциального взаимодействия между частицами идеального газа. Также обсуждается возможность применения данного метода к газу Бозе и к газу Ферми.

**Annotation:** The general method to finding a metric for an arbitrary equilibrium space is introduced, which is introduced as - geometrothermodynamics. We discussed various thermodynamic potentials are considered Gibbs and entropy, in the context of the method. Some properties of an ideal gas and its description in statistical physics are considered. The internal energy is calculated, an expression for the number of particles was found. For an ideal gas, there is a fundamental equation, which is an expression for determining entropies as functions, which depends only on temperature and volume. Further, using the obtained fundamental equation, the metric tensor for an ideal gas is found - by methods of the general theory of relativity. By introducing new variables, it is shown that the curvature tensor obtained is zero, which indicates that there is no potential interaction between the particles of an ideal gas. We also discussed the possibility of applying this method to the Bose gas and to the Fermi gas.

**Ключевые слова:** Геометротермодинамика, Идеальный газ, Метрический тензор

**Keywords:** Geometrothermodynamics, Ideal gas, Metric tensor

#### **Обзор метода расчета геометротермодинамики**

Идея описания поведения термодинамической системы с точки зрения геометродинамики довольно проста: построить пространство в котором каждая отдельная точка описывает одно

равновесное состояние. Физическое поведение такой термодинамической системы позволяет нам считать, что это пространство n-мерное. Степеней свободы для частицы системы соответственно тоже n.

В классической равновесной термодинамике система с n степенями свободы описывается экстенсивными по другому количественными переменными  $E^a$ , n интенсивными переменными  $I^a$ , где a индекс пробегающий значения от 1 до n через единицу и термодинамическим потенциалом, который зависит от n переменных. В этом контексте термины экстенсивный и интенсивный относятся к независимым и зависимым переменным соответственно, связанных с данным потенциалом. Для примера возьмем простую закрытую систему с двумя степенями свободы для нее независимыми переменными будут T и P, если выбранный потенциал описывающий систему потенциал Гиббса G, или внутренняя энергия U и объем V, если фундаментальный потенциал энтропия S. Это значит что для каждого случая термодинамический потенциал это функция описывающих систему переменных, т.е.,  $G = G(T, P)$  и  $S = S(U, V)$ .

Следовательно, с точки зрения термодинамики, система с n степенями свободы мы связываем с 2n+1 переменными, n здесь является независимым. С точки зрения геометрий эта идея описывается введением  $\varphi$  пространства с n – мерным многообразием  $\varepsilon$  в (2n+1) – мерное многообразие  $\mathfrak{S}$ :

$$\varphi: \varepsilon \rightarrow \mathfrak{S} \quad (1)$$

или в координатном представлении,

$$\varphi: [E] \rightarrow [\Phi(E), E, I, I(E)] \quad (2)$$

$\mathfrak{S}$  наделенное семейством касательных гиперплоскостей, определенных так называемой 1-формой  $\theta$ , которая удовлетворяет условию не интегрируемости:

$$\theta \wedge (d\theta)^n \neq 0 \quad (3)$$

$\mathfrak{S}$  многообразие называется термодинамическим фазовым пространством. Оно может координатизироваться 2n+1 переменными  $[Z^A] = [\Phi, E^a, I^a]$ , где  $A = 0, \dots, 2n$ . Фазовое пространство необходимо так как в нем мы можем обратиться к преобразованиям Лежандра в классической термодинамике изменив координаты. Формально, преобразования Лежандра это преобразования которые оставляют контактную структуру неизменной.

$$[Z] \rightarrow [Z] = [\Phi, E, I] \quad (4)$$

$$\Phi = \Phi - \delta_{kl} E_k I_l, \quad E^i = -I, \quad E^j = E, \quad I^i = E, \quad I^j = I, \quad (5)$$

где  $i \cup j$  непересекающиеся разложение которое состоит из индексов  $\{1, \dots, n\}$ , и  $k, l = 1, \dots, i$ .

