

ВОПРОСЫ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО
САРАТОВСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА



Выпуск 19

2012

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА И ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КАРДИНАЛЬНОГО УЛУЧШЕНИЯ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Современные системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха в вагонах электропоездов – это сложные автоматизированные комплексы с разветвленными алгоритмами управления, обеспечивающие достаточно комфортные условия проезда пассажиров. Однако для радикального устранения пока еще не решенных проблем, связанных с их функционированием, предстоит устранить ряд дефектов, существенно снижающих эффект от их использования.

Фактически, можно свести все эти дефекты к двум основным, доставляющим немало проблем пассажирам и руководству РЖД. Это, так называемые, «проскоки холодного воздуха», имеющие место в режиме отопления салона в зимний период времени, и низкая эффективность работы вентиляции в наиболее жаркие солнечные дни летнего времени года.

Устранению этих дефектов в работе систем обеспечения комфортного микроклимата в вагонах электропоездов посвящен предлагаемый ниже цикл из 4-х статей, в которых выявляются физические основы появления упомянутых выше дефектов функционирования этих систем и предлагаются реальные физические механизмы, позволяющие полностью устранить эти проблемы.

В работах проводится достаточно глубокий теоретический анализ и экспериментальное исследование теплофизических и аэродинамических процессов, протекающих в климатическом оборудовании, предлагаются конкретные пути усовершенствования этих систем, обеспечения значительно более комфортных условий проезда пассажиров железнодорожного электротранспорта.

УДК 62-712.8

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ САЛОНА ВАГОНОВ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

С.В. Безрукавный, В.Я. Явчуновский

ОАО «Демидовский машиностроительный завод»
Безрукавный Сергей Викторович, технический директор

ООО НПФ «Этна»

Явчуновский Виктор Яковлевич, д.ф.-м.н., директор

Рассмотрены основные физические проблемы, обуславливающие дефекты существующей системы вентиляции салона вагона электропоезда, предложены эффективные пути модернизации системы, обеспечивающие максимально комфортные условия для пассажиров. Проведена приближенная оценка возможной экономии электроэнергии, за счет смещения нижней температурной границы включения системы кондиционирования воздуха (с замещением ее при не очень высоких летних температурах модернизированной системой вентиляции салона).

1. Введение

Одной из наиболее «больных» проблем с микроклиматом электропоездов в летнее время является невысокая эффективность существующей вентиляции салона вагона электропоезда. Известно, сколько в жаркое время года поступает жалоб от пассажиров на духоту в салоне [1].

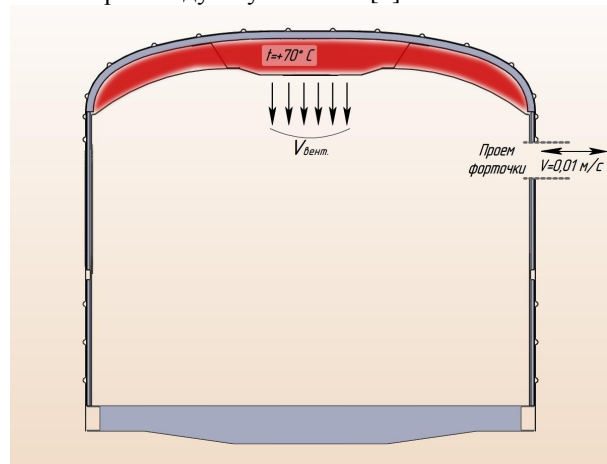


Рис.1. Схематическое изображение потоков воздуха от системы вентиляции в вертикальном сечении салона вагона электропоезда.

В абсолютном большинстве находящихся в эксплуатации поездов кондиционирование отсутствует. Поэтому единственная возможность обеспечить приток свежего воздуха в салон, снизить температуру воздуха в салоне, обеспечить минимальное движение в нем воздуха можно лишь за счет модернизации системы вентиляции, повышения ее эффективности.

С физической точки зрения основные физические проблемы, лежащие в основе низкой эффективности существующей вентиляции салона электропоезда сводятся к двум факторам (рис. 1):

- при нагреве крыши вагона солнечными лучами в надпотолочном пространстве (связанном с помещением салона через перфорацию потолка) накапливается нагретый воздух, температура которого по отдельным замерам достигает 70°C;
- оттуда он через перфорацию в потолке поступает в салон (либо передает ему свою тепловую энергию через механизмы теплопроводности);
- при включении существующей системы вентиляции это тепло передается с потоком воздуха в салон;
- воздух в вагон даже через полностью открытые форточки практически не поступает (скорость

воздуха в области открытой форточки по направлению в салон составляет всего $0,01 \div 0,02$ м/с!). Это связано и с более высоким давлением и температурой воздуха в салоне (по сравнению с атмосферными давлением и температурой), и с ламинарным истечением воздуха вдоль состава при его прямолинейном движении.

Силы же, обеспечивающие движение наружного воздуха через открытые форточки внутрь салона (кроме сил, появляющихся за счет небольших турбулентных вихрей [2-4], образующихся при открывании форточек в вагоне) практически отсутствуют и, соответственно, передача свежего воздуха из окружающей среды в салон практически не осуществляется.

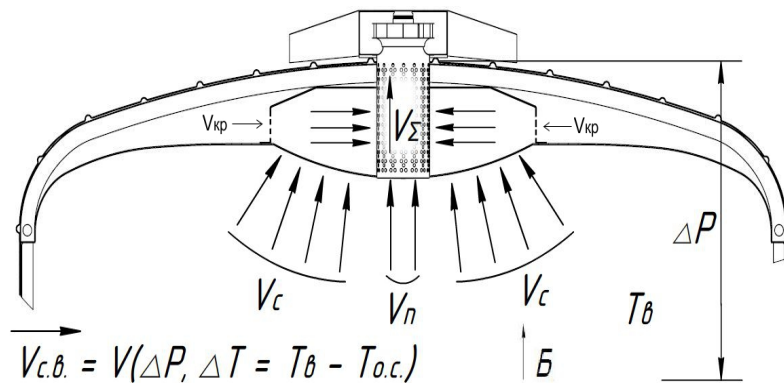


Рис. 2. Схематическое изображение распределения потоков воздуха с использованием предлагаемого в настоящей работе агрегата вентиляции салона (АВС): V_c – поток воздуха через перфорацию потолка; V_n – поток воздуха через торцевое сечение АВС; $V_{кр}$ – поток нагретого прямыми солнечными лучами воздуха в подкрышном пространстве; V_{Σ} – суммарный поток воздуха через АВС; $T_{в}$ – температура воздуха в салоне; ΔP – превышение давления воздуха снаружи электропоезда (атмосферного давления) над давлением воздуха в салоне; $V_{св}$ – приток свежего воздуха в салон.

Это должно кардинально улучшить микроклимат в салоне за счет следующих физических механизмов:

- прежде всего, снизится температура самого надпотолочного пространства, и тепловая энергия оттуда перестанет поступать в салон и нагревать воздух в нем;
- во-вторых, это создаст движение воздуха из объема салона в надпотолочное пространство, в результате чего и из салона начнет выходить нагретый воздух;
- в-третьих, при соответствующем выборе параметров вентиляции, давление воздуха в салоне опустится ниже атмосферного давления, в результате чего появится сила, организующая направленное движение воздуха через открытые форточки в салон.

При этом следует отметить, что в рамках такой конструкции и схемы ее включения несложно организовать дискретное, либо непрерывное управление параметрами вентиляции, что позволит регулировать их в зависимости от изменения погодных условий.

В качестве основы такого технического решения (рис. 3) можно было бы выбрать, например, бескорпусной вентилятор фирмы ЕВМ требуемой производительности (с диаметром крыльчатки 280, или 310, или 355 мм).

Предлагается установить этот вентилятор

2. Описание предлагаемого технического решения

В основе предлагаемого решения – формирование тех сил, которые удалят из-под крыши горячий воздух, не дав ему попасть в салон, и наоборот, заставят поступать в салон свежий и более прохладный наружный воздух.

С этой целью предлагается (рис. 2) установить на крыше один высокопроизводительный (с расходом $4 \div 5 \cdot 10^3$ м³/ч) или нескольких менее мощных вентагрегатов (с соответствующими каналами забора и выброса воздуха), «откачивающих» в атмосферу нагретый воздух из надпотолочного пространства, а заодно и из салона).

непосредственно на крыше вагона (рис. 4). На основном корпусе агрегата выполняются две наклонные (чтобы в них не попадали дождь, снег, пыль и грязь) трубы для выброса воздуха из вагона. Скорее всего, выход этих труб нужно будет закрыть механическими клапанами, которые будут пропускать воздух только при включенном вентиляторе.

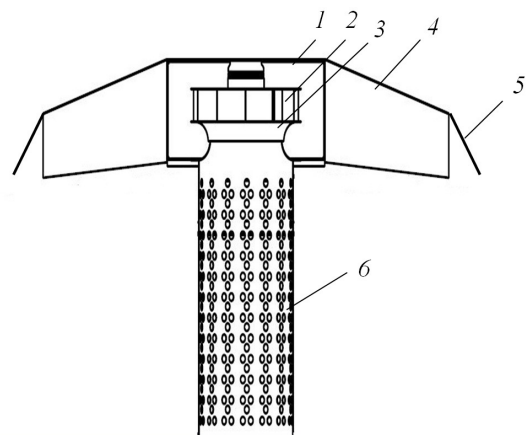


Рис. 3. Схематическое изображение предлагаемого агрегата вентиляции салона АВС:

- 1 – основной корпус агрегата; 2 – бескорпусный центробежный вентилятор;
- 3 – диффузор; 4 – каналы выброса воздуха в атмосферу; 5 – механические клапаны;

6 – перфорированный с торца и по образующей цилиндр для забора воздуха

В диффузор вентилятора воздух будет попадать через перфорированный со всех сторон цилиндр. Подобрав площади и конфигурации отверстий на торце и на образующей цилиндра, можно будет организовать правильное соотношение потоков воздуха из надпотолочного (подкрышного) пространства и собственно из салона вагона.

При реализации такого либо подобного ему решения в вагон начнет поступать через открытые форточки свежий заборный воздух. Горячий же воздух (из-под нагретой солнцем крыши) будет удаляться агрегатом АВС из подкрышного пространства, не попадая при этом в салон вагона.

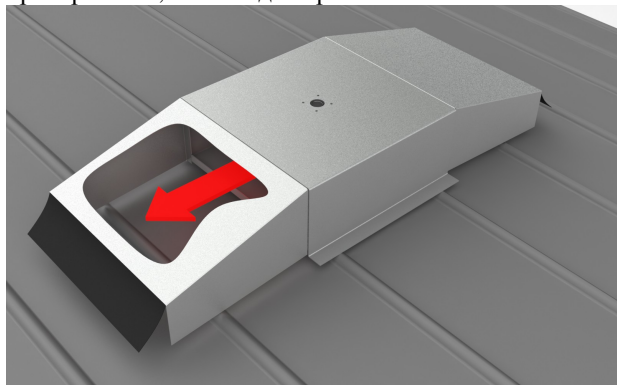


Рис. 4. Размещение агрегата АВС на крыше вагона (стрелкой показан один из двух потоков откачиваемого из салона и из подкрышного пространства воздуха)

Однако у этого решения имеются и определенные недостатки. Во-первых, в рассматриваемом варианте мы берем из окружающего пространства нефльтрованный воздух. Это, в какой-то мере, шаг назад, по сравнению с существующими системами отопления и вентиляции, в которых воздух фильтруется. В основные моноблоки этих систем (рис. 5) воздух попадает через фильтры, входящие в состав их вентагрегатов. Наружный воздух попадает в салон исключительно через эти фильтры.

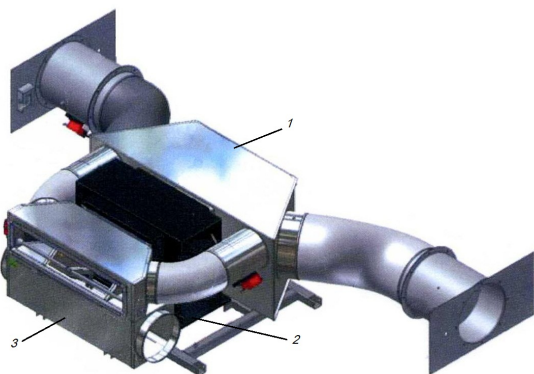


Рис.5. Внешний вид моноблока системы отопления, вентиляции и кондиционирования: 1 - вентагрегат, 2 - электрокалорифер (нагревательный блок), 3 - коллектор – распределитель.

Во-вторых, при заборе воздуха из форточек организуется его движение над головами сидящих пассажиров (рис. 2), а правильнее было бы провести

его через все поперечное сечение вагона. Да и скорость потоков воздуха будет, скорее всего, существенно больше установленных санитарно – гигиенических норм (0,2 м/с)!

В этой связи напрашивается достаточно очевидное и простое решение – использовать существующую и устанавливаемую во всех новых поездах систему вентиляции (рис. 5). В ней уже стоят фильтры, воздух из нее (правда не в режиме вентиляции, а в режиме отопления) выходит в нижней части вагона из существующих уже воздуховодов, а оттуда он пойдет через все поперечное сечение салона на вытяжные вентагрегаты. Форточки при этом представляется целесообразным закрыть. Нужно только пустить воздух в режиме вентиляции не через потолочный канал, а через каналы отопления.

В существующих системах эти потоки разведены, чтобы в режиме отопления горячий воздух естественным образом поднимался вверх, а в режиме вентиляции холодный воздух опускался вниз.

Но в предлагаемой схеме (рис. 6) холодный воздух сам пойдет вверх за счет разрежения воздуха в вагоне.

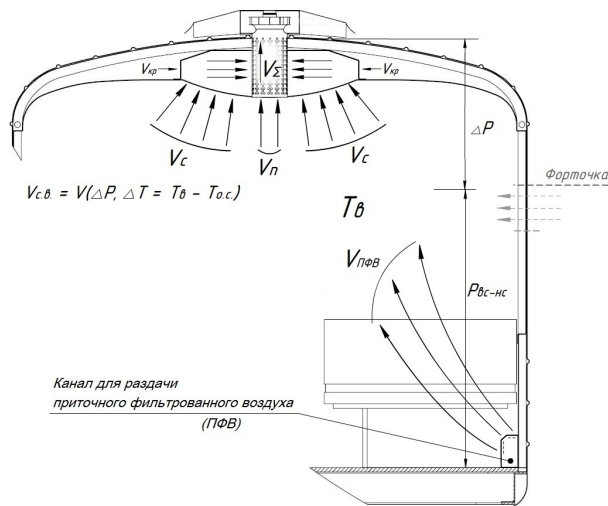


Рис. 6. Комплексное решение задачи вентиляции салона электропоезда с имеющейся в нем уже системой отопления и вентиляции салона:

- V_c – поток воздуха через перфорацию потолка;
- V_n – поток воздуха через торцевое сечение АВС-1700;
- $V_{кр}$ – поток нагретого прямыми солнечными лучами воздуха в подкрышном пространстве;
- V_{Σ} – суммарный поток воздуха через АВС-1700;
- T_v – температура воздуха в салоне;
- $\Delta P_{к-вс}$ – превышение давления воздуха снаружи электропоезда (атмосферного давления) над давлением воздуха в верхней части салона;
- $P_{вс-нс}$ – перепад давлений между верхней и нижней частью салона;
- $V_{св}$ – приток свежего воздуха в салон.

Возможны, видимо, и иные варианты построения единой системы приточно – вытяжной системы вентиляции салона, обеспечивающие достаточно комфортные климатические условия проезда пассажиров в летнее время.

Однако, для окончательного определения масштабов проблемы и оценки эффективности

принимаемых технических решений представляется необходимым провести хотя бы приближенные инженерные расчеты потоков тепловой энергии (поступающих в салон в настоящее время из-за прямого солнечного излучения и тепла, выделяемого пассажирами вагона) и выводимых из салона с использованием предлагаемой системы приточно – вытяжной вентиляции.

3. Постановка задачи теоретического анализа. Вывод основных расчетных соотношений

Основным источником тепла в рассматриваемой задаче является прямое солнечное излучение, за счет которого происходит разогрев крыши вагона (рис.7).

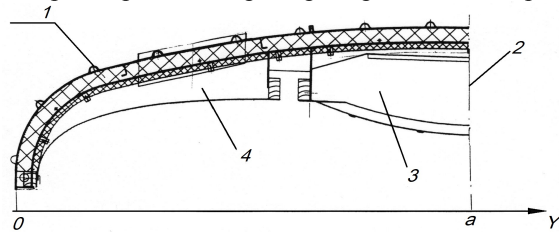


Рис. 7. Фрагмент поперечного сечения крыши вагона (50% сечения крыши) и подкрышного пространства салона вагона (а – половина ширины вагона):

- 1 – нагреваемая солнечными лучами поверхность крыши;
 - 2 – плоскость продольной симметрии салона вагона;
 - 3 – существующий канал вентиляции салона, по которому в существующей системе воздух, получив тепловую энергию от нагретой солнцем крыши, попадает под давлением в салон;
 - 4 – боковые подкрышные полости.
- y – ось параллельная поверхности рельсов и перпендикулярная направлению движения вагона.

Выделяемое при этом количество тепловой энергии Q несложно оценить в достаточно корректном приближении, учитывающем плотность

потока солнечной энергии $\frac{\partial Q}{\partial S}$, коэффициент поглощения этой энергии поверхностью крыши вагона f и угол падения солнечных лучей на отдельные фрагменты крыши вагона α .

$$Q = 2 \int_0^a \frac{\partial Q}{\partial S} \cdot l \cdot a \cdot f \cdot G(\alpha(y)) dy, \quad (1)$$

где l – длина вагона,
 a – половина ширины вагона
 G(α(y)) – функция, определяющая угол падения солнечных лучей с учетом собственной кривизны крыши.

Переходя от энергии к мощности солнечного излучения и задавая его интенсивность через плотность потока мощности солнечного излучения в месте нахождения крыши вагона, а также с учетом времени года и суток и других факторов [1] в виде:

$$W_0 = \left(\frac{\partial P}{\partial S} \right)_0, \quad (2)$$

а также определив вид функции G(α(y)) в виде (см. рис.8):

$$G(\alpha(y)) = \sin(\alpha_0 + \beta(y)), \quad (3)$$

где α₀ – наклон солнечных лучей к горизонту,
 β(y) – функция кривизны крыши, определяемая,

как линейная аппроксимация ее фактического контура, преобразуем выражение (1) к виду:

$$P = 2 \int_0^a \left(\frac{\partial P}{\partial S} \right)_0 \cdot l \cdot a \cdot f \cdot \sin(\alpha_0 + \beta(y)) \cdot dy =$$

$$= 2 W_0 \cdot l \cdot a \cdot f \left[\sin(\alpha_0) \int_0^a \cos \beta(y) dy + \cos(\alpha_0) \int_0^a \sin \beta(y) dy \right] \quad (4)$$

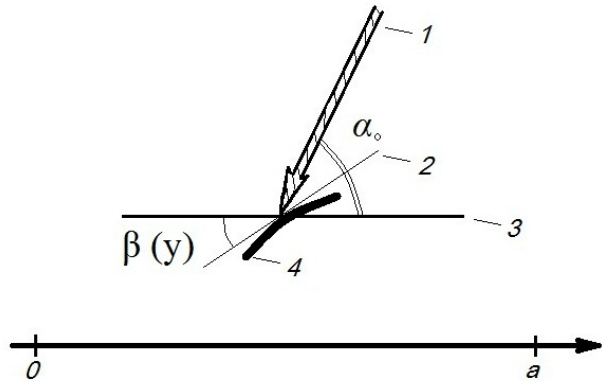


Рис. 8. К вычислению функции G(α(y)), определяющей угол падения солнечных лучей с учетом собственной кривизны крыши β(y): 1 – солнечный луч, 2 – касательная к поперечному сечению крыши в заданной точке y, 3 – линия горизонта, 4 – фрагмент крыши вагона.