Согласно теореме Дарбу [1], фундаментальная 1-форма  $\theta$  может быть выражена через координаты  $[Z^A]$  как:

$$\theta = d\Phi - I_a dE^a, \quad I_a = \delta_{ab} I^b, \quad (6)$$

мы используем здесь правило суммирования Эйнштейна для повторяющихся индексов. Легко увидеть после преобразований Лежандра новая фундаментальная 1-форма  $\tilde{\theta}$  через координаты  $\left\{ \tilde{Z}^A \right\}$  запишется как:

$$\tilde{\theta} = d\tilde{\Phi} - \tilde{I}_a d\tilde{E}^a. \quad (7)$$

Это означает что контактная структура не изменяется.

С другой стороны, многообразие  $\mathcal{E}$  максимальное интегральное подмногообразие  $\mathfrak{S}$ , и оно указывает путь частицы в термодинамической системе закодированной в нем.

Следующим шагом что бы установить отношения между стандартной равновесной термодинамикой в определенном многообразии. Для этого мы потребуем удовлетворение следующего условия:

$$\varphi^*(\theta) = 0, \quad (8)$$

где  $\varphi^*$  прообраз  $\varphi$ . В координатах это даст нам:

$$\varphi^*(\theta) = \varphi^*(d\Phi - I_a dE^a) = \left( \frac{d\Phi}{dE^a} - I_a \right) dE^a = 0 \quad (9)$$

Следовательно,

$$\Phi = \Phi(E^a) \text{ и } \frac{d\Phi}{dE^a} = I_a. \quad (10)$$

Уравнения (9) и (10) констатируют стандартную Гиббсову связь между равновесной термодинамикой в  $\mathcal{E}$ ,

$$d\Phi = I_a dE^a, \quad (11)$$

Которая интерпретируется как первый закон термодинамики. Определенное таким образом многообразие называется равновесным пространством.

К тому же в геометрическом описании термодинамики и в терминах контактной структуры, GTD программа способствует контакт многообразию  $(\mathfrak{S}, \theta)$  в Риманово контакт многообразии  $(\mathfrak{S}, \theta, G)$ , где  $G$  это метрика разделяющая симметрию  $\theta$ . Самый важная метрический инвариант относительно общего и частично преобразований Лежандра может быть найден [6]

$$G = \theta^2 + \Lambda(Z^A)(E_a I_a)^{2k+1} dE^a dI^a, \quad I_a = \delta_{ab} I^b, \quad (12)$$

где  $\Lambda(Z^A)$  произвольная инвариант функция координат  $Z^A$  Лежандра, и  $k$  целое число.

Введем новые координаты:

$$dX^a = \sqrt{\Lambda} E_a^{2k+1} dE^a, \quad dY^a = \sqrt{\Lambda} I_a^{2k+1} dI^a, \quad (13)$$

тогда (12) примет следующий вид:

$$G = \theta^2 + \delta_{ab} dX^a dY^a. \quad (14)$$

Можно рассматривать уравнение в таком же виде через переменные  $(\Phi, X^a, Y^a)$ , для нас удобнее вернуться к представлению  $(\Phi, E^a, I^a)$ , Далее положив  $\Lambda = 1$  и  $k = 0$  получим:

$$G = \theta^2 + (E_a I_a dE^a dI^a). \quad (15)$$

Соответствующая определенная термодинамическая метрика в пространстве в равновесном состояний дается следующим образом:

$$g = \varphi^*(G) = E_a \frac{\partial \Phi}{\partial E^a} \delta^{ab} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial E^b \partial E^c} dE^a dE^c. \quad (16)$$

В случае системы с двумя степенями свободы,  $n = 2$ , мы получим метрику записанную следующим образом:

$$g = E^1 \Phi_{,1} \Phi_{,11} (dE^1)^2 + (E^1 \Phi_{,1} + E^2 \Phi_{,2}) \Phi_{,12} dE^1 dE^2 + E^2 \Phi_{,2} \Phi_{,22} (dE^2)^2, \quad (17)$$

$$\text{где } \Phi_{,1} = \frac{\partial \Phi}{\partial E^1}, \quad \Phi = \Phi(E^1, E^2).$$

Таким образом мы получили общую форму для расчета метрики для произвольной системы. Для того что бы рассчитать ее для идеального газа, необходимо найти для него фундаментальное уравнение.

### Идеальный квантовый газ

У нас имеется газ из  $N$  не взаимодействующих между собой через потенциальную силы, с одинаковыми массами  $m$  и импульсом  $P_i$ , внутри 3-мерной, герметичной коробке с объемом  $V$ . В соответствии со стандартной физической моделью, такая система описывается следующим Гамильтонианом:

$$H = \sum_{i=1}^N \frac{P_i^2}{2m} \quad (18)$$

Если мы учтем физическую природу частиц, идеальный газ будет либо газом Ферми, газом Бозе или газом Больцмана. В первых двух случаях, определяющей будет квантовая природа частиц (фермионная или бозонная), главным образом из-за характеристики системы, в то время как газ Больцмана состоит из классических и одинаковых частиц. С статистической точки зрения, тот факт что в гамильтониане отсутствует потенциал взаимодействия указывает на то что между частицами отсутствует термодинамическое взаимодействие.

Цель данного раздела является нахождение термодинамических свойств идеального квантового газа в таком представлении, что бы их можно было использовать в контексте GTD. Есть несколько возможностей для получения статистической модели в том случае если вычислен термодинамический предел, в случае без-спиновых квантовых частиц, и удобно использовать для этого большую статистическую сумму.

$$Q(V, T, \mu) = \prod_p \left[ 1 + a e^{\beta(\mu - \varepsilon_p)} \right]^a, \quad \beta = \frac{1}{K_B T}, \quad \varepsilon_p = \frac{p^2}{2m}, \quad a = \pm 1.$$

где  $K_B$  постоянная Больцмана,  $T$  температура,  $V$  объем и  $\mu$  химический потенциал. Константа  $a$  определяет тип газа:  $a = +1$  для Ферми газа и  $a = -1$  для Бозэ газа. Главные термодинамические величины можно получить напрямую из большой статистической суммы:

$$U = - \frac{\partial}{\partial \beta} \ln Q, \quad N = \frac{1}{\beta} \frac{\partial}{\partial \beta} \ln Q, \quad (19)$$

где  $U$  внутренняя энергия,  $N$  число частиц. В случае квантового газа мы получим

$$U = \sum_p \frac{\epsilon_p}{e^{\beta(\epsilon_p - \mu)} + a}, \quad N = \sum_p \frac{1}{e^{\beta(\epsilon_p - \mu)} + a}. \quad (20)$$

Легко заметить что статистическое описание Бозэ и Ферми частиц отличается только значением параметра  $a$ . Дальше мы увидим что это обстоятельство имеет место и для термодинамического предела.

### Получение фундаментального уравнения для идеального газа.

Существует несколько равнозначных путей для нахождения фундаментального уравнения для идеального квантового газа в термодинамическом пределе. Для того что бы странить наши результаты с хорошо известным уравнением Сакур-Тетрода для энтропий классического идеального газа, мы выбираем энтропию  $S = S(U, V, N)$  как термодинамический потенциал который определяет фундаментальное уравнение. Для нахождения энтропий удобно использовать свободную энергию, которая связанная с энтропией через преобразования Лежандра  $F = U - TS$ . Более того, для свободной энергий мы можем использовать уравнение  $F = -PV + \mu N$  совместно с стандартным

уравнением состояния  $PV = NK_B T$  и  $U = \frac{3}{2} NK_B T$ .