Аппроксимировав функцию β(y), описывающую линию поперечного сечения внешней поверхности крыши вагона, в виде:

$$\beta(y) = \arctg(h/y), \quad (5)$$

где h – высота крыши вагона, представим (1), (4) в окончательном виде с учетом симметрии крыши вагона:

$$Q = 2 \int_0^a \frac{\partial Q}{\partial S} \cdot l \cdot a \cdot f \cdot \sin(\alpha_0 + \arctg(\frac{h}{y})) dy \quad (6)$$

$$P = 2 \int_0^a \left(\frac{\partial P}{\partial S} \right)_0 \cdot l \cdot a \cdot f \cdot \sin(\alpha_0 + \arctg(\frac{h}{y})) \cdot dy =$$

$$= 2 W_0 \cdot l \cdot a \cdot f \left[\sin(\alpha_0) \int_0^a \cos(\arctg(\frac{h}{y})) \cdot dy + \right.$$

$$\left. + \cos(\alpha_0) \int_0^a \sin(\arctg(\frac{h}{y})) \cdot dy \right] \quad (7)$$

Несложно показать, что выделяемая в образующей крышу композиции металлических листов тепловая энергия практически равномерно распределяется по металлу и передается рядом расположенным объектам по любому пути отвода тепла.

При реально имеющихся поперечных сечениях путей теплоотвода скольлибо значительных (более десятых долей градуса) перепадов температуры по любой линии поверхности крыши принципиально не может возникнуть.

В существующей системе приточной вентиляции салона эта энергия практически целиком передается внутрь подкрышного канала вентиляции вагона и переносится воздухом, движущимся по этому каналу, внутрь салона. При этом температура попадающего в салон из системы вентиляции

воздуха

$$T = T_0 + \Delta T, \quad (8)$$

где T_0 – температура воздуха, забираемая системой вентиляции непосредственно из окружающей среды,

ΔT – прирост температуры воздуха в системе вентиляции за счет описанных выше процессов, связанных с поглощением материалом крыши вагона солнечной радиации:

$$\Delta T = P / c \cdot \rho \cdot V \quad (9)$$

где C , ρ – теплоемкость и плотность воздуха,

V – количество воздуха, проходящего в единицу времени через систему вентиляции.

В самом же салоне устанавливается при этом температура

$$T = T_0 + \Delta T + \Delta T_n, \quad (10)$$

где ΔT_n – добавка температуры, обусловленная количеством тепла, выделяемого пассажирами вагона (порядка 50 Вт от каждого пассажира).

Фактически сумма $\Delta T + \Delta T_n$ – это та величина, которая определяет предельные перспективы модернизации системы вентиляции салона, поскольку ее задачей является фактически снижение температуры салона до значения, равного температуре окружающей среды T_0 .

4. О роли теплоизоляции в подкрышном пространстве

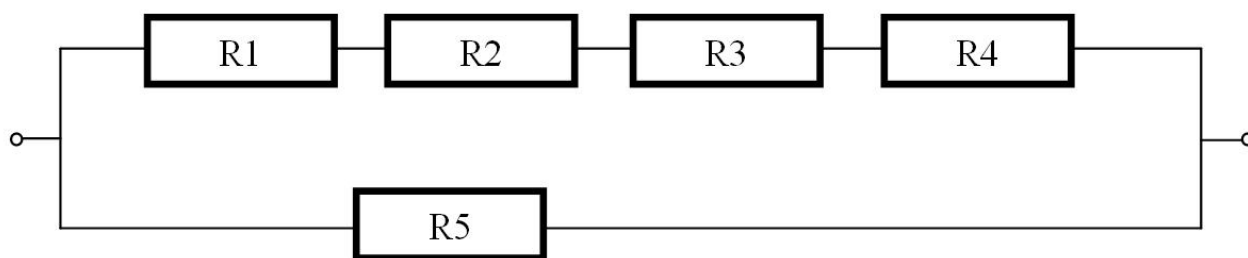


Рис. 9. Эквивалентная схема теплопередачи от нагретой солнечной радиацией крыши вагона:

- R1 – тепловое сопротивление, учитывающее теплообмен между материалом крыши и материалом теплоизоляции;
- R2 – тепловое сопротивление, учитывающее теплопередачу внутри материала теплоизоляции;
- R3 – тепловое сопротивление, учитывающее теплообмен между материалом теплоизоляции и металлом канала вентиляции;
- R4 – тепловое сопротивление, учитывающее теплообмен между металлом канала вентиляции и проходящим по нему воздушным потоком;
- R5 – тепловое сопротивление, учитывающее теплообмен между материалом крыши и воздушным потоком, возникающим при движении поезда.

На стоянке поезда, когда скорость потока, снимающего тепло с крыши в окружающую среду, близка к нулю (при отсутствии ветра – тождественно равна нулю), тепловое сопротивление R_5 можно полагать бесконечно большим. С физической точки зрения это достаточно справедливо, поскольку в рассматриваемом случае практически весь теплообмен осуществляется за счет конвекции воздуха (лучистой составляющей теплообмена при реально достигаемых температурах поверхности крыши можно пренебречь).

При движении поезда, величина R_5 приобретает конечные значения, минимальные при максимальной скорости электропоезда.

Очевидно, при последующих оценочных расчетах

В предыдущем разделе при выводе основных расчетных соотношений не учитывалась роль теплоизоляции, устанавливаемой обычно в подкрышном пространстве и отделяющей каналы системы вентиляции от нагретой солнцем поверхности крыши. Оценим влияние вносимого теплоизоляцией теплового сопротивления на принятую в предыдущем разделе физическую модель процессов теплообмена.

С физической точки зрения процесс теплообмена в рассматриваемом случае можно представить как передачу тепловой энергии (выделяющейся при поглощении материалом крыши солнечной радиации). Этот поток проходит через цепочку последовательных тепловых сопротивлений (от металла крыши до воздушного потока в канале существующей вентиляции вагона), параллельно которой включено дополнительное тепловое сопротивление между внешней поверхностью крыши и снимающим с нее тепловую энергию воздушным потоком, возникающим при движении поезда.

В достаточно грубом приближении эквивалентную схему теплопередачи можно представить последовательно – параллельной цепочкой из 5 тепловых сопротивлений (рис.9).

стоит полагать $R_5 = \infty$, поскольку комфортность проезда пассажиров должна быть обеспечена во всех ситуациях, в том числе и на стоянке поезда. Тогда тепловой поток будет проходить исключительно по последовательной цепи тепловых сопротивлений $R_1 - R_4$.

Рассмотрим с физической точки зрения вклад, вносимый каждым из этих тепловых сопротивлений в различных условиях работы вентиляции. В случае стоянки поезда ($R_5 = \infty$) температура крыши под действием солнечной радиации приобретает максимально возможную температуру. При этом максимальный перепад температур между материалом крыши и проходящим по каналу вентиляции воздушным потоком будет равен

$$\Delta T = P / \sum R_i, \quad 1 \leq i \leq 4 \quad (11)$$

При качественном креплении теплоизоляции к внутренней стороне материала крыши величина R1 должна быть относительно небольшой, особенно с учетом площади их теплового контакта. Существенно больше должно быть значение R2, особенно при выборе достаточно качественной изоляции, однако с учетом относительно небольшой ее толщины ($\sim 5 \cdot 10^{-2}$ м) и огромной площади, по которой проходит теплопередача внутри материала теплоизоляции ($\sim 60 \text{ м}^2$), это сопротивление также не очень велико.

Значение сопротивления R3, учитывающее теплообмен между материалом теплоизоляции и металлом канала вентиляции, видимо, сравнимо с величиной R1. Что же касается сопротивления R4, учитывающего теплообмен между металлом канала вентиляции и проходящим по нему воздушным потоком, то по сравнению с величинами тепловых сопротивлений R1, R2 и R3 им можно просто пренебречь. При реальном расходе воздуха по этому каналу ($\sim 2000 \text{ м}^3/\text{ч}$ с каждой стороны канала), скорость потока воздуха в нем достигает $6 \div 8 \text{ м/с}$ и более. Параметр теплосъема при такой скорости потока даже с неоребренной поверхности очень велик, а тепловое сопротивление, соответственно, очень мало.

Расчет реального соотношения тепла, попадающего в канал вентиляции, и выделяемого в материале крыши вагона под действием солнечной радиации является принципиально выполнимой задачей. Однако для ее решения нужно корректно задавать большое количество исходных данных (параметры теплоизоляции, качество тепловых контактов, распределение потоков воздуха в вентиляционных каналах и т. п.). Полагать (в качестве ограничения снизу), что теплоизоляция полностью защищает салон от преобразованной в тепловую энергию солнечной радиации, нельзя, поскольку из практики известно, что при начальном включении вентиляции из нее в салон в течение достаточно длительного времени поступает воздух с температурой до 70°C .

На основе приближенных оценок в настоящей

Таблица 1. Количество солнечной радиации в различных регионах Европы, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в день по теплым месяцам года

Теплые месяцы года	Количество солнечной радиации, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в день.		
	Южная Европа	Центральная Европа	Северная Европа
Апрель	5,9	4,7	3,4
Май	6,3	5,3	4,2
Июнь	6,9	5,9	5,0
Июль	7,5	6,0	4,4
Август	6,6	5,3	4,0
Сентябрь	5,5	4,4	3,3
В среднем по летним месяцам	6,45	5,27	4,05

работе принято соотношение тепловой энергии попадающей в канал вентиляции, и выделяемой в материале крыши вагона, равное 60%. Впоследствии эта цифра будет уточнена на основе планируемых экспериментальных исследований, а в настоящей работе она принимается в качестве исходной информации для последующих приближенных оценок.

5. Оценочные расчеты тепловых потоков

Расчет величины ΔT проводился с учетом следующих факторов и исходных физических величин:

1) По данным [5] количество солнечной радиации в Южной Европе, а, соответственно, и в самых солнечных регионах России, составляет до $6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в день (см. табл. 1).

2) Максимальная плотность потока мощности солнечного излучения в летнее время, в полдень ($\alpha_0 = 90$ градусов) по самым солнечным, южным регионам России [5] составляет порядка $600 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

3) Длина вагона – 20 м, ширина – 3 м. При этом в предположении $\alpha_0 = 90$ градусов (вертикальное падение солнечных лучей – солнце стоит в зените) и $\beta = 0$ (плоская крыша) в металлической обшивке крыши выделялось бы максимальное количество энергии 36 кВт. Реально, с учетом (7) эта величина не превышает 23 кВт.

4) В соответствии с выводами предыдущего раздела до воздуха в канале вентиляции в наихудших условиях (во время остановки поезда) будет доходить порядка 60% от этой величины, т. е. примерно 14 кВт.

5) Расход воздуха через систему вентиляции в летнее время – $4000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($1,1 \text{ м}^3/\text{с}$).

6) Расчет проводился для неподвижного электропоезда (на остановке), тепло с крыши которого снималось только потоком проходящего через систему воздуха с начальной температурой T_0 , равной температуре окружающей среды.

С учетом изложенного выше, максимальное расчетное значение величины ΔT составило $10 \div 11^\circ\text{C}$.

Таблица 2. Предельное превышение температуры салона над температурой окружающей среды в самое солнечное время суток и года

<i>Регион</i>	$\Delta T, ^\circ C$	$(\Delta T + \Delta T_n), ^\circ C$
Средняя Азия	10,5	~ 19
Северный Кавказ, Краснодарский край	9,5	~ 18
Средняя полоса РФ	8,0	~ 16
Урал	7,0	~ 15
Сибирь	7,0	~ 15
Дальний Восток	6,0	~ 14

Расчеты, проведенные для различных регионов РФ, учитывающие данные [5], приводят примерно к следующему распределению величины ΔT для различных регионов РФ (см. табл. 2).

Расчет величины ΔT_n проводился, исходя из предельной наполненности вагона (200 человек), при этом выделяемая ими тепловая мощность составляла 10 кВт. При заданных условиях это приводит в расчете к значению $\Delta T_n = 8,2^\circ C$.

Предлагаемая система приточно-вытяжной вентиляции в случае оптимальной ее организации должна позволить полностью исключить добавку температуры приточного воздуха ΔT и дополнительную прибавку температуры воздуха в салоне, за счет выделяемой пассажирами тепловой энергии ΔT_n и фактически уменьшить температуру в салоне до величины, равной температуре окружающей среды.

Следует только учитывать, что сама величина $\Delta T + \Delta T_n$ не всегда достигает своего предельного значения, а только в наиболее солнечные дни и непосредственно на остановках электропоезда, и, кроме того, при максимальной загрузке вагона.

В заключение этого раздела следует отметить, что полученные результаты позволяют определить еще одно направление проводимых исследований.

До сих пор речь шла в первую очередь об электропоездах, в которых система кондиционирования отсутствует. Однако весьма значимые результаты, полученные при расчете величины $\Delta T + \Delta T_n$, позволяют выдвинуть еще одно предложение.

С учетом того, что при существующей системе приточной вентиляции систему кондиционирования приходится включать, выбирая нижнюю температуру включения с ориентацией фактически не на величину T_0 (температуру окружающей среды), а на температуру $T = T_0 + \Delta T + \Delta T_n$, введение предлагаемой системы приточно-вытяжной вентиляции позволит, очевидно, повысить нижнюю температурную границу включения системы кондиционирования на величину $\Delta T + \Delta T_n$.

Это может дать весьма значительный экономический эффект за счет уменьшения времени работы достаточно энергоемкой (с потреблением ~20кВт) системы кондиционирования воздуха в салоне вагона.

6. Расчет экономического эффекта за счет уменьшения времени работы системы кондиционирования воздуха

При расчете возможного экономического эффекта за счет предложенного выше частичного замещения режима кондиционирования режимом вентиляции исходили из следующих предположений:

- 1) Безусловно, нужно учитывать не максимальные, а некие среднестатистические данные и по выделяемой тепловой энергии и по эффективности теплоотвода.
- 2) Так, для тепловой энергии, выделяемой пассажирами, следует, видимо, ориентироваться на среднюю заполняемость вагона – порядка 120 человек, и, соответственно, на выделяемую ими тепловую мощность около 6 кВт. Отсюда при прочих заданных параметрах значение величины ΔT_n снизится от максимально возможного значения $8,2^\circ C$ до значения ~ $5^\circ C$.
- 3) Для тепловой энергии, выделяемой за счет прямого солнечного излучения нужно также закладывать достаточно большое снижение относительно предельно возможной величины - примерно на 40%. Это связано и с изменяющейся в течение времени суток и времен года интенсивностью солнечного излучения, и с изменением в течение суток угла падения солнечных лучей.
- 4) И, наконец, нужно учитывать распределение по времени суток и по временам года температур окружающей среды.

Для учета последнего были использованы статистические данные [6] для различных регионов РФ (табл. 3). Из [6] взяты данные по количеству ясных дней в теплые месяцы года в различных регионах РФ (табл. 4).

Таблица 3. Распределение средних температур (°С) по теплым месяцам года для различных регионов РФ

Месяц года	Регионы РФ					
	Москва	Саратов	С.- Пб	Мурманск	Ростов-на-Дону	Сочи (Адлер)
март	-	-	-	-	2.4	8.3
апрель	6.7	8.3	5.1	-	10.6	12.0
май	13.2	15.8	11.3	4.0	16.6	16.0
июнь	17.0	20.5	15.7	9.2	21.0	20.2
июль	19.2	22.7	18.8	12.8	23.4	23.3
август	17.0	20.9	16.9	11.1	22.6	23.6
сентябрь	11.3	14.5	11.6	7.0	16.7	20.0
октябрь	-	-	-	-	10.0	15.8
ноябрь	-	-	-	-	-	10.9

Таблица 4. Количество ясных дней по теплым месяцам года в различных регионах РФ

Месяц года	Регионы РФ					
	Москва	Саратов	С.- Пб	Мурманск	Ростов-на-Дону	Сочи (Адлер)
март	10	12	9	7	10	10
апрель	9	15	10	6	13	9
май	8	15	10	2	16	11
июнь	5	11	7	2	15	11
июль	6	13	8	3	19	12
август	8	16	7	2	22	14
сентябрь	7	15	4	2	20	13
октябрь	5	11	4	2	18	13
ноябрь	-	-	-	-	-	13
Всего по теплым месяцам года	58	108	59	26	133	106

С использованием этих данных можно уже оценить возможное смещение минимальной границы температуры, при которой необходимо включение системы кондиционирования салона вагона электропоезда, а, соответственно, и реализуемый за счет этого экономический эффект.

Для дальнейших расчетов построим, прежде

всего, таблицу промежуточных данных, пересчитав среднюю по месяцу температуру окружающей среды в температуру в салоне с существующей системой приточной вентиляции с учетом добавки температуры ΔT_n (связанной с количеством тепла, выделяемого пассажирами вагона) - с учетом проведенных выше расчетов $\sim 5^\circ\text{C}$ (табл. 5).

Таблица 5. Распределение средних температур (°С) в салоне вагона электропоезда с существующей системой вентиляции по теплым месяцам года для различных регионов РФ (с учетом добавки температуры ΔT_n , связанной с количеством тепла, выделяемого пассажирами вагона)

Месяц года	Регионы РФ					
	Москва	Саратов	С.- Пб	Мурманск	Ростов-на-Дону	Сочи (Адлер)
март	-	-	-	-	7.4	13.3
апрель	11.7	13.3	10.1	-	15.6	17.0
май	18.2	20.8	16.3	9.0	21.6	21.0
июнь	22.0	25.5	21.7	14.2	26.0	25.2
июль	24.2	27.7	23.8	17.8	28.4	28.3
август	22.0	25.9	21.9	16.1	27.6	28.6
сентябрь	16.3	19.5	16.6	12.0	21.7	25.0
октябрь	-	-	-	-	15.0	20.8
ноябрь	-	-	-	-	-	15.9

Для учета дополнительной добавки температуры салона, возникающей за счет разогрева воздуха в существующей системе вентиляции вследствие нагрева крыши вагона прямыми солнечными лучами воспользуемся данными табл. 2.

Следует отметить, что в приведенных в этой таблице цифрах уже была фактически учтена **Таблица 6.** Распределение средних температур ($^{\circ}\text{C}$) в салоне вагона электропоезда с существующей системой вентиляции по теплым месяцам года для различных регионов РФ (с учетом добавок температуры $\Delta T_{\text{п}}$, связанной с количеством тепла, выделяемого пассажирами вагона, и ΔT , обусловленной воздействием солнечной радиации)

Месяц года	Регионы РФ					
	Москва	Саратов	С.- Пб	Мурманск	Ростов-на-Дону	Сочи (Адлер)
март	-	-	-	-	13.4	18.8
апрель	16.5	18.1	14.9	-	21.6	22.5
май	23.0	25.6	21.1	12.6	27.6	26.5
июнь	26.8	30.3	26.5	17.8	32.0	31.7
июль	29.0	32.5	28.6	21.4	34.4	33.8
август	26.8	30.7	26.7	19.7	33.6	34.1
сентябрь	21.1	24.3	21.4	15.6	27.7	30.5
октябрь	-	-	-	-	21.0	26.3
ноябрь	-	-	-	-	-	21.4

Дальнейшие оценки несложно провести путем сравнения графиков средних температур окружающей среды T_0 (табл. 4) и температур в салоне вагона, получаемых при существующей системе вентиляции $T=T_0+\Delta T+\Delta T_{\text{п}}$ (табл. 6). Из

информация по количеству солнечных дней в году, взятая из табл. 4.

Тем не менее, для получения «оценки снизу» (табл. 6) введем еще дополнительное снижение величины ΔT , как это было предложено выше, примерно на 40%.

сравнения этих зависимостей (рис. 10), например, для одного из самых теплых регионов РФ – г. Ростова-на-Дону, следуют вполне очевидные выводы.