Приравняем два выражения для свободной энергий:

$$F = U - TS = -PV + \mu N,$$

для того что бы получить  $S = S(U, V, \mu)$  нужно исключить из полученного уравнения член  $PV$  и выразить его через внутреннюю энергию  $U$ , для этого:

Так как  $PV = NK_B T$ , а  $U = \frac{3}{2} NK_B T$ , легко заметить что выражения отличаются друг от друга только коэффициентом  $\frac{3}{2}$ , поэтому  $U = \frac{3}{2} PV$ . Таким образом получим следующее равенство:

$$U - TS = -\frac{2}{3}U + \mu N, \quad \text{выразив из него энтропию } S \text{ получим:}$$

$$S = \frac{1}{T} \left( \frac{5}{3}U - \mu N \right). \quad (21)$$

Приступая к оценке этого уравнения нам нужны выражения для  $U$  и  $N$  в подходящем пределе.

В термодинамическом пределе  $V \rightarrow \infty$ , возможные значения  $P$  представляют собой континуум т.е. их количество стремится к бесконечности и описывает при этом сплошную, непрерывную среду. Учтя все эти свойства, мы можем заменить сумму по всем значениям  $P$  на интеграл.

Таким образом мы получим:

$$\sum_p \rightarrow \frac{1}{h^3} \iiint dp_x dp_y dp_z \iiint dx dy dz \quad (22)$$

Постоянная планка в знаменателе вводится для сохранения размерности т.к. из принципа неопределенности Гейзенберга мы имеем:

$$\Delta p_q \Delta q \sim h \quad (23)$$

где  $P$  - обобщенный импульс, а  $q$  - обобщенная координата.

Для объемного элемента получим следующее выражение  $\iiint dx dy dz = V$  и подставим его в (22).

$$\sum_p \rightarrow \frac{V}{h^3} \iiint dp_x dp_y dp_z \quad (23)$$

Перейдем в сферическую систему координат, а затем получим:

$$\sum_p \rightarrow \frac{V}{h^3} \iiint p^2 dp \sin(\theta) d\theta d\varphi \quad (24)$$

Так как  $\varphi$  меняется от 0 до  $2\pi$  (25) примет вид:

$$\sum_p \rightarrow \frac{2\pi V}{h^3} \iint p^2 dp \sin(\theta) d\theta \quad (25)$$

Внесем  $\sin(\theta)$  под знак дифференциала и проинтегрируем от -1 до 1 ( т.к. все значения  $\cos(\theta)$  находятся в данном пределе). И в итоге переход от суммы к интегралу осуществиться следующим образом:

$$\sum_p \rightarrow \frac{4\pi}{h^3} \int p^2 dp = \frac{2\pi V}{h^3} (2m)^{\frac{3}{2}} \int \varepsilon^{\frac{1}{2}} d\varepsilon \quad (26)$$

Переход от суммы к интегралу в (26) приводит уравнения (19) к следующему виду:

$$U = \frac{2\pi V}{h^3} (2m)^{\frac{3}{2}} \int \varepsilon^{\frac{1}{2}} \frac{\varepsilon}{e^{\beta(\varepsilon - \mu)} + 1} d\varepsilon \quad N = \frac{2\pi V}{h^3} (2m)^{\frac{3}{2}} \int \varepsilon^{\frac{1}{2}} \frac{1}{e^{\beta(\varepsilon - \mu)} + 1} d\varepsilon \quad (27)$$

Введем новые переменные  $x = \beta\varepsilon$  и  $z = e^{\beta\mu}$  тогда уравнения (27) примут вид:

$$U = \frac{3}{2} k_B T V \left( \frac{m k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{\frac{3}{2}} h_{\frac{5}{2}}^l(z) \quad N = V \left( \frac{m k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{\frac{3}{2}} h_{\frac{3}{2}}^l(z) \quad (28)$$

Здесь  $h_n^l(z)$  это известные интегралы  $h_n^+(z)$  и  $h_n^-(z)$  Ферми и Бозе соответственно.