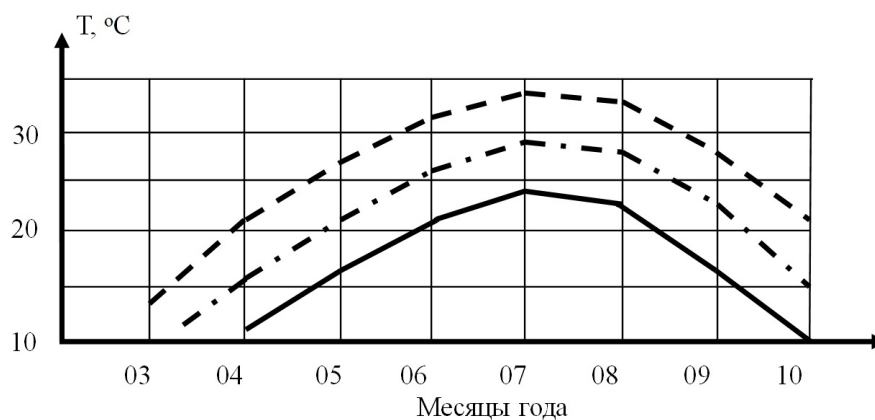


Рис. 10. Температурные зависимости – температур окружающей среды T_0 (—) и температур в салоне вагона, получаемых при существующей системе приточной вентиляции в солнечное время суток $T=T_0+\Delta T+\Delta T_{\text{п}}$ (----) и в остальное время суток $T=T_0+\Delta T_{\text{п}}$ (-·-·-) – по месяцам года для региона Ростова-на-Дону.

Представленные на рис. 10 температурные зависимости позволяют провести достаточно корректные оценки экономического эффекта, реализуемого за счет частичного замещения режима кондиционирования предлагаемым режимом приточно – вытяжной вентиляции.

Зададим для этого нижнюю температурную границу включения режима кондиционирования на уровне условной среднесуточной температуры 20°C .

Для температурной кривой, соответствующей температуре окружающей среды T_0 , реализуемой в салоне при использовании предлагаемой системы приточно – вытяжной вентиляции, длительность

периода работы в режиме кондиционирования составляет примерно 80 условных (полученных путем проведенных выше усреднений) суток.

Для температурной кривой, соответствующей температуре $T=T_0+\Delta T+\Delta T_{\text{п}}$, реализуемой в салоне при использовании существующей системы приточной вентиляции в солнечное время суток, длительность периода работы в режиме кондиционирования составляет примерно 190 условных суток.

И, наконец, для температурной кривой, соответствующей температуре в салоне $T=T_0+\Delta T_{\text{п}}$, реализуемой при использовании существующей

системы приточной вентиляции в остальное время суток, длительность периода работы в режиме кондиционирования составляет примерно 130 условных суток.

Тогда разница во времени работы в режиме кондиционирования для систем с приточной и с приточно – вытяжной вентиляцией составит соответственно:

- для случая сравнения вариантов с температурами, соответственно, $T=T_0$ и $T=T_0+\Delta T+\Delta T_{\text{п}}-110$ условных суток;

- для случая сравнения вариантов с температурами, соответственно, $T=T_0$ и $T=T_0+\Delta T_{\text{п}}-50$ условных суток.

Несмотря на то, что необходимые усреднения, в том числе по периоду суток, были уже проведены, для получения гарантированных «оценок снизу» (надежно обеспечивающих получение годового экономического эффекта не выше того, который будет получен в эксплуатации) примем схему работы, при которой:

- температура в салоне $T=T_0+\Delta T_{\text{п}}$ поддерживается без включения режима кондиционирования в течение 16 часов в сутки;

- температура в салоне $T=T_0+\Delta T+\Delta T_{\text{п}}$ поддерживается без включения режима кондиционирования в течение 8 часов в сутки (средняя продолжительность воздействия в течение суток прямых солнечных лучей).

Тогда различие во времени работы в режиме кондиционирования для систем с приточной и с приточно – вытяжной вентиляцией составит соответственно порядка 53 условных суток.

Энергопотребление в режиме кондиционирования осуществляется на уровне мощности примерно 20 кВт.

В режиме вентиляции в предлагаемой системе приточно-вытяжной вентиляции оно составит примерно 5 кВт (в существующем режиме приточной вентиляции энергопотребление составляло примерно 3,8 кВт).

Таким образом, разница в энергопотреблении для существующей системы в режиме кондиционирования и для предлагаемой системы в режиме вентиляции составит примерно 15 кВт. Умножив эту мощность на полученное выше время (порядка 53 условных суток), получим эффект по энергосбережению $1,92 \cdot 10^4$ кВт·ч.

При существующих ценах на электроэнергию (с учетом потерь при доставке ее до потребителя) годовой экономический эффект составит примерно 80 тысяч рублей на 1 вагон. С учетом того, что все предыдущие расчеты проводились с занижением (в виде «оценки снизу») можно с уверенностью предсказать, что реальный годовой экономический эффект в эксплуатации составит 100÷130 тысяч рублей на каждый находящийся в эксплуатации вагон электропоезда.

Одновременно уменьшится и время работы в режиме кондиционирования, что позволит более экономно использовать ресурс этой системы.

7. Выводы

Предлагаемая работа посвящена анализу одного

из наиболее значимых дефектов в работе современных систем отопления, вентиляции и кондиционирования салонов вагонов электропоездов – очень невысокая эффективность реализуемого в ней режима вентиляции.

Проведенный анализ физических процессов, протекающих в этом режиме в используемых в настоящее время системах приточной вентиляции позволил выявить два основных фактора, обуславливающих низкую эффективность существующей системы вентиляции салона:

- передача в ней через поток вентилирующего салон воздуха части тепловой энергии, выделяемой в крыше вагона под прямым воздействием солнечной радиации;

- превышение давления в салоне над давлением окружающей среды, в результате чего в салон не попадает относительно прохладный наружный воздух (с температурой окружающей среды).

Как показано в работе, оба эти дефекта преодолимы при установке на вагоне дополнительных устройств (агрегатов вентиляции салона), преобразующих существующую систему приточной вентиляции в предлагаемую систему приточно-вытяжной вентиляции.

Показано, что установка такой системы существенно (на $10\div 15^\circ\text{C}$) снизит температуру воздуха в салоне в самое жаркое, солнечное время суток и создаст небольшое (не выше существующих санитарно – гигиенических норм [7]) движение воздуха в салоне, что в совокупности существенно увеличит комфортность проезда для пассажиров электропоездов.

Установка агрегатов вентиляции салона (с соответствующим преобразованием систем приточной вентиляции в системы приточно-вытяжной вентиляции) позволит решить упомянутые выше проблемы с микроклиматом для находящихся в эксплуатации электропоездов, в которых системы кондиционирования воздуха отсутствуют.

Однако в настоящей работе выдвинуто еще одно предложение, позволяющее без снижения показателей микроклимата и снижения комфортности для пассажиров получить весьма значительный экономический эффект при установке таких агрегатов в электропоездах, в которых уже установлены системы кондиционирования воздуха.

За счет реального снижения температуры воздуха в салоне и организации движения в салоне воздушных масс приточного воздуха, возможно частичное замещение режимом приточно – вытяжной вентиляции режима кондиционирования.

Это даст и весьма значительное снижение энергопотребления (за счет существенно меньшей энергоемкости системы в режиме вентиляции по сравнению с режимом кондиционирования) и возможное увеличение ресурса используемых в этих режимах кондиционеров.

Разумеется, для более корректных расчетов необходимо гораздо более строго учесть целый ряд анализируемых в данном расчете факторов:

- реальное тепловое сопротивление

теплоизоляции крыши вагона и другие граничные тепловые сопротивления;

- реальное среднестатистическое распределение температур по дням и времени суток солнечного времени года, причем для каждого региона – отдельно;

- энергопотребление системы кондиционирования в различных режимах работы, и многое другое.

Однако, в настоящей работе ставилась вполне конкретная задача – провести оценочные расчеты

эффективности использования предлагаемой системы приточно-вытяжной вентиляции применительно к находящимся в эксплуатации и вновь выпускаемым электропоездам. Впоследствии же на основе проектирования предлагаемой системы, ее испытаний, проверки ее функционирования в условиях эксплуатации, можно будет провести и более строгие расчеты, и экспериментальную проверку полученных выше результатов

Библиографический список

1. Соловецкий В.. Душегубки на железнодорожных колесах//Интернет-издание «Свободная пресса», <http://svpressa.ru/society/article/47275/>.
2. Лойцянский Л. Г. «Механика жидкости и газа», М., 1978.
3. Мейеров А.С. Гидравлика и прикладная аэродинамика. Горький: ГИСИ, 1962-1964.
4. Чурков Н.А. Исследования воздействия аэродинамических сил на вагоны при встречном движении высокоскоростных поездов. Автореферат на соискание ученой степени доктора техн. наук. 1972
5. Советский Союз. Географическое описание в 22 томах: Российская федерация./Под ред. Калесник С.В. М.: "Мысль", 1970.
6. On-line справочник «Погода и климат», <http://pogoda.ru.net/>
7. СП 2.5.1198-03. Гигиена и эпидемиология на транспорте. Санитарные правила по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте.

THE PHYSICAL BASIS OF MODERNIZATION OF THE ELECTRIC TRAIN CARRIAGES VENTILATION SYSTEM

S. V. Bezrukavny, V.Y. Yavchunovsky

This paper describes the fundamental physical problems caused by the defects of the existing ventilation system of the train carriages. The effective ways of modernization of the system providing maximum comfort for the passengers are considered. An approximate evaluation of the possible energy savings due to displacement of the lower temperature level of switching-on the air conditioning systems (with its replacement at moderate summer temperatures with the modernized carriage ventilation system) is carried out.

**ПРОБЛЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ВАГОНАХ
ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ В РЕЖИМЕ СТАЦИОНАРНОГО ОБОГРЕВА
ЧАСТЬ 1. АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА
И РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ**

С.В. Безрукавный, В.Я. Явчуновский

ОАО «Демиховский машиностроительный завод»
Безрукавный Сергей Викторович, технический директор

ООО НПФ «Этна»
Явчуновский Виктор Яковлевич, директор, д.ф.-м.н.,

Одной из наиболее серьезных проблем, возникающих при отоплении салонов вагонов электропоездов в зимнее время года, являются так называемые «проскоки холодного воздуха», возникающие при переключении режимов штатного отопления вагонов. В настоящей работе рассмотрены пути устранения этого явления, предложены достаточно простые и эффективные методы стабилизации температуры выходящего из системы отопления воздуха, в первую очередь, на границах различных режимов отопления.

1. Введение

В современных электропоездах для отопления салонов вагонов используются, как правило, комплексные системы отопления, вентиляции и кондиционирования (СОВК), работающие в режиме отопления на трех дискретных уровнях мощности (16, 32 и 48 кВт). Каждая из таких систем обеспечивает поддержание климата автономно в одном вагоне. В нее входит по два моноблока (рис.1), включающие вентагрегат, электрокалорифер (нагревательный блок) и коллектор – распределитель, направляющий потоки воздуха во всех трех режимах (отопления, вентиляции и кондиционирования) в свои воздушные каналы.

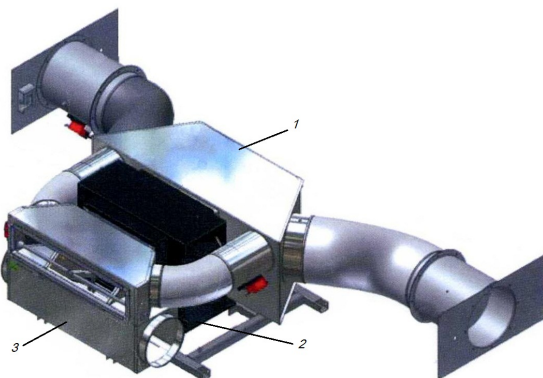


Рис. 1. Внешний вид моноблока системы отопления, вентиляции и кондиционирования: 1 - вентагрегат, 2 - электрокалорифер (нагревательный блок), 3 - коллектор – распределитель.

В режиме отопления каждый из моноблоков может работать на трех уровнях мощности нагрева, соответственно, 8, 16 и 24 кВт, что обеспечивается наличием в каждом из них двух модулей нагрева мощностью, соответственно, 8 и 16 кВт. По показаниям входящих в систему датчиков температуры система управления этого комплекса включает и выключает различные модули нагрева, обеспечивая поддержание в заданном диапазоне температуры воздуха в салоне. Так, например, для пригородных поездов этот диапазон задается как $16 \pm 2^\circ\text{C}$.

При этом система СОВК в режиме отопления должна решать сразу несколько задач в обеспечение максимально комфортных климатических условий

для пассажиров электропоезда:

- поддержание стабильной температуры воздуха в салоне;

- обновление воздуха, обеспечиваемое за счет притока свежего наружного воздуха (со скоростью воздушного потока не более 0,2 м/с).

Третья, очень важная и, к сожалению, пока не решенная в полном объеме задача – это исключение резких колебаний температуры воздуха, особенно в областях, где потоки воздуха с определенной скоростью проходят в зонах расположения пассажиров. Наиболее серьезным аспектом этой задачи является исключение так называемых «проскоков холодного воздуха», возникающих при переключении режимов штатного отопления вагонов.

Наиболее значимым, и доставляющим максимальные неудобства для пассажиров является переходный режим, связанный с полным отключением напряжения нагрева. При этом из-за тепловой инерционности ТЭНов, на которых до последнего времени строились нагревательные блоки таких систем, в алгоритм управления ими введена задержка отключения вентилятора после отключения напряжения нагрева (для обеспечения охлаждения ТЭНов). В результате, в салон из каналов подачи воздуха в режиме отопления (!) на ноги пассажиров поступает практически холодный воздух.

Близкие по следствиям для комфортности проезда пассажиров ситуации возникают и при работе системы на малых уровнях мощности. Это связано с тем, что через систему СОВК во всех режимах работы, при всех уровнях мощности нагрева пропускается одно и то же количество воздуха. Это приводит к тому, что при мощности нагрева 8 кВт перепад температур воздуха между входом и выходом входящего в систему электрокалорифера в 3 раза меньше, чем при мощности нагрева 24 кВт. И хотя в этих режимах в системе изменяется соотношение пропускаемого через нее холодного (наружного) и более теплого (рециркуляционного) воздуха, тем не менее, на выходе калорифера температура воздуха в режиме малой мощности нагрева зачастую опускается до $22 \div 24^\circ\text{C}$, что ощущается пассажиром, как подача холодного воздуха.

На эффективность разогрева воздуха в салоне это практически не влияет, поскольку теплообмен, обеспечивающий нагрев воздуха в салоне вагона электропоезда, будет протекать при любых соотношениях температур воздуха в выходных каналах СОВК и в салоне, лишь бы последние были ощутимо ниже. Однако, при реализации режимов отопления необходимо учитывать и индивидуальные ощущения людей. Человек в верхней одежде чувствует себя достаточно комфортно при температуре окружающего его неподвижного воздуха $16 \pm 2^\circ\text{C}$. Однако он испытывает серьезный дискомфорт, когда в области его ног движется со скоростью до 0,2 м/с воздух с температурой ниже $30 \div 32^\circ\text{C}$, а тем более, если температура опускается до $22 \div 24^\circ\text{C}$, а иногда и до 15°C .

Поэтому основной задачей, которую необходимо решить применительно к существующим системам обогрева салона вагона электропоезда для исключения явления проскоков холодного воздуха, является задача повышения температуры выходящего из каналов системы отопления воздуха при малых уровнях мощности нагрева хотя бы до уровня температуры человеческого тела ($\sim 36^\circ\text{C}$).

В настоящей работе предлагаются и исследуются пути исключения указанной проблемы, приводятся результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований.

Анализ возможных путей решения проблемы. Постановка задачи исследования.

Рассмотрим несколько различных вариантов решения данной проблемы, позволяющих подойти к ней с разных сторон.

Прежде всего, можно предложить весьма значительное изменение системы каналов для выхода в салон нагретого воздуха. Основная суть предлагаемых изменений сводится к тому, что недостаточно нагретый (при малых уровнях выделяемой в электрокалорифере тепловой мощности) воздух не будет перемещаться в тех зонах, в которых располагаются пассажиры, или, как минимум, скорость его движения в этих зонах будет существенно снижена.

Можно предложить два различных варианта реализации такого подхода. В существующих системах нагретый воздух поступает от системы СОВК в салон вагона по воздуховодам, расположенным с обеих сторон по длине вагона вдоль его пола. Перфорация в стенках этих воздухопроводов выполнена вдоль всей их длины, в том числе и в тех зонах, где относительно холодный воздух попадает на ноги пассажиров.

Можно предложить выполнить всю перфорацию в областях под диванами (креслами), а в области, где находятся ноги пассажиров, воздух не выводить. Однако площадь перфорированных зон упомянутых воздухопроводов уменьшится при этом в 3-4 раза, саму перфорацию придется уплотнить и увеличить диаметр отверстий перфорации. При этом скорость потока воздуха увеличится, и он будет за счет этого доходить и в этом варианте построения системы до ног пассажиров, но уже со значительно большей скоростью, что еще более усилит климатический

дискомфорт.

Несколько более удачным представляется решение, при котором этот воздух выводится в салон над головами пассажиров, либо, чтобы не создавать проблем с направлением вниз горячего воздуха, его можно пустить частично сверху, а частично снизу (по штатным воздуховодам), уменьшив тем самым скорость выхода его из нижних воздухопроводов.

Можно модифицировать и это решение, введя регулирование раздачи воздуха по верхним и нижним каналам в зависимости от его температуры. Например, при температуре воздуха выше упомянутых 36°C практически весь воздушный поток направляется в штатные нижние воздухопроводы. При более низких температурах можно (по показаниям соответствующих температурных датчиков) часть его ответвить в верхние воздухопроводы, из которых он будет выходить в салон вне зон расположения пассажиров. При этом расход воздуха через нижние воздухопроводы и скорость потока выходящего из них воздуха существенно снизятся, и ощущение связанного с этим дискомфорта будет устранено, либо минимизировано.

Принципиально это можно реализовать, введя в алгоритм работы системы управление заслонкой в коллекторе-распределителе, направляющей (в существующем варианте алгоритма) выходящий из моноблока воздух либо в верхние (в режиме вентиляции), либо в нижние (в режиме отопления) воздухопроводы.

Однако последний подход предполагает изменение логики управления системой, в рамках которой необходимо будет ввести перемещающиеся в зависимости от температуры воздуха на выходе системы отопления заслонки в выходных воздухопроводах, исполнительные устройства, управляющие перемещением этих заслонок, возможно дополнительные вентиляторы и т. п.

Среди различных путей решения проблемы устранения «проскоков холодного воздуха» предлагается и управление напряжением нагрева, введение широтно-импульсной модуляции (ШИМ) по этому напряжению. Однако и такое решение проблемы не представляется оптимальным, поскольку:

- прежде всего, введение ШИМ по напряжению, подаваемому на нагревательные блоки системы приведет лишь к плавному управлению мощностью системы, не исключая при этом режима малой средней мощности нагрева. Расход воздуха через нижние воздухопроводы и скорость выходящего из них воздуха при этом не изменятся, а, следовательно, и в этом случае «проскоки холодного воздуха» не удастся ликвидировать. Более того, диапазон изменения средней мощности при плавном регулировании «скважности» ШИМ может еще более расширяться за счет области малых значений средней тепловой мощности. При этом нижнее значение этой мощности при относительно высоких температурах окружающей среды может оказаться и меньше 8кВт – минимальной мощности в варианте

дискретного управления. Соответственно, на ноги пассажиров пойдет еще более холодный воздух;

- кроме того, следует учитывать, что оборудование для организации ШИМ на рассматриваемых уровнях мощности достаточно сложное и дорогостоящее. Это оборудование требует использования дорогостоящих электронных коммутаторов, что при используемом в калориферах для железнодорожной (ЖД) техники напряжении (до 4,25 кВ) особенно сложно и дорого, и при существующем уровне техники характеризуется не слишком высокой надежностью;

- и, наконец, известно, что любые схемы с ШИМ создают повышенный уровень внеполосных колебаний, что приводит к серьезным дополнительным проблемам с обеспечением норм по электромагнитной совместимости [1].

Таким образом, при относительно малой вероятности решения поставленной задачи таким способом, использование этого подхода придет к повышению стоимости систем, снижению их надежности и к появлению ряда новых проблем.

На основании изложенного выше представляется, что наиболее эффективный, а, скорее всего, и единственный путь к решению этой проблемы – это стабилизация температуры выходящего из системы отопления воздуха. Этого можно добиться единственным и достаточно простым путем – изменяя расход воздуха в системе пропорционально выдаваемой ею тепловой мощности. Либо подбирая иной закон изменения расхода воздуха от выделяемой тепловой мощности, обеспечивающий получение температуры воздуха во всех режимах, не ниже заданной.

Для этого имеются и соответствующие предпосылки, вытекающие из санитарно – гигиенических норм для ЖД транспорта [2].

Так в зимний период времени норма по количеству обновляемого воздуха составляет 8 м³/ч на одного пассажира, в то время как в летнее время эта норма составляет 20 м³/ч. И именно на такой расход с определенным технологическим запасом и рассчитан вентиллятор СОВК. Соответствующее изменение расхода воздуха в 2÷2,5 раза должно в полном объеме обеспечить сохранение стабильной температуры при уменьшении мощности в 3 раза (с 24 до 8 кВт).

Тогда для решения поставленной задачи следует задать желательную температуру выходящего из калорифера воздуха на каждом уровне мощности нагрева, а затем синтезировать соответствующую зависимость расхода воздуха от мощности нагрева. При этом можно учесть и то, что в зимнем режиме работы системы СОВК (в режиме отопления) часть воздуха забирается в систему из окружающей среды, а часть – из салона вагона через систему рециркуляционных воздухопроводов. Зная алгоритм работы системы, а соответственно, и соотношение наружного и рециркуляционного воздуха, несложно вычислить требования к зависимости требуемого

расхода воздуха от генерируемой в данный момент времени тепловой мощности электрокалорифера.

Вопрос только в том, какой из сценариев обеспечения климата в салоне выбрать:

- с постоянной температурой выходящего из калорифера воздуха,

- или с постепенно снижающейся (по мере снижения мощности нагрева) температурой выходящего воздуха. Однако при этом она должна снижаться не ниже некой, заранее заданной величины, при которой создаются дискомфортные условия для пассажиров вагона.

Причем второй сценарий, скорее всего, более реалистичен, поскольку существует еще и упомянутое выше ограничение снизу по количеству обновляемого воздуха. При весьма существенном снижении расхода воздуха в обеспечение первого сценария можно не уложиться в нормы по обновлению воздуха в салоне (по крайней мере, при минимальной мощности нагрева 8 кВт).

Следует только изначально понимать, что успешное решение поставленной задачи во многом зависит от выбора типа электронагревательного устройства входящего в систему электрокалорифера. В настоящее время в системах СОВК используются два различных типа этих устройств:

- с безынерционными нагревательными элементами на основе открытых спиралей (рис. 2);

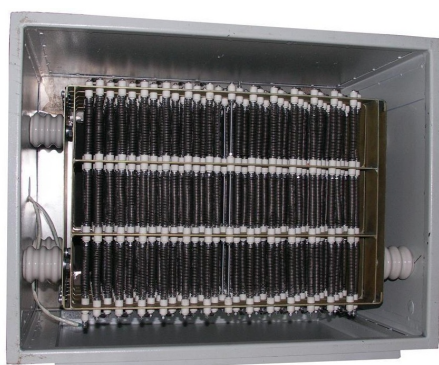
- с инерционными нагревательными элементами (рис. 3) на основе трубчатых электронагревателей (ТЭНов) [3].

В представленной работе исследования в обеспечение поставленной задачи выполняются для обоих типов электрокалориферов и на основании проведенных исследований делаются вытекающие из них выводы.

Изначально в ней изучаются особенности упомянутого выше климатического оборудования, изготовленного с использованием электрокалориферов с безынерционными и инерционными нагревательными элементами, а затем предлагаются и изучаются теоретически и экспериментально конкретные подходы к полному исключению упомянутой выше проблемы – появления «проскоков холодного воздуха».

2. Результаты сравнительных испытаний температурных режимов систем с электрокалориферами на безынерционных и инерционных нагревательных элементах

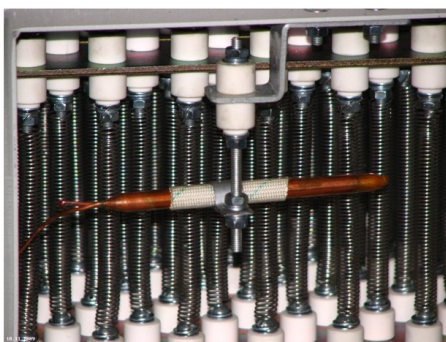
Сравнительные испытания, направленные на исследование специфики поведения инерционных нагревательных элементов на основе ТЭНов и безынерционных нагревательных элементов на основе открытых спиралей проводились [4-6] и ранее. Выполнялись эти исследования и специально для электронагревательных приборов, используемых для обогрева горэлектротранспорта [7,8].



а



б



в

Рис. 2. Внешний вид электрокалориферов с безынерционными нагревательными элементами на основе открытых спиралей для различных систем отопления и вентиляции (а, б) и фрагмент спирального нагревательного блока (в).

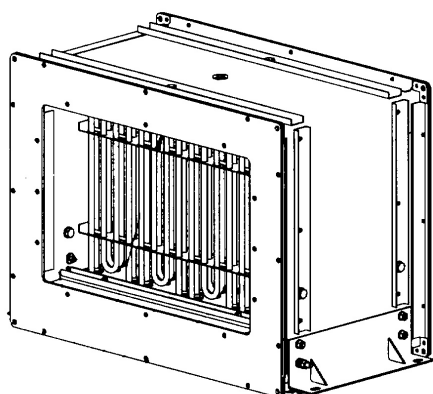


Рис. 3. Внешний вид электрокалорифера с инерционными нагревательными элементами на основе трубчатых электронагревателей (ТЭНов).

Однако в силу специфики электрокалориферов, используемых в системах отопления, вентиляции и кондиционирования электропоездов, для дальнейшего использования при расчетах в русле поставленной выше задачи, представляется необходимым сравнить стационарное и нестационарное поведение этих устройств.

Первоначально испытания проводились в стационарном режиме на каждой из ступеней по уровню мощности. Хотя в поездах постоянного тока для питания электрокалориферов используется постоянное напряжение 3000 В, для простоты проведения эксперимента, а также из соображений безопасности испытания проводились в эквивалентном режиме (питание от сети переменного трехфазного напряжения 380/220 В, 50Гц). Для этого электрокалорифер был скоммутирован по эквивалентной схеме с подключением каждого из нагревательных модулей (мощностью, соответственно, 8 и 16 кВт) по схеме «треугольник», ток между фазовыми вводами для модуля 8 кВт – порядка 7 А, между вводами для модуля 16 кВт – порядка 14 А.

При этом проводились измерения температуры воздуха на выходе (мультиметром с термопарой) и температуры нагревательных элементов (пирометром).

Все испытания проводились на одном и том же экспериментальном макете (рис. 4), с одним и тем же вентагрегатом, дававшим суммарный расход воздуха через электрокалорифер на уровне 3300 м³/ч. Это примерно соответствовало среднему расходу воздуха через электрокалорифер в штатном СОВК - среднем между двумя режимами ее работы:

- режиме отопления с полным забором наружного воздуха (основные каналы наружного воздуха открыты, рециркуляционные воздухопроводы закрыты); при этом расход воздуха через систему составлял порядка 3500 м³/ч.
- режиме отопления с забором воздуха из салона (основные каналы наружного воздуха закрыты, рециркуляционные воздухопроводы открыты); при этом расход воздуха через систему составлял порядка 3100 м³/ч.

В процессе испытаний вентагрегат состыковывался последовательно с двумя различными электрокалориферами в идентичных корпусах, но с различными нагревательными блоками – соответственно, с инерционными нагревательными элементами на основе ТЭНов и безынерционными нагревательными элементами на основе открытых спиралей.

В стационарном (установившемся) тепловом режиме для систем с электрокалориферами на безынерционных (табл. 1) и инерционных (табл. 2) нагревательных элементах получены принципиально достаточно близкие результаты по средней (по выходному сечению) температуре воздуха на выходе из калорифера:

Таблица 1. Интегральные результаты измерений системы с электрокалориферами на безынерционных нагревательных элементах (открытых спиралях) в режиме забора наружного воздуха

Определяемые параметры	Результат		
	8 кВт	16 кВт	24 кВт
Максимальная температура воздуха в рабочей зоне, °С	46	63	77
Минимальная температура воздуха в рабочей зоне, °С	35	47	53
Средняя температура воздуха в рабочей зоне, °С	40,8	55,4	68,1

Таблица 2. Интегральные результаты измерений системы с электрокалориферами на инерционных нагревательных элементах (ТЭНах) в режиме забора наружного воздуха

Определяемые параметры	Результат		
	8 кВт	16 кВт	24 кВт
Максимальная температура воздуха в рабочей зоне, °С	58	69	96
Минимальная температура воздуха в рабочей зоне, °С	31	34	43
Средняя температура воздуха в рабочей зоне, °С	40,2	54,8	67,6

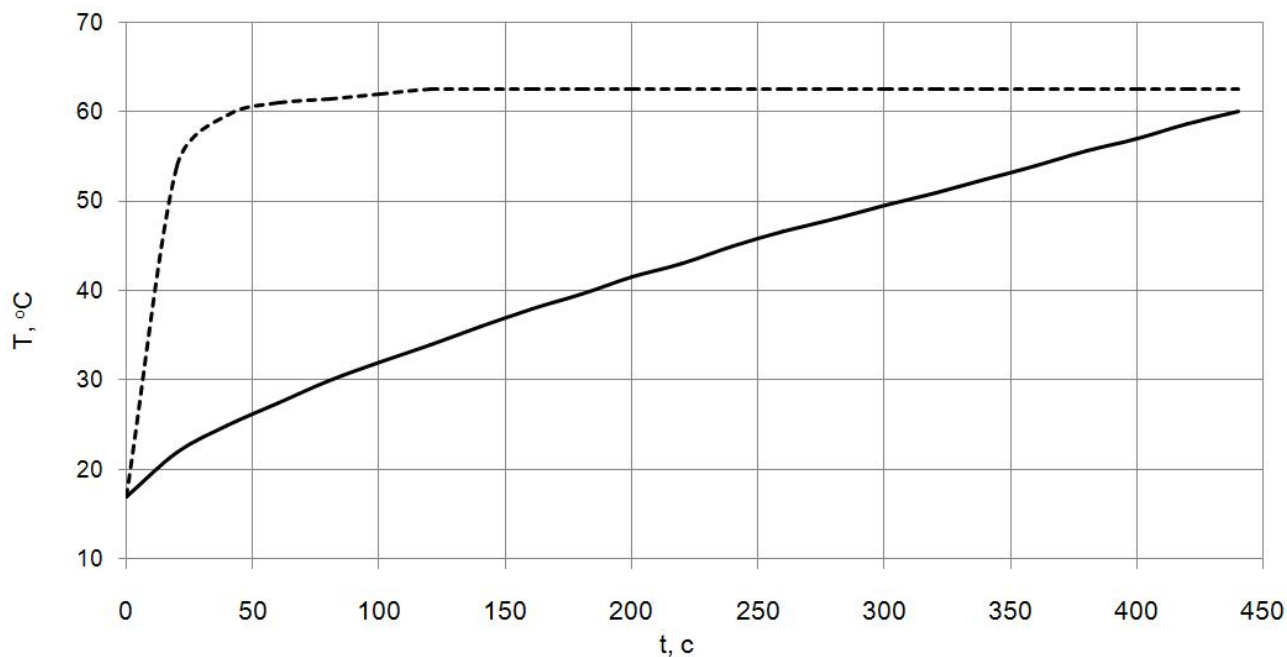
Некоторые различия в средних значениях температуры, полученные для систем с электрокалориферами на инерционных и безынерционных нагревательных элементах при одинаковых значениях мощности нагрева, обусловлены не только погрешностью измерений, но и небольшими различиями в их аэродинамических сопротивлениях, а соответственно, и в количестве проходящего через них воздуха. Что же касается существенно большего

разброса температур по сечению электрокалорифера на инерционных нагревательных элементах, это обусловлено именно спецификой расположения ТЭНов и открытых спиралей.

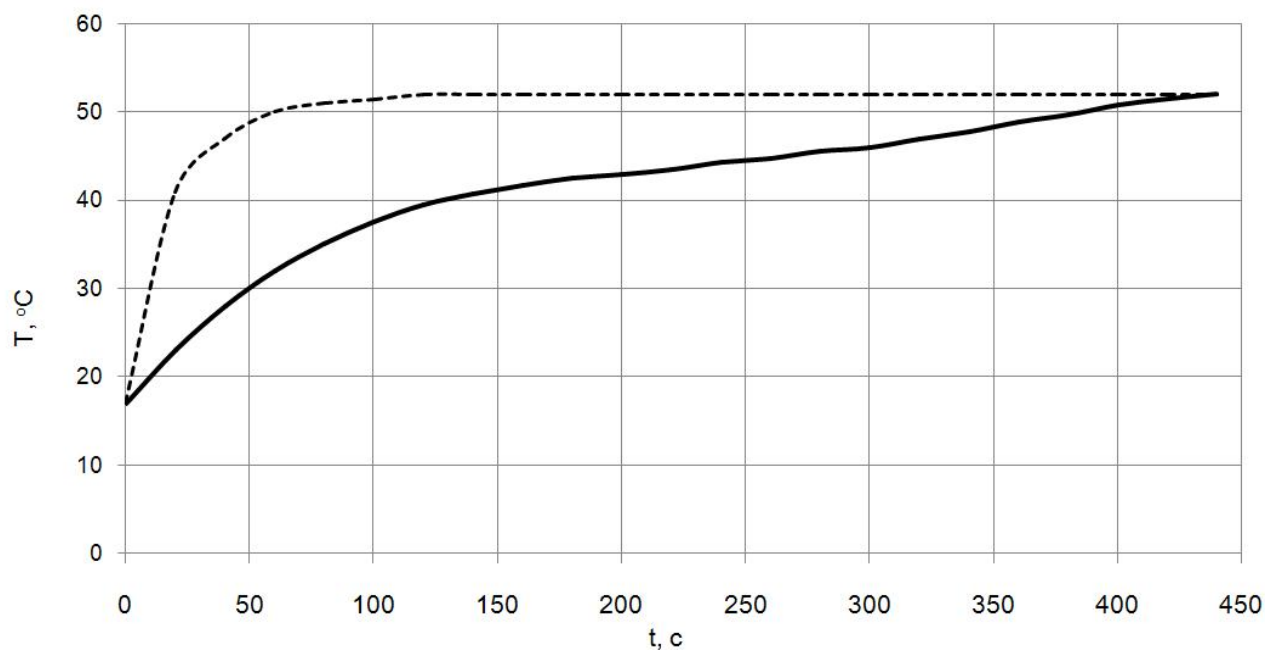
Проходя через большое количество расположенных в шахматном порядке спиралей, воздух нагревается достаточно равномерно по всему сечению калорифера. Когда же он проходит через систему достаточно редко, рядами расположенных ТЭНов, какие-то части воздушного потока снимают тепло с ТЭНов, а какие-то проходят практически без нагрева в промежутках между ними, что и обуславливает существенно больший разброс температур по сечению.

Однако для работы в рассматриваемой системе больший разброс температур по сечению электрокалорифера на инерционных нагревательных элементах практически не имеет никакого значения, поскольку далее перед попаданием в салон вагона нагретый воздух движется по достаточно длинным воздушным каналам и там перемешивается.

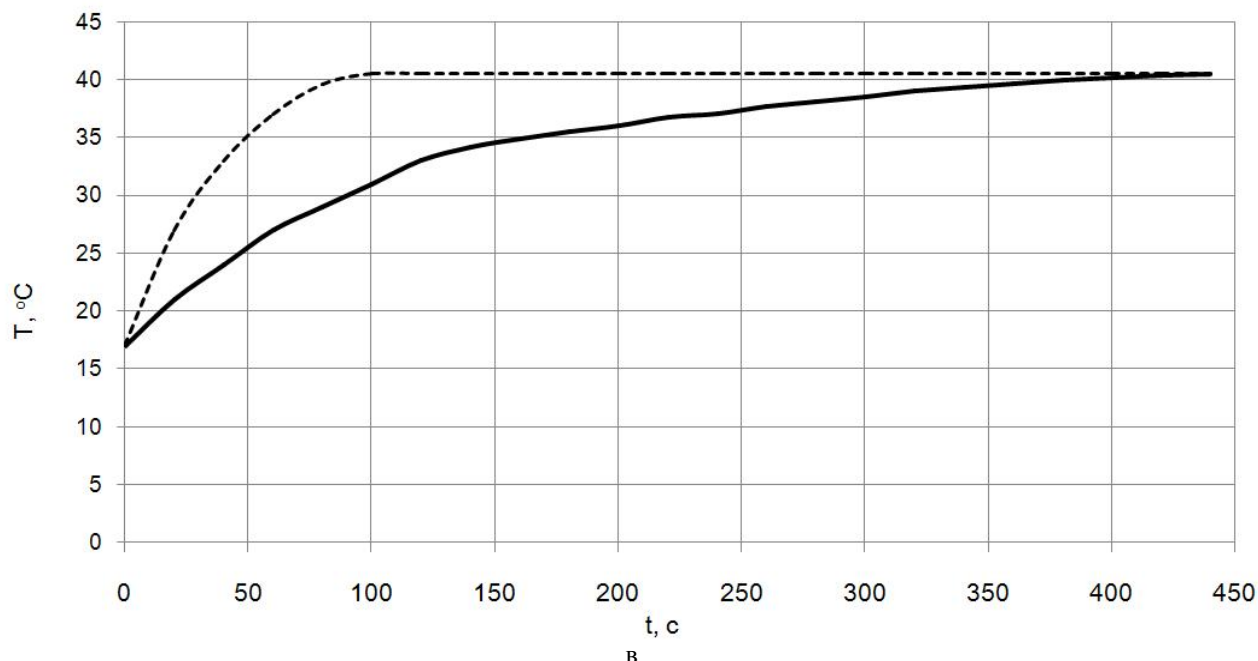
Существенно большее значение имеют различия в нестационарном поведении электрокалориферов с инерционными и безынерционными нагревательными элементами. Для сравнения этих характеристик рассматриваемых систем на выходе калориферов устанавливался аналог длинного выходного воздуховода (длиной ~ 3 м), при прохождении которого температура воздуха по сечению практически выравнивалась. Измерения динамики нарастания и спада температуры для обоих типов электрокалориферов проводились на выходе этого воздуховода. Как и ожидалось, процессы нарастания температуры выходящего воздуха при включении напряжения нагрева (рис. 4а, б, в) и ее спада при выключении напряжения (рис. 5 а, б, в) весьма значительно различаются.



а



б



в

Рис. 4. Результаты экспериментального исследования динамики нарастания температуры воздуха при включении напряжения нагрева на выходе из электрокалориферов: ----- с нагревательными элементами на открытых спиралях, — с нагревательными элементами на ТЭНах при различных уровнях мощности нагрева: а – 24 кВт, б - 16 кВт, в – 8кВт.