$$h_n^l(z) = \frac{1}{\Gamma(n)} \int_0^\infty \frac{x^{n-1}}{z^{-1}e^x + l} dx \quad (29)$$

где  $\Gamma(n)$  - гамма функция, которая принимает следующие значения для различных  $n$  :

$$\Gamma\left(\frac{5}{2}\right) = \frac{3}{4}\sqrt{\pi} \quad \Gamma\left(\frac{3}{2}\right) = \frac{1}{2}\sqrt{\pi}$$

Из уравнения (29) видно что  $h_n^l(z)$  бесконечно дифференцируемая функция и непрерывная функция, что позволяет нам разложить ее в ряд Тейлора по переменной  $z$ . Удобно раскладывать вблизи нуля т.к. это упростит форму полученного в итоге выражения суммы. Так же для простоты возьмем только первые три члена в искомой сумме.

Общая форма разложения функций в ряд Тейлора вблизи нуля получится следующая:

$$h_n^l(z) = h(0) + \frac{h^I(0)}{1} z + \frac{h^{II}(0)}{2} z^2 \quad (30)$$

Найдем  $h(0)$ ,  $h^I(0)$  и  $h^{II}(0)$  :

$$h(0) = \frac{1}{\Gamma(n)} \int_0^\infty \left( \lim_{z \rightarrow 0} \frac{x^{n-1}}{z^{-1}e^x + l} \right) dx = 0$$

$$h^I(z) = \frac{1}{\Gamma(n)} \int_0^\infty \frac{x^{n-1}(e^x + zl) - lzx^{n-1}}{(e^x + zl)^2} dx \quad h^I(0) = \frac{1}{\Gamma(n)} \int_0^\infty \frac{x^{n-1}}{e^x} dx = 1$$

$$h^{II}(z) = -\frac{2l}{\Gamma(n)} \int_0^\infty \frac{x^{n-1}e^x}{(e^x + lz)^3} dx \quad h^{II}(0) = -\frac{2l}{\Gamma(n)} \int_0^\infty x^{n-1}e^{-2x} dx = -\frac{l}{\Gamma(n) 2^{n-1}} \int_0^\infty (2x)^{n-1} e^{-2x} d(2x) = -\frac{l}{2^{n-1}}$$

В итоге выражение для  $h_n^l(z)$  получится таким:

$$h_n^l(z) = z - \frac{l}{2^n} z^2 \quad (31)$$

Подставим (32) в выражения для внутренней энергий и числа частиц (29) и получим:

$$U = \frac{3}{2} k_B T V \left( \frac{m k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{3/2} \left( z - l \frac{z^2}{2^{5/2}} \right), \quad N = V \left( \frac{m k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{3/2} \left( z - l \frac{z^2}{2^{3/2}} \right), \quad (32)$$

где учтены только квадратичные члены по  $z$ . Вспомним что  $z$  была введена нами как  $z = e^{\beta\mu}$ , а это в свою очередь физическая величина и называется она – Летучесть. Теперь возьмем уравнение для  $N$  из (32) и выразим летучесть через  $N/V$ . Для этого в выражений для  $N$  мы заменим  $z$  на серию  $z = z_1(N/V) + z_2(N/V)^2$ , и сравнить члены в обеих частях уравнения таким образом, что бы  $z_1$  и  $z_2$  могли быть определены. Таким образом мы получаем:

$$z = \frac{N}{V} \left( \frac{2\pi \hbar^2}{m k_B T} \right)^{3/2} + l \frac{N^2}{2^{3/2} V^2} \left( \frac{2\pi \hbar^2}{m k_B T} \right)^3. \quad (33)$$

Обратим внимание на то, что условие классического предела для идеального газа, т.к. частицы потенциально не взаимодействуют, таково:

$$\frac{N}{V} \left( \frac{2\pi \hbar^2}{m k_B T} \right)^{3/2} \ll 1 \quad (34)$$