Для наиболее корректного сравнения на рис. 5 для калорифера с инерционными нагревательными элементами сняты две кривых – для случаев одновременного отключения напряжения нагрева и напряжения, подаваемого на вентиляторы, и для варианта с задержкой выключения вентиляторов (на 3 минуты), используемой обычно в

электронагревательных устройствах с ТЭНами. Для варианта с нагревательными элементами на открытых спиралях режим с задержкой выключения вентиляторов не рассматривался, поскольку в оборудовании этого типа он, как правило, не используется и для обеспечения надежности работы элементов системы не нужен.

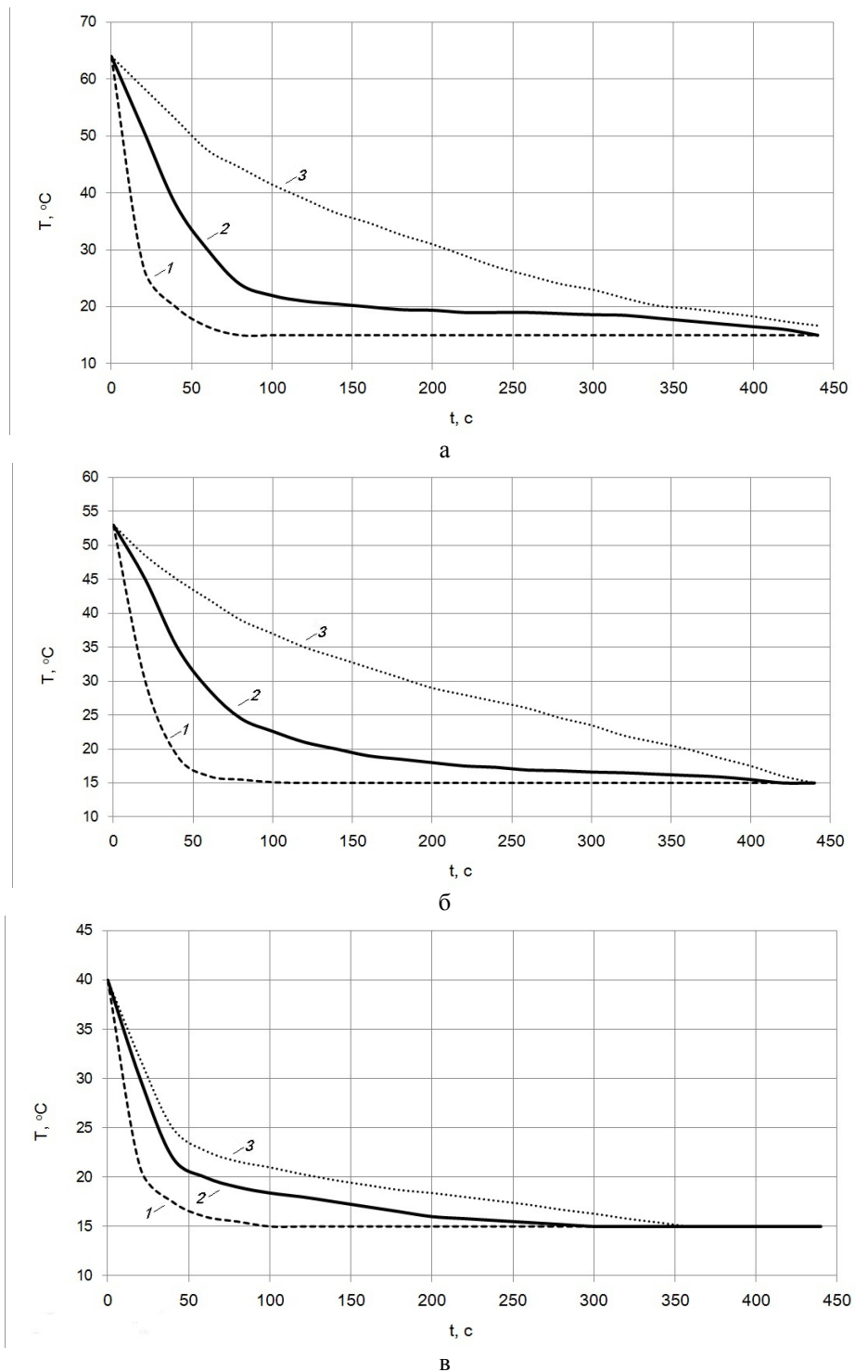


Рис. 5. Результаты экспериментального исследования динамики спада температуры воздуха при выключении напряжения нагрева на выходе из калориферов с нагревательными элементами: 1 – на открытых спиралях, 2 – на ТЭНах при задержке отключения напряжения вентилятора относительно нагревательного блока, 3 – на ТЭНах при одновременном отключении напряжения нагревательного блока и вентилятора, полученные при различных уровнях мощности нагрева: а – 24 кВт, б - 16 кВт, в – 8 кВт.

Фактически это кривые нарастания (рис.4 а, б, в) и спада (рис. 5 а, б, в) температуры выходящего из отопителей воздуха, получаемые при включении и выключении напряжения их нагрева.

Полученные результаты позволяют спрогнозировать а, впоследствии и достаточно корректно рассчитать поведение систем с обоими типами калориферов в переходных режимах (при изменении уровней мощности нагрева и полном ее

отключении). Это, в основном, и является целью настоящей работы.

В стационарных (установившихся на каждом из дискретных уровней мощности) режимах принципиальных различий в работе систем с инерционными и безынерционными в тепловом отношении нагревательными элементами быть не должно. Это обусловлено тем, что при одном и том же уровне мощности и при одном и том же расходе

воздуха, и температура выходящего из моноблоков системы воздуха будет одинаковой.

В нестационарных же процессах (при изменении уровней мощности нагрева и полном ее отключении) различия для инерционных и безынерционных систем будут весьма существенными из-за слишком медленной реакции инерционных нагревательных устройств.

При переключении с больших уровней мощности на меньшие и одновременном снижении расхода воздуха в таких системах будет наблюдаться достаточно длительный перегрев воздуха, выходящего из каналов раздачи воздуха системы отопления. И, наоборот, при переходе с меньших уровней мощности нагрева на большие с одновременным увеличением расхода воздуха в таких системах будет наблюдаться достаточно значительное и длительное снижение его температуры, т.е. те же самые «проскоки холодного воздуха».

В безынерционных же в тепловом отношении системах с нагревательными блоками на открытых спиралях, со временем нагрева и остывания порядка нескольких секунд, практически мгновенно «реагирующих» на команды блока управления, нестационарные процессы будут протекать многократно быстрее и, благодаря этому «проскоки холодного воздуха» будут полностью устранены.

Это и будет показано на основе теоретического расчета и экспериментального исследования во второй части настоящей работы.

3. Синтез закона изменения расхода воздуха как, функции мощности нагрева

При синтезе закона изменения расхода воздуха, можно ориентироваться на представленные выше данные (табл. 1, 2) по зависимости средней температуры воздуха на выходе системы от заданной мощности нагрева. Однако эти данные получены в лабораторных условиях при температуре воздуха в помещении порядка 22оС.

Для пригородных поездов допустимый диапазон изменения температуры задается, как 16 ± 2 оС. Ориентируясь при решении задачи исключения «проскоков холодного воздуха» на минимальную температуру воздуха помещения (воздуха на входе системы 14оС), эти данные следует преобразовать к виду (табл. 3):

С учетом частичного (примерно 50%-ного) забора в систему с электрокалорифером наружного воздуха и снижением за счет этого температуры на входе калорифера, температуру на выходе системы отопления нужно еще несколько снизить (табл. 4).

Таблица 3. Интегральные результаты измерений системы с электрокалориферами при температуре входящего в нее воздуха 14°С

Определяемые параметры	Результат		
	8 кВт	16 кВт	24 кВт
Средняя температура воздуха на выходе системы, °С	30	46	62
Перепад температур между входом и выходом системы, °С	16	32	48

Фактически в табл. 3, 4 представлены результаты усреднения (графической линейной аппроксимации) полученной зависимости $T = T(P)$. Это представлялось необходимым в силу относительно низкой точности экспериментального определения средней температуры воздуха на выходе системы в каждом из режимов, поскольку при вычислении каждого из ее значений бралась средневзвешенная величина от всех значений температуры по выходному сечению калорифера.

Построение же графика (рис. 6) зависимости температуры воздуха на выходе от мощности нагрева $T = T(P)$ предложенным методом представлялось достаточно корректным в силу линейности самой этой зависимости.

Таблица 4. Интегральные результаты измерений системы с электрокалориферами при температуре входящего в нее воздуха 7°С

Определяемые параметры	Результат		
	8 кВт	16 кВт	24 кВт
Средняя температура воздуха на выходе системы, °С	23	39	55
Перепад температур между входом и выходом системы, °С	16	32	48

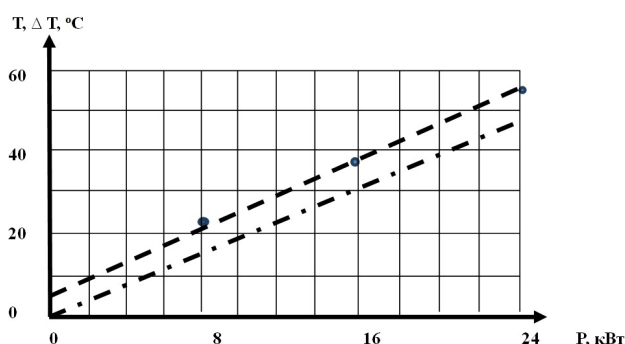


Рис. 6. Графическая аппроксимация зависимости температуры выходящего воздуха T , °С () и перепада температур между входом и выходом калорифера ΔT , °С () от уровня мощности нагрева P , кВт при постоянном расходе воздуха через калорифер $Q = 3300$ м³/ч.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Совершенно очевидно, что для получения постоянной температуры выходящего воздуха при различных значениях мощности (соответственно 8, 16 и 24 кВт) необходимо варьировать расход воздуха. Исходя из аппроксимированной зависимости (рис.6) и линейной связи трех величин (расхода воздуха Q , мощности нагрева P и перепада температур ΔT):

$$\Delta T = c^{-1} * P / Q, \quad (1)$$

где c^{-1} – коэффициент пропорциональности, являющийся функцией теплоемкости воздуха, несложно построить зависимости перепада

температур воздуха между входом и выходом калорифера от его расхода при каждом из фиксированных уровней мощности, а затем и температуру выходящего из электрокалорифера воздуха

$$T_{\text{вых}} = \Delta T + T_0, \quad (2)$$

где T_0 – температура входящего в электрокалорифер воздуха (в смешанном режиме забора наружного воздуха и частичной рециркуляции $\sim 7^\circ\text{C}$).

Тогда для всех фиксированных уровней мощности (8, 16 и 24 кВт) получим (см. табл. 5):

Таблица 5. Зависимости перепада температур воздуха между входом и выходом калорифера и температуры выходящего из него воздуха от его расхода при уровнях мощности 8, 16 и 24 кВт

$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	3300	3100	2900	2700	2500	2300	2100	1900	1700	1500	1300	1100
Уровень мощности 8 кВт												
$\Delta T, ^\circ\text{C}$	16,0	17,0	18,2	19,6	21,1	23,0	25,1	27,8	31,1	35,2	40,6	48,0
$T_{\text{вых}}, ^\circ\text{C}$	23,0	24,0	25,2	26,6	28,1	30,0	32,1	34,8	38,1	42,2	47,6	55,0
Уровень мощности 16 кВт												
$\Delta T, ^\circ\text{C}$	32,0	34,0	36,4	39,2	42,2	46,0	50,2	55,6	62,2	70,4	81,2	96,0
$T_{\text{вых}}, ^\circ\text{C}$	39,0	41,0	43,4	46,2	49,2	53,0	57,2	62,6	69,2	77,4	-	-
Уровень мощности 24 кВт												
$\Delta T, ^\circ\text{C}$	48,0	51,0	54,6	58,8	63,3	69,0	75,3	83,4	93,3	105,6	121,8	144,0
$T_{\text{вых}}, ^\circ\text{C}$	55,0	58,0	61,6	65,8	70,3	76,0	81,3	-	-	-	-	-

Примечание к таблице: Температуры воздуха выше 80°C на выходе калорифера в таблице не приводятся в силу существующего ограничения на эту температуру.

Следует только учитывать, что это температура воздуха на выходе электрокалорифера, а не на выходе из передающего в салон нагретый воздух воздуховода, на котором часть тепловой энергии теряется с соответствующим снижением температуры воздуха. Причем это снижение в соответствии со следствием из второго начала термодинамики тем больше, чем выше температура проходящего по нему воздуха.

Задавая желательную температуру выходящего из калорифера воздуха на каждом уровне мощности нагрева, можно по табулированным выше данным синтезировать зависимость расхода воздуха от мощности нагрева. Следует только выбрать один из двух возможных сценариев обеспечения климата в салоне:

- или с постоянной температурой выходящего из калорифера воздуха,
- или с постепенно снижающейся (по мере снижения мощности нагрева) температурой выходящего воздуха. Однако при этом она должна снижаться не ниже некой, заранее заданной

величины, при которой создаются дискомфортные условия для пассажиров вагона.

Причем второй сценарий, скорее всего, более реалистичный, поскольку существует еще и ограничение снизу по количеству обновляемого воздуха. При весьма существенном снижении расхода воздуха в обеспечение первого сценария можно не уложиться в нормы по обновлению воздуха в салоне (по крайней мере, при минимальной мощности нагрева 8 кВт). При работе по второму сценарию можно выбрать изначально некие минимальные температуры воздуха на выходе калорифера – вплоть до минимально комфортной температуры выходящего из воздуховода на ноги пассажиров воздуха 35°C . При этом на выходе калорифера температуру выходящего воздуха нужно ограничить снизу оценочно на уровне $38\div 40^\circ\text{C}$.

Расчет требуемого расхода воздуха по обоим сценариям, причем по второму из них, выполненный для нескольких различных значений допустимой нижней температуры выходящего из калорифера воздуха представлен в табл. 6:

Таблица 6. Синтезированные данные по расходу воздуха для разных сценариев обогрева салона

Мощность нагрева, кВт	24	16	8
<i>Обеспечение постоянной температуры воздуха на выходе калорифера 55°С</i>			
Расход воздуха, м ³ /ч	3300	2200	1100
<i>Обеспечение минимальной температуры воздуха на выходе калорифера 50°С</i>			
Температура воздуха на выходе, °С	55	52,5	50
Расход воздуха, м ³ /ч	3300	2340	1230
<i>Обеспечение минимальной температуры воздуха на выходе калорифера 45°С</i>			
Температура воздуха на выходе, °С	55	50	45
Расход воздуха, м ³ /ч	3300	2470	1400
<i>Обеспечение минимальной температуры воздуха на выходе калорифера 40°С</i>			
Температура воздуха на выходе, °С	55	47,5	40
Расход воздуха, м ³ /ч	3300	2620	1610
<i>Обеспечение минимальной температуры воздуха на выходе калорифера 35°С</i>			
Температура воздуха на выходе, °С	55	45	35
Расход воздуха, м ³ /ч	3300	2810	1900

С учетом того, что на салон работают два таких вентагрегата, а соответственно, и расход воздуха будет вдвое больше, при температуре выходящего воздуха даже порядка 50÷55°С и хотя бы при 50%-ном его обновлении, представляется возможным уложиться в зимнюю норму по обновлению воздуха (8м³/ч на одного пассажира). Это тем более вероятно, что практически не существует ситуаций, когда калориферы системы постоянно работают на уровне мощности 8 кВт, при которой будет реализовываться минимальный расход, а, соответственно, и минимальный объем обновляемого воздуха.

Возможность же обеспечения этой нормы при работе по второму сценарию и минимально заданной температуре 40÷45°С не вызывает сомнений.

4. Обеспечение управления расходом воздуха через электрокалорифер

Одним из наиболее важных технических вопросов в обеспечение предложенного подхода к стабилизации температуры выходящего из системы отопления воздуха является выбор и реализация управления расходом проходящего через электрокалорифер воздуха из вентагрегата.

Поскольку в системах такого рода используются центробежные вентиляторы различных типов, задать единый механизм управления ими не представляется возможным. Для большинства из них наиболее предпочтительным представляется управление частотой подаваемого на вентиляторы вентагрегата переменного напряжения.

Причем преобразователи частоты и однофазного и трехфазного напряжения на требуемые уровни мощности вентиляторов (до 1,5 кВт на 1 агрегат) являются достаточно хорошо освоенными, надежными и недорогими устройствами.

В настоящем разделе приводится еще более

простой способ управления расходом вентилятора (пригодным, правда, не для всех используемых в таких системах типов вентиляторов), основанный на зависимости оборотов вентилятора от поданного на него напряжения.

Экспериментальное исследование этой зависимости проводилось для одного из принципиально пригодных для использования в таких системах типов вентиляторов – бескорпусного центробежного АС-вентилятора R2E-280-AE52-05 с двигателем M2E068-EC (производства промышленной корпорации «EVM-Industries»). Ниже (рис. 7) приводятся зависимости расхода воздуха через электрокалорифер и тока двигателя вентилятора от величины подаваемого на него переменного напряжения. На графике показан удвоенный расход воздуха через вентилятор, поскольку вентагрегат для таких систем можно построить на 2-х таких вентиляторах.

Построенный таким образом вентагрегат для моноблока отопления и вентиляции обеспечит съем тепловой энергии с электрокалорифера и передачу его в салон вагона. Из представленных кривых видно, что для получения необходимых для максимально возможной мощности нагрева (24 кВт) расходов воздуха порядка 3000÷3500 м³/ч на двигатели вентиляторов нужно подавать штатное напряжение порядка 230В.

При реализации первого сценария (с поддержанием постоянной температуры воздуха на всех уровнях мощности нагрева), для обеспечения требуемого теплосъема при минимальной мощности (8 кВт) нужен (см. табл. 6) расход воздуха на уровне 1250÷1400 м³/ч. При этом на двигатели вентиляторов нужно подавать напряжение на уровне порядка 135÷145 В.

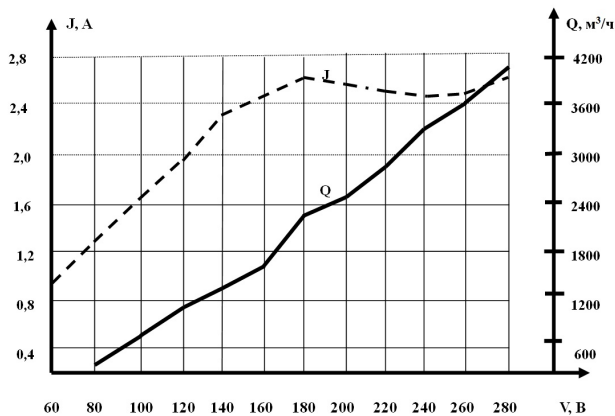


Рис. 7. Зависимости расхода воздуха Q через электрокалорифер и тока J двигателей вентиляторов в вентагрегате с 2 вентиляторами от величины подаваемого на них переменного напряжения V

При работе же по второму сценарию в наиболее реалистичном его варианте – с минимальной заданной температурой порядка $35 \div 40^\circ\text{C}$ в режиме минимальной мощности нагрева нужно обеспечить расход воздуха на уровне $1600 \div 1900 \text{ м}^3/\text{ч}$. При этом на двигатели вентиляторов нужно подавать напряжение на уровне $160 \div 170 \text{ В}$.

На самом деле с учетом уменьшения аэродинамического сопротивления выходных воздуховодов системы отопления вагона (пропорционально примерно квадрату скорости воздушного потока) реально скорость вращения вентиляторов и, соответственно, подаваемое на них напряжение, придется снижать относительно его номинального значения на несколько иную величину.