Выражение для летучести (33) теперь может быть использовано в уравнений для внутренней энергий (32), учитывая что химический потенциал определяется как  $\mu = k_B T \ln z$ . Полученные уравнения подставим в выражение для энтропий (21) и в итоге получим:

$$S = \frac{5}{2} N k_B - N k_B \ln \left[ \frac{N}{V} \left( \frac{2\pi \hbar^2}{m k_B T} \right)^{3/2} \right] + l \frac{N^2 k_B}{2^{7/2} V} \left( \frac{2\pi \hbar^2}{m k_B T} \right)^{3/2}, \quad (35)$$

где у нас учитываются только ведущие члены в пределе высоких температур. Это и есть фундаментальное уравнение для идеального газа. Вместо внутренней энергий в фундаментальном уравнений (35) мы используем температуру и, т.к. внутренняя энергия напрямую зависит от температуры, в этом нет никакого противоречия.

Перейдем к пределу Больмана ( $T \rightarrow \infty$ ). В результате - в фундаментальное уравнение (35) член  $l \frac{N^2 k_B}{2^{7/2} V} \left( \frac{2\pi \hbar^2}{m k_B T} \right)^{3/2}$  станет равен нулю, и итоговое уравнение получится следующим:

$$S = \frac{5}{2} N k_B - N k_B \ln \left[ \frac{N}{V} \left( \frac{2\pi \hbar^2}{m k_B T} \right)^{3/2} \right], \quad (36)$$

### Расчет метрики для идеального газа.

Теперь у нас имеется все необходимое для расчета метрики идеального газа. Для этого будем использовать уравнение (17) и полученное фундаментальное выражение для энтропий (36). Первым делом определим независимые переменные  $E^1$  и  $E^2$ , и это внутренняя энергия и объем соответственно:

$$E^1 = U = \frac{3}{2} kT, \quad E^2 = V, \quad (37)$$

здесь для внутренней энергий используется известное для идеального газа выражение, в силу того, что фундаментальное выражение для энтропий, функция зависящая от объема и температуры.

Следующий шаг это нахождение частных производных от энтропий по независимым переменным:

$$\Phi_{,1} = \frac{\partial S}{\partial U} = \frac{2}{3} \frac{1}{k} \frac{\partial S}{\partial T}, \quad \Phi_{,2} = \frac{\partial S}{\partial V},$$

$$\begin{aligned} \Phi_{,1} &= \frac{2}{3} \frac{1}{k} \frac{\partial \left( \frac{5}{2} Nk - Nk \ln \left[ \frac{N}{V} \left( \frac{2\pi\hbar^2}{mkT} \right)^{3/2} \right] \right)}{\partial T} = - \frac{2}{3} N \frac{V}{N} \left( \frac{mkT}{2\pi\hbar^2} \right)^{3/2} \frac{N}{V} \frac{3}{2} \left( \frac{2\pi\hbar^2}{mkT} \right)^{1/2} \left( \frac{-2\pi\hbar^2 mk}{m^2 k^2 T^2} \right) = \\ &= \frac{N}{T} \end{aligned} \quad (38)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{,2} &= \frac{\partial \left( \frac{5}{2} Nk - Nk \ln \left[ \frac{N}{V} \left( \frac{2\pi\hbar^2}{mkT} \right)^{3/2} \right] \right)}{\partial V} = Nk \frac{V}{N} \left( \frac{mkT}{2\pi\hbar^2} \right)^{3/2} \left( \frac{2\pi\hbar^2}{mkT} \right)^{3/2} \left( - \frac{N}{V^2} \right) = \\ &= \frac{Nk}{V} \end{aligned} \quad (39)$$