Разумеется, при этом нужно учитывать еще целый ряд факторов. Так, необходимо учесть, что упадет не только расход воздуха, но и избыточное давление вентилятора, причем весьма значительно. С другой стороны, для того, чтобы «продать» воздуховоды, по которым нагретый воздух подается в салон вагона при таких, существенно уменьшенных расходах, а, соответственно, и скоростях потоков воздуха, большие избыточные давления и не требуются (аэродинамическое сопротивление воздуховода примерно пропорционально скорости протекающего по нему воздуха).

В заключение стоит отметить, что, как уже упоминалось выше, не у всех двигателей вентиляторов скорость вращения управляется напряжением; однако представлялось целесообразным сначала получить принципиальный эффект по стабилизации температуры нагретого в калорифере воздуха за счет изменения его расхода, а уж затем заняться технической реализацией требуемого закона и механизма управления расходом.

Нельзя исключить, что в перспективе для определенных типов двигателей потребуется реализовать управление частотой подаваемого на них переменного напряжения. При существующем уровне потребления двигателей вентагрегатов ($\sim 800 \text{ Вт}$) разработка соответствующего преобразователя частоты представляется не слишком

сложной и не слишком дорогой задачей по сравнению с решаемой таким образом проблемой – исключением «проскоков холодного воздуха на ноги пассажиров».

5. Выводы

В представленной работе проведен анализ проблем и физических явлений, лежащих в основе одного из наиболее значимых дефектов в работе современных систем отопления, вентиляции и кондиционирования салонов вагонов электропоездов. Это, так называемые, «проскоки холодного воздуха», в результате которых движущийся вблизи пола вагона и недостаточно нагретый воздух попадает на ноги пассажиров и создает климатический дискомфорт в вагоне.

На основе проведенного анализа рассмотрены и различные подходы к устранению этого нежелательного явления, среди которых наиболее эффективным представляется вариант, основанный на стабилизации температуры выходящего из системы отопления воздуха. Последнее же достигается за счет синхронизации мощности нагрева воздуха в системе отопления вагона и количества осуществляющего теплосъем воздуха.

Проведенное затем теоретическое и экспериментальное исследование позволило выбрать несколько вариантов закона соответствия мощности нагрева и расхода воздуха, а также предложить варианты подхода к управлению расходом воздуха, создаваемого вентиляторами системы отопления.

В работе проведено также сравнение характеристик используемых в различных системах отопления электрокалориферов с безынерционными нагревательными элементами на основе открытых спиралей и с инерционными нагревательными элементами на основе трубчатых электронагревателей (ТЭНов). Высказано предположение, что добиться сколь-либо значительной стабилизации температуры выходящего из системы отопления воздуха, а соответственно и исключить «проскоки холодного воздуха» в системе с инерционными нагревательными элементами представляется невозможным. Это связано с переходными процессами при переключении с одного уровня мощности нагрева на другой, слишком медленно (до нескольких минут) протекающими при использовании электрокалориферов с инерционными нагревательными элементами.

В случае же использования электрокалориферов с безынерционными нагревательными элементами на основе открытых спиралей протяженность этих процессов измеряется секундами, и низких температур, дискомфортных для пассажиров электропоезда, выходящий из системы отопления воздух не достигает ни при одном из переключений отопления.

Следует отметить, что в настоящей работе не проведен детальный анализ упомянутых выше переходных процессов. Такой анализ является достаточно сложной и самостоятельной задачей и проводится во второй части настоящей статьи.

Библиографический список

1. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике.//под ред. д.т.н. Б.К. Максимова. Перевод И.П. Кужекина М., Энергоатомиздат, 1995.
2. СП 2.5.1198-03. Гигиена и эпидемиология на транспорте. Санитарные правила по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте.
3. Муравьев В.А., Лютов В.Н., Рубинчик Б.Э. Электрокалорифер. Патент на полезную модель Ru (11) 70565 (13) U1 от 27.08.2008 г.
4. Козлов А.В., Шаповалов А.С., Явчуновский В.Я. Сравнительный анализ характеристик открытых спиралей и ТЭНов в составе электронагревательных приборов. Часть 1. Расчет тепловых полей в стационарных и нестационарных тепловых режимах// Вопросы прикладной физики. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. Вып. 15. 2008. С. 53-58.
5. Козлов А.В., Шаповалов А.С., Явчуновский В.Я. Сравнительный анализ характеристик открытых спиралей и ТЭНов в составе электронагревательных приборов. Часть 2. Экспериментальное исследование стационарных и нестационарных режимов// Вопросы прикладной физики. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. Вып. 15. 2008. С. 58-63.
6. Козлов А.В. Исследование нелинейных теплофизических характеристик открытых спиралей и трубчатых электронагревателей, реализуемых в нестационарных режимах их работы.// Естественные и технические науки. 2010 г. № 4, С. 41.-45.
7. Мирошник А.В., Явчуновский В.Я. Климат – контроль, как наиболее эффективный подход к энергосбережению на городском электротранспорте. Часть 1. Экспериментальные данные и предварительные расчеты// Вопросы прикладной физики. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. Вып. .2012. С.
8. Мирошник А.В., Явчуновский В.Я., Козлов А.В. Климат – контроль, как наиболее эффективный подход к энергосбережению на городском электротранспорте. Часть 2. Теоретическая оценка энергопотребления// Вопросы прикладной физики. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. Вып. 2012. С.

**THE PROBLEMS OF AIR TEMPERATURE STABILIZING IN ELECTRIC TRAINS CARRIAGES
IN A STATIONARY HEATING MODE.****PART 1. THE ANALYSIS OF HEATING INSTABILITY SOURCES AND THE DEVELOPMENT OF
APPROACHES TO SOLVING THE PROBLEM**

S. V. Bezrukavny, V.Y. Yavchunovsky

One of the most serious problems, arising while the winter season electric trains carriages heating are so-called "breakthroughs of cold air", originated when the carriages full-time heating regimes are toggled. This paper describes the considered ways of elimination of this phenomenon, and proposed relatively simple and effective methods of stabilizing the temperature of exhausting from the heating system air, primarily on the boundaries of different heating regimes.

**ПРОБЛЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА
В ВАГОНАХ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ В РЕЖИМЕ СТАЦИОНАРНОГО ОБОГРЕВА
ЧАСТЬ 2. АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ
ПРИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИИ РЕЖИМОВ СТАЦИОНАРНОГО ОБОГРЕВА**

С.В. Безрукавный, В.Я. Явчуновский, А.В. Козлов

ОАО «Демиховский машиностроительный завод»

Безрукавный Сергей Викторович, технический директор

ООО НПФ «Этна»

Явчуновский Виктор Яковлевич, д.ф.-м.н., директор

Козлов Андрей Владимирович, к.ф.-м.н., ведущий специалист

В первой части настоящей работы проведен анализ проблем и физических явлений, лежащих в основе одной из наиболее серьезных проблем, возникающих при отоплении салонов вагонов электропоездов в зимнее время года - так называемых «проскоков холодного воздуха». В ней предложен достаточно простой и эффективный метод стабилизации температуры выходящего из системы отопления воздуха. В настоящей, второй части работы проведено исследование переходных процессов, возникающих при переключении режимов стационарного обогрева, показано принципиальное различие в динамике нестационарных процессов, реализуемых в системах отопления с инерционными и безынерционными нагревательными элементами.

1. Введение

В работе [1] проведен анализ проблем и физических явлений, лежащих в основе одного из наиболее значимых дефектов в работе современных систем отопления, вентиляции и кондиционирования салонов вагонов электропоездов. Это, так называемые, «проскоки холодного воздуха», в результате которых движущийся вблизи пола вагона и недостаточно нагретый воздух попадает на ноги пассажиров и создает климатический дискомфорт в вагоне.

На основе проведенного анализа рассмотрены различные подходы к устранению этого нежелательного явления. Среди этих подходов наиболее эффективным представляется вариант, основанный на стабилизации температуры выходящего из системы отопления воздуха за счет синхронизации мощности нагрева воздуха в системе отопления вагона и количества осуществляющего теплообмен воздуха.

Проведенные в работе [1] теоретические и экспериментальные исследования предлагаемых режимов отопления позволили выбрать несколько вариантов закона соответствия мощности нагрева и расхода воздуха, однако изучено было только стационарное поведение системы на каждом из заданных уровней мощности. В то же время, при создании такой системы можно ожидать, что появится определенная специфика в реализации нестационарных процессов при ее переходе с одной ступени мощности нагрева на другую. Причем очевидно, что динамика нестационарных (переходных) процессов будет принципиально различной [2-6] для двух типов систем отопления – с электрокалориферами с безынерционными нагревательными элементами на основе открытых спиралей и с инерционными нагревательными элементами на основе трубчатых электронагревателей (ТЭНов).

В настоящей работе приводятся результаты теоретического анализа упомянутых выше нестационарных процессов. В качестве основного исследуемого параметра выступает температура воздуха, выходящего из каналов системы отопления.

2. Приближенный анализ переходных процессов

В работе [1] были представлены экспериментальные зависимости, характеризующие динамику нагрева и остывания воздуха на выходе электрокалориферов с безынерционными и инерционными нагревательными элементами (в упомянутой работе - рис. 4 а, б, в и 5 а, б, в). На основе этих зависимостей можно очень приближено оценить динамику протекания нестационарных процессов, возникающих при переходе системы с одного уровня мощности нагрева на другой, при одновременном изменении расхода воздуха в соответствии с синтезированными в работе [1] законами.

Однако представляется необходимым отметить, что упомянутые экспериментальные зависимости получены в работе [1] для одного постоянного (при всех уровнях мощности нагрева) расхода воздуха через систему. Для проведения дальнейших расчетов представлялось гораздо более корректным пересчитать либо заново снять экспериментально зависимости, характеризующие динамику нагрева и остывания воздуха на выходе электрокалориферов, для различных расходов воздуха, реализуемых в соответствии с предложенными в работе [1] законами соответствия между дискретными уровнями мощности нагрева и величиной расхода воздуха через систему отопления.

В настоящей работе рассматривается лишь один из этих законов - наиболее реалистичный в плане практического использования режим (табл. 1) с минимальным значением температуры выходящего из каналов отопления воздуха плюс 40°C (изменением его от плюс 55°C при мощности нагрева 24 кВт до плюс 40°C при мощности нагрева 8 кВт). Для любых других выбранных законов соответствия мощности нагрева и расхода протекающего через систему воздуха можно впоследствии построить зависимости, полностью аналогичные по сути и по методам построения приведенным ниже зависимостям.

В соответствии с изложенным выше, для приведенного в табл.1 закона изменения расхода воздуха были, прежде всего, экспериментально

определены аналогичные полученным в работе [1] временные зависимости нарастания и спада температуры (рис. 1÷5), характеризующие динамику нагрева и остывания воздуха на выходе электрокалориферов. Причем определены они были для нескольких пограничных по мощности нагрева и расходу воздуха режимов, что наиболее важно для дальнейшего анализа переходных процессов, связанных с одновременным изменением уровня мощности и расхода воздуха.

Таблица 1. Синтезированные данные по расходу воздуха для режимов с минимальной температурой выходящего из каналов отопления воздуха плюс 40°C.

Мощность нагрева, кВт	24	16	8
Температура воздуха на выходе, °C	55	47,5	40
Расход воздуха, м ³ /ч	3300	2620	1610

Эти зависимости фактически описывают конкретные переходные процессы, возникающие при переключении режимов работы системы.

Первый из них (рис. 1) относится к случаю нарастания температуры при включении мощности нагрева 8 кВт с соответствующим ей расходом мощности 1610 м³/ч. Для этого же расхода и мощности нагрева определены и зависимости спада температуры при их выключении.

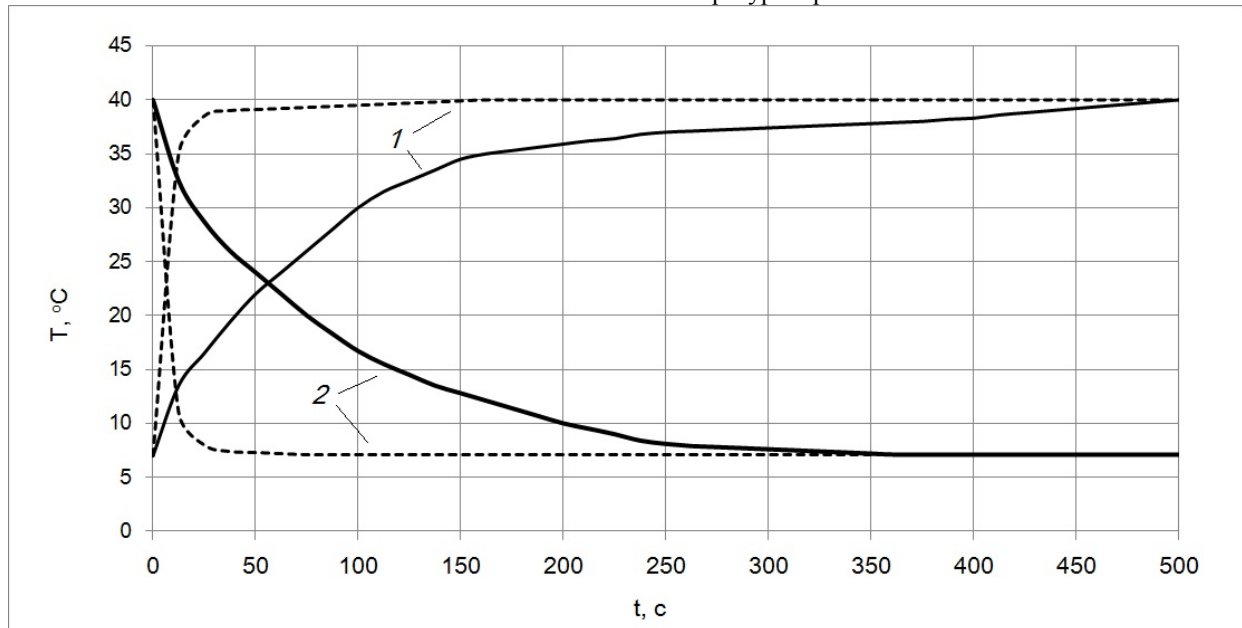


Рис. 1. Результаты экспериментального исследования динамики нарастания (1) и спада (2) температуры выходящего из системы нагретого воздуха при включении и выключении мощности нагрева 8 кВт:

— - для калориферов с нагревательными элементами на открытых спиралях, - - - - для калориферов с нагревательными элементами на ТЭНах

Из представленных кривых видно, что скорость набора температуры для калориферов с безынерционными нагревательными элементами еще более возросла по сравнению с представленными для большего расхода воздуха в работе [1] (время выхода в стационарный рабочий режим не превышает 10 с). Что же до и без того малого времени выхода из стационарного режима, то его можно просто не учитывать, поскольку для этого типа калориферов вентилятор можно выключать одновременно с выключением напряжения нагрева.

Для калориферов с инерционными нагревательными элементами скорость набора температуры также несколько возросла по сравнению с представленными в [1] результатами (время выхода в стационарный рабочий режим снизилось с 450 с до примерно 250 с). Однако при

снижении расхода воздуха для них весьма значительно увеличилось время выхода из режима нагрева с возвратом к исходной температуре воздуха. Причем для этого типа калориферов эта величина имеет принципиальное значение в связи с необходимостью введения в алгоритм управления такой системы функции задержки отключения вентилятора после отключения напряжения нагрева.

Второй набор кривых (рис.2) относится к случаю перехода от режима с мощностью нагрева 8кВт и расходом воздуха 1610 м³/ч к режиму с мощностью нагрева 16 кВт и расходом воздуха 2620 м³/ч.

Представленный на рис. 2 начальный спад температуры воздуха при переключении режимов неизбежен, поскольку с не успевших нагреться еще большей мощностью нагревательных элементов сьем тепла осуществляется уже существенно большим по расходу воздушным потоком.

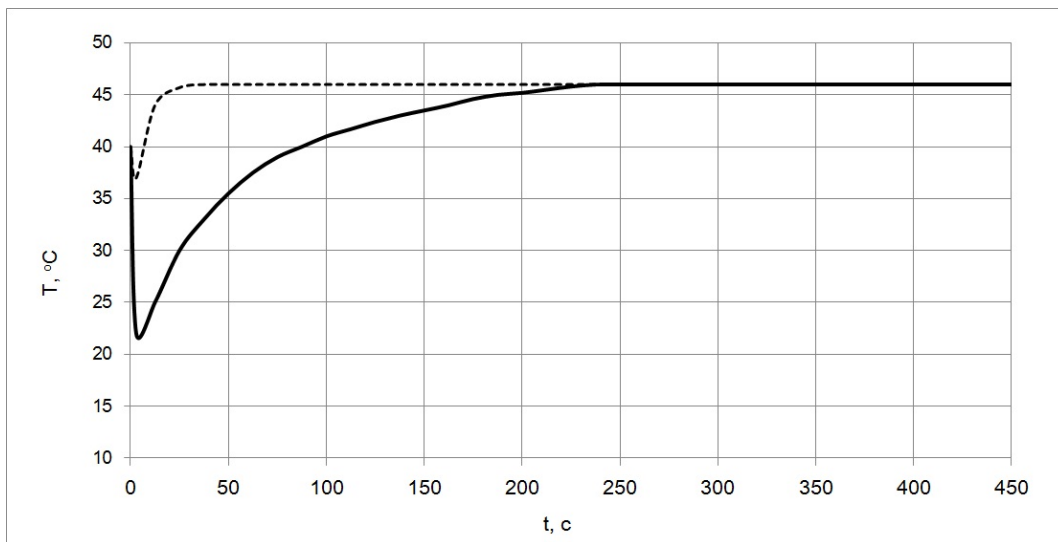


Рис. 2. Результаты экспериментального исследования динамики спада и последующего нарастания температуры воздуха на выходе из калориферов (при переключении с мощности нагрева 8 кВт на мощность нагрева 16 кВт с одновременным увеличением расхода воздуха с 1610 до 2620 м³/ч): — для нагревательных элементов на открытых спиралях, — — для нагревательных элементов на ТЭНах

Однако для безынерционных нагревательных элементов на открытых спиралях этот спад от исходной (установившейся при мощности нагрева 8 кВт и расходе воздуха 1610 м³/ч) температуры плюс 40°C составляет всего 2°C (до плюс 38°C) и температура возвращается на уровень плюс 40°C в течение 6 секунд. А затем, еще примерно за 15 секунд калориферы на открытых спиралях успевают выйти в новый стационарный режим на заданном для мощности нагрева 16 кВт уровне температуры выходящего воздуха + 47°C.

Для калорифера же с инерционными нагревательными элементами температура на первом участке нестационарного теплового процесса успевает упасть до 24°C, затем в течение достаточно длительного интервала времени (порядка 90 с) с момента переключения мощности достигает прежнего (при мощности нагрева 8 кВт) уровня плюс 40°C. Выход же на новый стационарный режим (с уровнем температуры выходящего воздуха + 47°C) продолжается в течение более 200 с.

Достаточно похож на описанный выше и нестационарный процесс перехода с мощности нагрева 16 кВт (расход воздуха 2620 м³/ч) к режиму с мощностью нагрева 24 кВт и расходом воздуха 3300 м³/ч (рис. 3).

Для безынерционных нагревательных элементов этот спад от исходной (установившейся при мощности нагрева 16 кВт и расходе воздуха 2620 м³/ч) температуры плюс 40°C составляет менее 1°C (до достаточно еще комфортной температуры плюс 46°C). А затем примерно за 12 секунд система на открытых спиралях успевает выйти в новый стационарный режим на заданном для мощности нагрева 24 кВт уровне температуры выходящего воздуха + 55°C.

Для калорифера же с инерционными нагревательными элементами температура на первом участке нестационарного теплового

процесса успевает упасть до 32°C, затем в течение примерно 75 секунд с момента переключения мощности достигает прежнего (при мощности нагрева 16 кВт) уровня плюс 47°C. Выход же на новый стационарный режим (с уровнем температуры выходящего воздуха + 55°C) продолжается в течение примерно 180 с.

Очень важным для понимания специфики рассматриваемых нестационарных процессов является и исследование переходов с больших на меньшие уровни мощности при одновременном уменьшении расхода воздуха.

Рассмотрим режим перехода с мощности нагрева 24 кВт и расходом воздуха 3300 м³/ч на меньшую ступень нагрева с мощностью нагрева 16 кВт и расходом воздуха 2620 м³/ч.

За счет снижения расхода воздуха на обоих типах систем будет изначально наблюдаться небольшой для безынерционных систем и достаточно значимый для инерционных систем подъем температуры выходящего из системы воздуха (рис. 4).

Выбросом температуры воздуха в случае безынерционной системы (примерно на 1°C в течение 5,5 с) можно практически пренебречь.

В случае инерционной системы температура воздуха поднимается с 55°C до 71°C, причем спад ее до стационарной температуры воздуха, выходящего из системы при мощности нагрева 24 кВт (55°C) растягивается на достаточно длительный период времени порядка 80 с. Такой теплый воздух тоже создает определенный дискомфорт для пассажиров электропоезда.

Период же установления стационарной температуры, соответствующей ступени мощности нагрева 16 кВт (47°C) составляет порядка 190 с.

Аналогичная ситуация имеет место и при переходе с мощности нагрева 16 кВт и расходом воздуха 2620 м³/ч на меньшую ступень мощности нагрева (8 кВт) с расходом воздуха 1610 м³/ч (рис. 5).

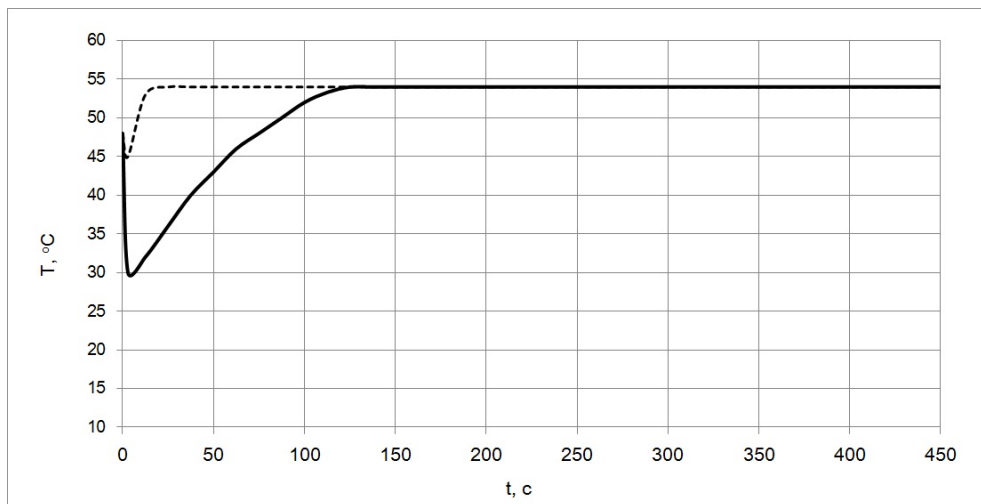


Рис. 3. Результаты экспериментального исследования динамики спада и последующего нарастания температуры воздуха на выходе из калориферов (при переключении с мощности нагрева 16 кВт на мощность нагрева 24 кВт с одновременным увеличением расхода воздуха с 2620 до 3300 м³/ч): — для нагревательных элементов на открытых спиралях, - - - для нагревательных элементов на ТЭНах

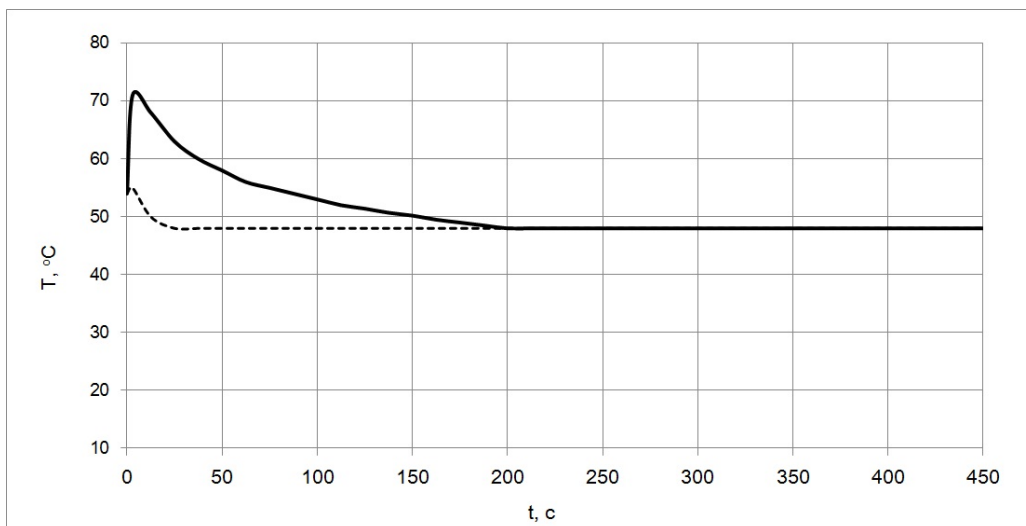


Рис. 4. Результаты экспериментального исследования динамики нарастания и последующего спада температуры воздуха на выходе из калориферов (при переключении с мощности нагрева 24 кВт на мощность нагрева 16 кВт с одновременным снижением расхода воздуха с 3300 до 2620 м³/ч): — для нагревательных элементов на открытых спиралях, - - - для нагревательных элементов на ТЭНах

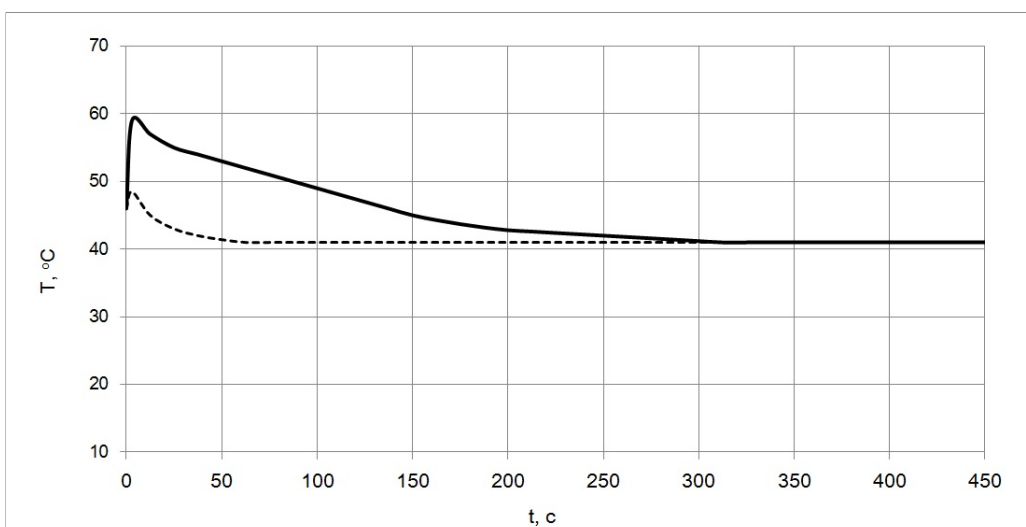


Рис. 5. Результаты экспериментального исследования динамики нарастания и последующего спада температуры воздуха на выходе из калориферов (при переключении с мощности нагрева 16 кВт на мощность нагрева 8 кВт с одновременным снижением расхода воздуха с 3300 до 2620 м³/ч): — для нагревательных элементов на открытых спиралях, - - - для нагревательных элементов на ТЭНах

Полученные результаты позволяют прогнозировать поведение систем в пограничных режимах, при которых имеет место достаточно частое переключение системы с одного уровня мощности нагрева на ближайший дискретный уровень.

3. Анализ температурных режимов в пограничных областях

При различных температурах окружающей среды имеют место разные законы периодического переключения системы с одного уровня мощности нагрева на другой. В случаях, когда мощность нагрева салона вагона близка по уровню к мощности теплоотдачи салона (через изоляцию стен вагона, через открывающиеся двери), тепловой баланс устанавливается на длительный период времени и переключение режимов происходит достаточно редко.

При сильно различающихся уровнях мощности теплоотдачи салона и мощности нагрева воздуха, тепловой баланс реализуется на достаточно короткий период времени и переключения происходят достаточно часто, иногда с периодичностью несколько минут.

Для анализа длительного поведения систем с инерционными и безынерционными нагревательными элементами выберем некое среднее время переключения (порядка 10 минут) и на основе полученных выше экспериментальных результатов синтезируем временные зависимости температуры выходящего из системы воздуха.

Для пограничного режима 16–24 кВт (рис. 6), реализуемого, как правило, при температуре окружающей среды ниже минус 20оС, для систем с безынерционными нагревательными элементами проскоки холодного воздуха отсутствуют. Минимальная температура воздуха на выходе из

системы 46оС, максимальная - 56оС, на протяжении заданных интервалов времени от одного переключения режимов до другого система стабильно обеспечивает температуру выходящего из нее нагретого воздуха либо 47оС, либо 55оС.

Для систем с инерционными нагревательными элементами при переключении режимов работы имеют место существенные выбросы температуры выходящего из нее нагретого воздуха. При переходе с большего уровня мощности на меньший уровень имеет место аномальное повышение температуры до достаточно дискомфортного для пассажиров уровня 71оС. Затем в течение более 30% времени от десятиминутного интервала происходит установление температуры на уровне 47оС и остальные 70% времени от этого десятиминутного интервала температура стабильно выдерживается на установившемся стационарном уровне.

При следующем переключении с меньшего уровня мощности на больший уровень имеет место аномальное снижение температуры до относительно комфортного для пассажиров уровня 32оС, причем выход на температуру выше 36,6оС проходит за считанные секунды и проскоков холодного воздуха пассажиры ощутить не должны. В течение последующих 3 минут происходит установление температуры и еще 7 минут из системы выходит нагретый воздух с температурой 55оС. И так далее.

Для пограничного режима 8 – 16 кВт (рис. 7), реализуемого обычно при температуре окружающей среды минус 5÷10оС, ситуация достаточно похожая. Разница лишь в том, что дискомфортные условия для пассажиров при использовании систем с инерционными нагревательными элементами создаются на переходе не с большего на меньший уровень нагрева, а, наоборот, при переходе с меньшего на больший уровень.

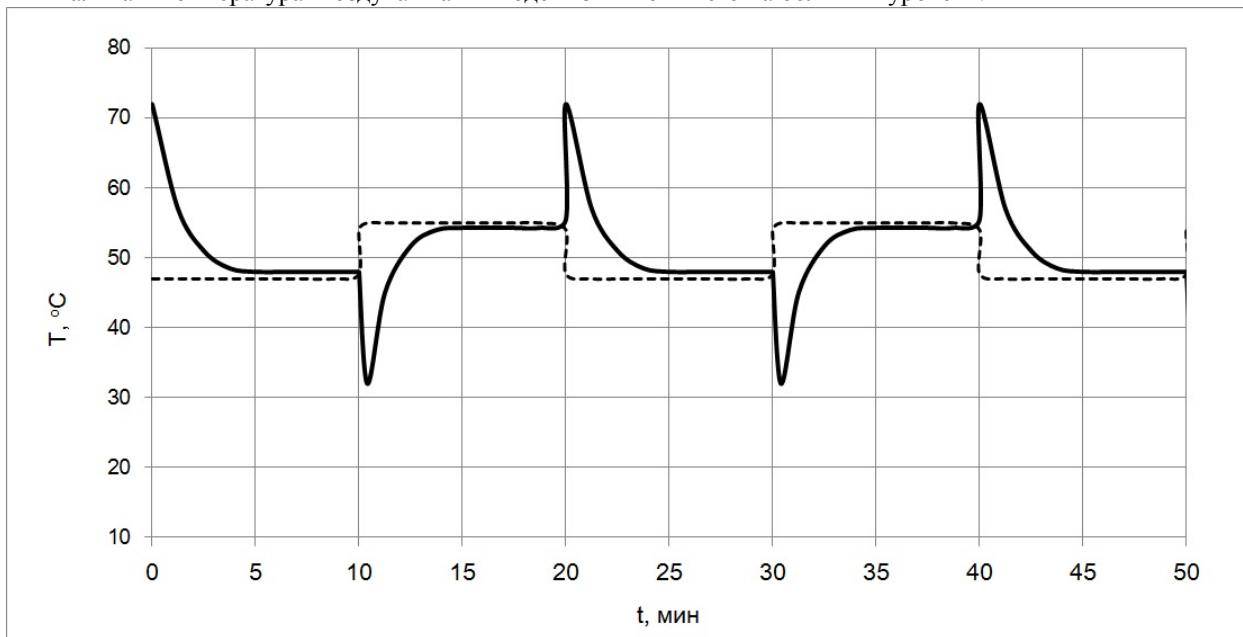


Рис. 6. Временная диаграмма температурного режима на выходе из системы отопления для пограничного режима 16 – 24 кВт. Выбранный в расчете интервал времени от одного переключения до следующего – 10 минут. Кривые — для нагревательных элементов на открытых спиралях, - - - - для нагревательных элементов на ТЭНах

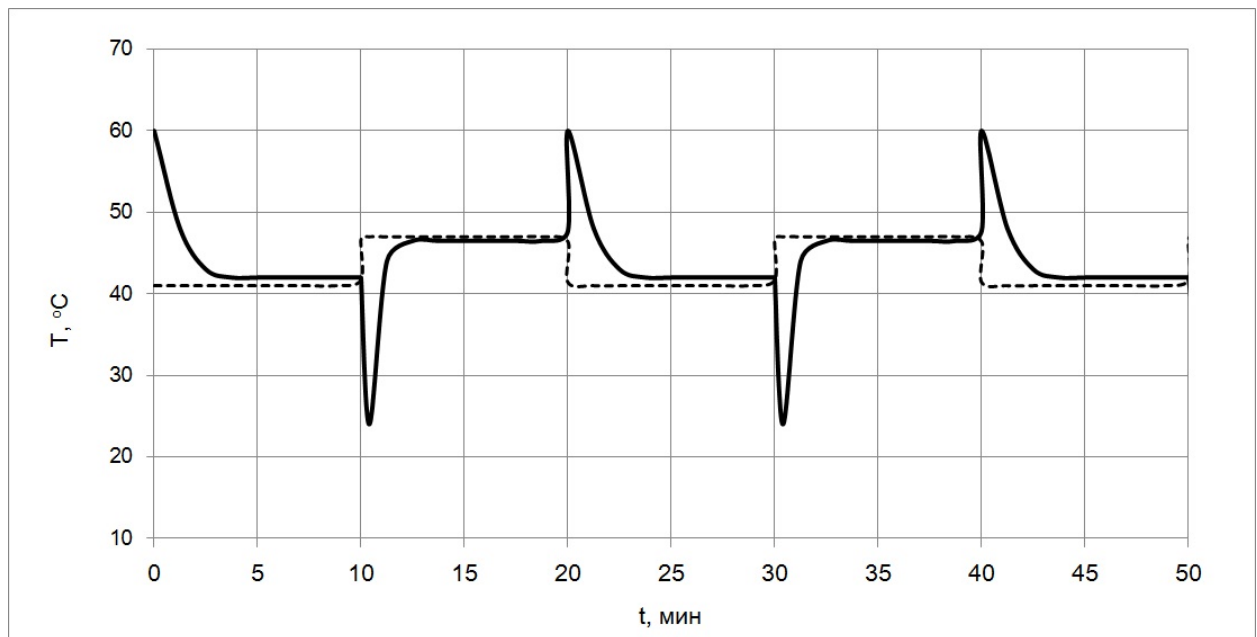


Рис. 7. Временная диаграмма температурного режима на выходе из системы отопления для пограничного режима 8 – 16 кВт. Выбранный в расчете интервал времени от одного переключения до следующего – 10 минут. Кривые — для нагревательных элементов на открытых спиралях, - - - - для нагревательных элементов на ТЭНах

При переключении с мощности нагрева 16 кВт на уровень мощности 8 кВт имеет место бросок температуры до не слишком дискомфортного уровня 60°C, причем температура воздуха достаточно быстро (в течение 2-3) минут опускается до температуры порядка 40°C. Однако при переключении с мощности нагрева 8 кВт на уровень мощности 16 кВт имеет место резкий бросок температуры до совершенно дискомфортного уровня 24°C и до комфортной температуры 36,6°C. Нестационарный процесс, сопровождаемый проскоками холодного воздуха, продолжается в течение порядка 3 минут.

Система же с безынерционными элементами на открытых спиралях стабильно поддерживает температуру выходящего из системы воздуха на двух дискретных уровнях, соответственно, 40°C и 47°C.

Еще хуже обстоит дело при отключении мощности нагрева с предшествующего уровня мощности 8 кВт (рис. 8). Это связано с тем, что без ущерба для надежности работы ее нагревательных элементов – ТЭНов необходимо введение временной задержки выключения вентилятора после выключения подаваемого на нагревательные элементы высокого напряжения.

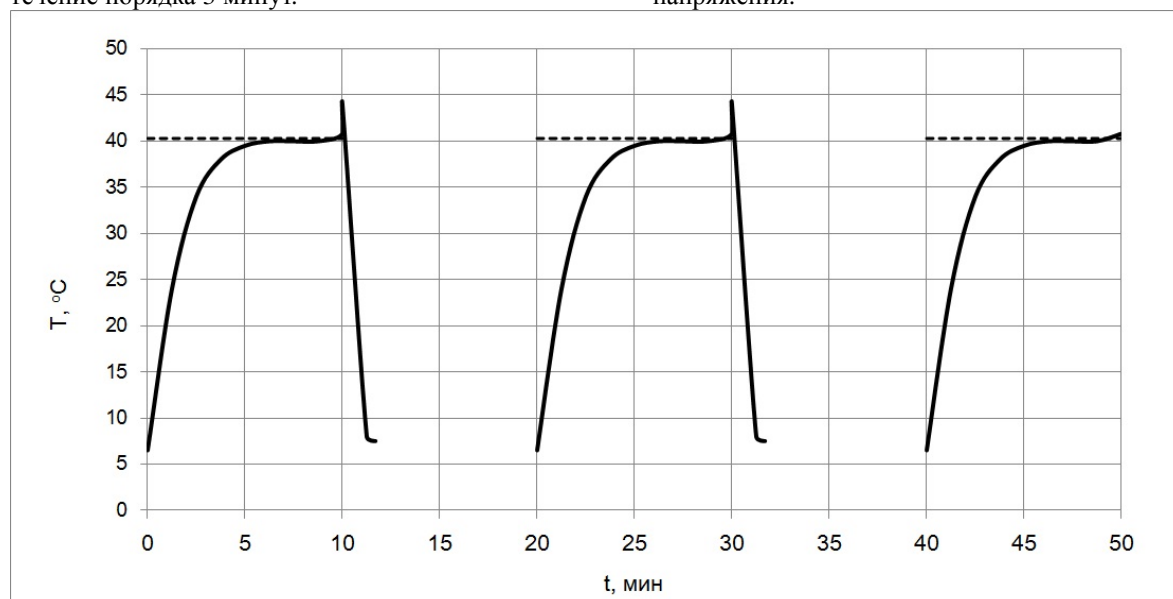


Рис. 8. Временная диаграмма температурного режима на выходе из системы отопления для пограничного режима 0–8 кВт. Выбранный в расчете интервал времени от одного переключения до следующего – 10 минут. Кривые — для нагревательных элементов на открытых спиралях, - - - - для нагревательных элементов на ТЭНах

При этом температура выходящего из системы воздуха в течение нескольких секунд опускается до температуры смеси рециркуляционного и наружного воздуха – порядка $7 \div 10^\circ\text{C}$ и держится на этом уровне до отключения вентиляторов вентагрегата системы. Это создает наиболее дискомфортный из всех описанных выше режим, в котором имеют место наиболее неприятные для пассажиров проскоки холодного воздуха.