Теперь найдем вторые частные производные от энтропий по независимым переменным:

$$\Phi_{,11} = \frac{\partial^2 S}{\partial U^2} = \frac{2}{3} \frac{1}{k} \frac{\partial}{\partial T} \left( \frac{2}{3} \frac{1}{k} \frac{\partial S}{\partial T} \right) = \frac{2}{3} \frac{1}{k} \frac{\partial \Phi_{,1}}{\partial T}, \quad \Phi_{,22} = \frac{\partial^2 S}{\partial V^2} = \frac{\partial \Phi_{,2}}{\partial V} \quad \text{и} \quad \Phi_{,12} = \frac{\partial^2 S}{\partial U \partial V},$$

$$\Phi_{,11} = \frac{2}{3} \frac{1}{k} \frac{\partial \frac{N}{T}}{\partial T} = - \frac{2}{3} \frac{1}{k} \frac{N}{T^2}, \quad (40)$$

$$\Phi_{,22} = \frac{\partial \frac{Nk}{V}}{\partial V} = - \frac{Nk}{V^2}, \quad (41)$$

$$\Phi_{,12} = \frac{\partial \frac{N}{T}}{\partial V} = 0. \quad (42)$$

Подставим полученные выражения с (37) по (42) в (17):

$$g = \frac{3}{2}kT \frac{N}{T} \left( -\frac{2}{3} \frac{1}{k} \frac{N}{T^2} \right) \left( d \frac{3}{2} kT \right)^2 + V \frac{Nk}{V} \left( -\frac{Nk}{V^2} \right) (dV)^2 =$$

$$= -\frac{9}{4} k^2 \frac{N^2}{T^2} (dT)^2 - k^2 \frac{N^2}{V^2} (dV)^2$$

вынесем за скобки  $N^2$  и  $k^2$ , и получим следующее выражение для метрики идеального газа:

$$g = -k^2 N^2 \left[ \frac{9}{4} \left( \frac{dT}{T} \right)^2 + \left( \frac{dV}{V} \right)^2 \right]. \quad (43)$$

Теперь легко увидеть, что соответствующий тензор кривизны равен нулю. Это так же можно

увидеть, если ввести новые переменные  $d\eta = kN \frac{3dT}{2T}$  и  $d\xi = kN \frac{dV}{V}$ , тогда метрика (43) становится подобной метрике для Декартовой системы координат т.е.  $g = -d\eta^2 - d\xi^2$ , кривизна которой очевидно равна нулю.

В GTD, постоянная кривизна интерпретируется как проявление собственного взаимодействия между частицами системы. Таким образом мы получили кривизну для газа Больцмана равной нулю. Полученный результат согласуется с начальным статистическим подходом т.к. Гамильтониан (18) не имеет потенциальной части. Из этого всего делается вывод о том, что нулевая кривизна системы частиц – это следствие отсутствия потенциального взаимодействия между частицами данной системы.

#### Библиографический список:

1. Точные решения уравнений Эйнштейна. Под ред. Э. Шмутцера М.: Энергоиздат, 1982. - 416с.
2. Савельев И.В. Курс физики. – М.: Наука., 1989. – т. 1. с. 250-253, 264-268.
3. Emparan R. and Reall H. S., A rotating black ring in five dimensions // Physical Review Letters. – 2002. – Vol. 88. – № 10. – DOI: 10.1103/PhysRevLett.88.101101.
4. Arcioni G. and Lozano-Tellechea E., Stability and critical phenomena of black holes and black rings // Physical Review D. -2005. – Vol.72. -№10. – DOI: 10.1103/PhysRevD.72.104021
5. Emparan R., Rotating circular strings, and infinite non-uniqueness of black rings // Journal High Energy Physics. – 2004. – Vol. 2004. – DOI:10.1088/1126-6708/2004/03/064.
6. Vasquez, A., Quevedo, H., Sanchez, A.: J. Geom. Phys. 60, 2010

Научное издание

Коллектив авторов

Сборник материалов IX Международной научной конференции «Техноконгресс»

Техниконаучный журнал «Техноконгресс»

Кемерово 2017