Для системы же с нагревательными элементами на открытых спиралях такой проблемы не существует, поскольку они не требуют временной задержки выключения вентиляторов после выключения подаваемого на нагревательные элементы высокого напряжения. Для полного их охлаждения достаточно ослабевающего после выключения (одновременно с отключением напряжения нагрева) вентиляторов остаточного потока воздуха.

Поэтому такие калориферы стабильно удерживают температуру выходящего из системы воздуха на комфортном уровне 40°C в течение выбранных десятиминутных интервалов включения и напряжения нагрева, и вентиляторов, а в течение последующих 10 минут между циклами нагрева воздух из выходных каналов системы отопления в салон не поступает.

4. Выводы

В представленной работе проведен анализ переходных нестационарных процессов при работе современных систем отопления, вентиляции и кондиционирования салонов вагонов электропоездов. Анализ проводился для предложенного в работе [1] модельного режима, предназначенного для исключения, так называемых, «проскоков холодного воздуха».

Предложенный режим, безусловно, исключает это явление для всех стационарных режимов работы этих систем, что обеспечивается соответствующим синтезом закона соответствия мощности нагрева и расхода воздуха, осуществляющего передачу тепловой энергии от калорифера в салон вагона.

Однако в нестационарных режимах работы, возникающих при автоматическом переключении режимов работы системы, исключение данного явления («проскоков холодного воздуха») возможно исключительно с использованием систем с безынерционными электрокалориферами с нагревательными элементами в виде открытых спиралей.

На инерционных в тепловом отношении

калориферах с нагревательными элементами в виде трубчатых электронагревателей (ТЭНов) исключение этого эффекта невозможно из-за описанного выше поведения таких систем в нестационарных процессах перехода с одного режима работы на соседний. В этих пограничных режимах инерционные системы характеризуются значительными выбросами температуры:

- как в область более высоких температур (при переключении с большего уровня мощности на меньший),

- так и в область низких температур (при переходе с меньшего на больший уровень мощности).

Это обусловит климатический дискомфорт в вагоне и в предложенном в работе [1] режиме работы, позволяющем кардинально решить проблему с «проскоками холодного воздуха» при использовании безынерционных нагревательных систем.

Разумеется, представленный в этой статье анализ проведен пока лишь на уровне физических оценок и требует дальнейшего подтверждения строгими количественными расчетами и соответствующими экспериментальными исследованиями.

Однако то, что качественно получены абсолютно правильные результаты не вызывает сомнения. Ведь исходные результаты, представленные на рис. 1-5, получены в работе экспериментальным путем, на основе достаточно корректно измеренных температурных зависимостей. А окончательные выводы, иллюстрируемые кривыми на рис. 6-8, получены непосредственно на основе этих экспериментальных данных.

В части 3 настоящей работы будут представлены еще более корректные результаты измерений на специально разработанной экспериментальной установке, позволяющей одновременно переключать и уровни мощности, и расход воздуха через калорифер по любым заданным законам их соответствия.

В последующих работах будут проведены и строгие теоретические расчеты полученных в настоящей работе экспериментальным путем результатов.

Это может стать основой последующего создания климатического оборудования, обеспечивающего максимально комфортные условия для пассажиров электропоездов.

Библиографический список

1. Безрукавный С.В., Явчуновский В.Я. Проблемы стабилизации температуры воздуха в вагонах электропоездов в режиме стационарного обогрева. Часть 1. Анализ источников неустойчивости теплового режима и разработка подходов к решению проблемы. // Вопросы прикладной физики. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. Вып. . 2012. С.
2. Козлов А.В., Шаповалов А.С., Явчуновский В.Я. Сравнительный анализ характеристик открытых спиралей и ТЭНов в составе электронагревательных приборов. Часть 1. Расчет тепловых полей в стационарных и нестационарных тепловых режимах// Вопросы прикладной физики. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. Вып. 15. 2008. С. 53-58.
3. Козлов А.В., Шаповалов А.С., Явчуновский В.Я. Сравнительный анализ характеристик открытых спиралей и ТЭНов в составе электронагревательных приборов. Часть 2. Экспериментальное исследование

стационарных и нестационарных режимов// Вопросы прикладной физики. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та. Вып. 15. 2008. С. 58-63.

4. Козлов А.В. Исследование нелинейных теплофизических характеристик открытых спиралей и трубчатых электронагревателей, реализуемых в нестационарных режимах их работы.// Естественные и технические науки. 2010 г. № 4, С. 41-45.

5. Мирошник А.В., Явчуновский В.Я. Климат – контроль, как наиболее эффективный подход к энергосбережению на городском электротранспорте. Часть 1. Экспериментальные данные и предварительные расчеты// Вопросы прикладной физики. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та. Вып. .2012. С.

6. Мирошник А.В., Явчуновский В.Я., Козлов А.В. Климат – контроль, как наиболее эффективный подход к энергосбережению на городском электротранспорте. Часть 2. Теоретическая оценка энергопотребления// Вопросы прикладной физики. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та. Вып. 2012. С.

THE PROBLEMS OF AIR TEMPERATURE STABILIZING IN ELECTRIC TRAINS CARRIAGES IN A STATIONARY HEATING MODE. PART 2. THE ANALYSIS OF TRANSIENTS ARISING WITH SWITCHING STATIONARY HEATING

S. V. Bezrukavny, V.Y. Yavchunovsky, A. V. Kozlov

The analysis of problems and physical phenomena, underlying one of the most serious arising while the winter season electric trains carriages heating - the so-called "breakthrough of cold air" problems have been described in the first part of this work. Sufficiently simple and effective method of stabilizing the temperature of exhaust air from the heating system proposed in the paper. In the second part of the article the investigation of transients, arising with switching stationary heating had been carried out, fundamental difference in the dynamics of non-stationary processes implemented in heating systems with inertial and the inertialless heating elements are shown.

**ПРОБЛЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ВАГОНАХ
ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ В РЕЖИМЕ СТАЦИОНАРНОГО ОБОГРЕВА
ЧАСТЬ 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ,
ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИИ РЕЖИМОВ СТАЦИОНАРНОГО ОБОГРЕВА**

С.В. Безрукавный, В.Я. Явчуновский, А.В. Козлов, Д.А.Шатунов

ОАО «Демиховский машиностроительный завод»

Безрукавный Сергей Викторович, технический директор

ООО НПФ «Этна»

Явчуновский Виктор Яковлевич, д.ф.-м.н., директор

Козлов Андрей Владимирович, к.ф.-м.н., ведущий специалист

Саратовский государственный университет

Шатунов Денис Алексеевич, студент 4 курса физического факультета

В первой части настоящей работы проведен анализ физических явлений, лежащих в основе одной из наиболее серьезных проблем, возникающих при отоплении салонов вагонов электропоездов в зимнее время года - так называемых «проскоков холодного воздуха», предложен простой и эффективный метод стабилизации температуры выходящего из системы отопления воздуха. Во второй части работы проведен теоретический анализ переходных процессов, возникающих при переключении режимов стационарного обогрева, показаны принципиальные различия в динамике нестационарных процессов, реализуемых в системах отопления с инерционными и с безынерционными нагревательными элементами. В настоящей, третьей части работы в подтверждение полученных расчетным путем результатов проводится экспериментальное исследование нестационарных процессов, связанных с упомянутыми выше переходными процессами.

1. Введение

В работе [1] проведен анализ проблем и физических явлений, лежащих в основе одного из наиболее значимых дефектов в работе современных систем отопления, вентиляции и кондиционирования салонов вагонов электропоездов. Это, так называемые, «проскоки холодного воздуха», в результате которых движущийся вблизи пола вагона и недостаточно нагретый воздух попадает на ноги пассажиров и создает климатический дискомфорт в вагоне. В [1] предложен и наиболее простой и эффективный подход к устранению этого дефекта, основанный на стабилизации температуры выходящего из системы отопления воздуха за счет выбора закона изменения количества осуществляющего теплосъем воздуха при изменении мощности его нагрева.

Однако это позволяет решить данную задачу лишь при использовании систем отопления с электрокалориферами на основе безынерционных нагревательных элементов (открытых спиралей). В обоснование этого в работе [2] на основе теоретического анализа показано, что имеется определенная специфика в реализации нестационарных процессов, принципиально различная для разных типов систем отопления [3-7].

В частности, при переходе системы отопления с одной ступени мощности нагрева на другую в каждом из двух типов систем отопления - с электрокалориферами с безынерционными нагревательными элементами на основе открытых спиралей и с инерционными нагревательными элементами на основе трубчатых электронагревателей (ТЭНов) - нестационарные процессы протекают совершенно по-разному.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментальной проверки полученных в [2] временных зависимостей температуры выходящего из системы отопления воздуха на длительных временных интервалах, в течение которых имеет

место несколько переходов с одного теплового режима работы системы на другой.

2. Описание экспериментальной установки для анализа стационарного и нестационарного поведения системы отопления и методики измерений

Для проведения экспериментального исследования стационарного и нестационарного поведения системы отопления была разработана и реализована экспериментальная установка, обладающая существенно расширенными возможностями по сравнению со штатной нагревательной системой (состоящей из вентагрегата и электрокалорифера).

В этой установке представлялось необходимым обеспечить возможность управления расходом снимающего тепло с нагревательного блока воздуха, с целью реализации любого требуемого закона соответствия между мощностью нагрева и расходом снимающего выделяемую тепловую энергию воздуха.

Кроме того установка должна была обеспечить возможность относительно точного измерения температур и скоростей потока воздуха на выходе из нагревательного блока исследуемой системы (вентагрегат - калорифер).

Еще одним важным требованием к установке была ее быстрая собираемость и разбираемость, поскольку каждое из измерений следовало проводить с двумя типами электрокалориферов, соответственно с инерционными (на основе ТЭНов) и безынерционными (на основе открытых спиралей) нагревательными блоками.

Основная часть экспериментальной установки (рис. 1) включала в себя вентагрегат, нагревательный блок и источники их питания. Причем сменных нагревательных блоков было два: один на основе ТЭНов, другой - на основе открытых спиралей.

Каждый из этих нагревательных блоков (1) обеспечивал выделение 3-х дискретных уровней

мощности нагрева. Для этого каждый из нагревательных блоков состоял из двух автономных нагревательных модулей. Один из модулей каждого из калориферов был собран на уровень мощности 8 кВт, а другой - на уровень мощности 16 кВт.

Включать их можно было и по отдельности, и вместе, обеспечивая тем самым три дискретных уровня мощности – соответственно, 8, 16 и 24 кВт.

Включение и изменение мощности нагревательного блока осуществлялось подачей напряжения от источников питания (4) и (5), причем, как уже упоминалось выше, при отдельном включении каждого из них нагревательный блок рассеивал мощность равную 8 и 16 кВт, соответственно, а при одновременном включении - 24 кВт.

Вентагрегат (2), служащий для подачи воздуха в нагревательный блок (1), состоял из 2-х центробежных вентиляторов переменного тока. Управление расходом воздуха осуществлялось изменением напряжения, подаваемого на вентагрегат с помощью регулируемого трансформатора - ЛАТРа (3).

При управлении расходом воздуха от вентагрегата использовалась полученная ранее [1] зависимость (рис. 2) этой величины от напряжения, поданного на двигателя входящих в его состав 2 бескорпусных центробежных АС-вентиляторов R2E-280-AE52-05 с двигателем M2E068-EC (производства корпорации «ЕВМ – Industries»). Причем расход воздуха измерялся уже на выходе установленного за вентагрегатом калорифера, с учетом вносимого им аэродинамического сопротивления.

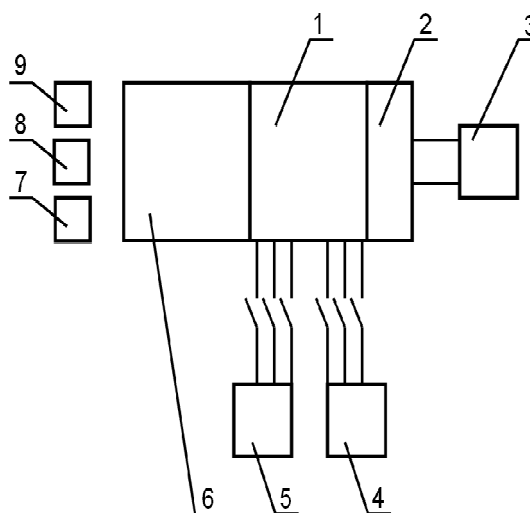


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки:

- 1 – нагревательный блок со ступенчатым включением мощности (8, 16, 24кВт)
- 2 – вентагрегат (с двумя центробежными АС - вентиляторами);
- 3 – регулируемый автотрансформатор ЛАТР;
- 4, 5 – трехфазные источники питания нагревательных модулей (соответственно, 8 и 16кВт);
- 6 – измерительный воздуховод (для выравнивания температуры и расхода воздуха по площади вертикального сечения);
- 7 – измеритель температуры выходящего из установки воздуха;
- 8 – пирометр, измеряющий температуру нагревательных элементов;
- 9 – анемометр, измеряющий скорость выходящего из установки воздуха.

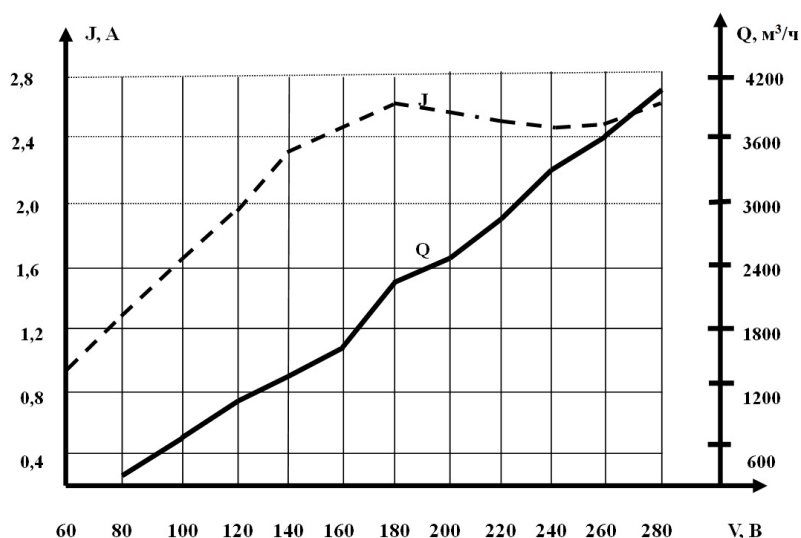


Рис. 2. Зависимости расхода воздуха Q от вентагрегата через электрокалорифер и тока I двигателей вентиляторов от величины подаваемого на них переменного напряжения V

Управляя с помощью ЛАТРа подаваемым на двигатели вентиляторов напряжением, представлялось возможным изменять расход воздуха в диапазоне от максимального расхода порядка 4200 м³/ч (при напряжении 270 В) до минимально требуемого в эксперименте - на уровне 1250÷1400 м³/ч (при напряжении порядка 135÷145 В).

Важным элементом установки являлся измерительный воздуховод (6) длиной примерно 3 м, позволявший существенно увеличить точность измерения температуры и расхода воздуха на выходе системы, поскольку перепады этих величин по вертикальному сечению трубы (равного выходному вертикальному сечению вентагрегата и калорифера)

существенно выравнялись по длине трубы за счет перемешивания воздуха.

Одновременно с измерением температуры воздуха в стационарных и нестационарных процессах производилось измерение (с помощью пирометра) температуры поверхности собственно нагревательных элементов (ТЭНов и открытых спиралей). Эти измерения необходимы для понимания физической сущности протекающих процессов, а также для формулирования ряда следствий, важных при организации микроклимата салона.

При измерениях исследовалось два режима работы систем:

- с постоянным расходом воздуха, неизменным при всех уровнях подаваемой на калорифер мощности нагрева;
- со ступенчатым законом изменения расхода, соответствующим закону, предложенному в работах [1, 2] (см. табл.1), при котором температура на дискретных средней (16 кВт) и нижней (8кВт) ступенях мощности снижалась по сравнению с режимом максимальной мощности (24 кВт). Однако это снижение допускалось не ниже минимального значения (40°C), еще не создающего климатического дискомфорта для пассажиров электропоезда.

Таблица 1. Выбранный закон соответствия между величиной расхода воздуха и мощностью нагрева, обеспечивающий минимальную температуру выходящего из каналов отопления воздуха плюс 40°C.

Мощность нагрева, кВт	24	16	8
Температура воздуха на выходе, °C	55	47,5	40
Расход воздуха, м ³ /ч	3300	2620	1610

Для анализа длительного поведения систем с инерционными и безынерционными нагревательными элементами был условно выбран

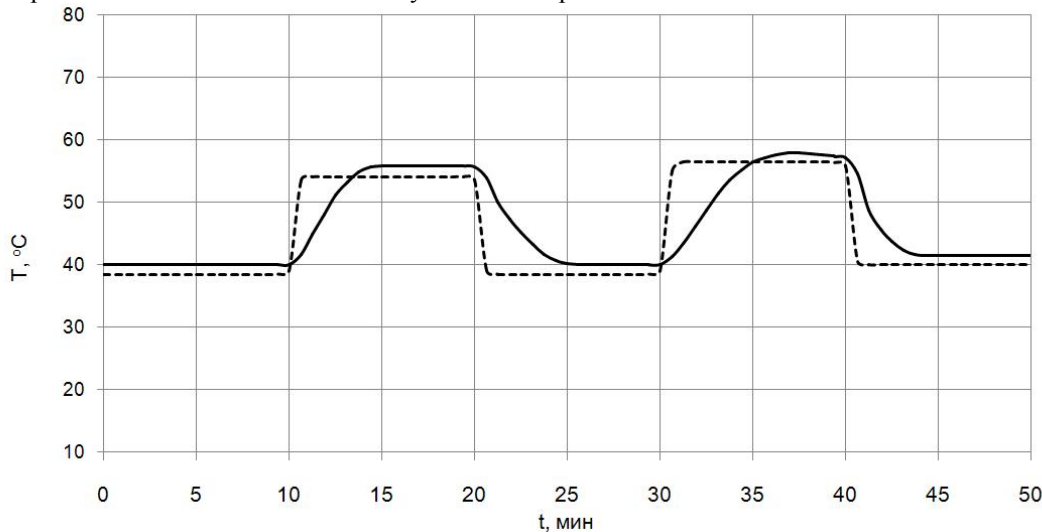


Рис. 3. Временная диаграмма температурного режима на выходе из системы отопления для пограничного режима 16 – 24 кВт при постоянном (для обоих дискретных уровней мощности) расходе воздуха 3100÷3200 м³/ч. Выбранный интервал времени от одного переключения до следующего – 10 минут. Кривые — для нагревательных элементов на открытых спиралей, - - для нагревательных элементов на ТЭНах

некий средний интервал времени между соседними переключениями теплового режима (10 минут).

В ходе эксперимента прописывалось изменение во времени температуры воздуха на выходе из системы и температуры нагревательных элементов для обоих предложенных законов изменения расхода воздуха через систему.

Указанные измерения проводились с двумя различными типами электрокалориферов – с инерционными и безынерционными нагревательными блоками (с нагревательными элементами, выполненными, соответственно, на основе ТЭНов и на основе открытых спиралей). После измерения временных зависимостей температуры (динамики ее изменения) схема разбиралась, из нее удалялся один тип калорифера и устанавливался другой, после чего измерения повторялись.

3. Результаты измерений для случая постоянного (при всех уровнях подаваемой на калорифер мощности нагрева) расхода воздуха через систему

Указанные измерения проводились в основном для объяснения физических причин получаемых в настоящее время проскоков холодного воздуха через систему.

При этом на двигатели вентиляторов постоянно подавалось штатное напряжение порядка 230В, а расход воздуха составлял порядка 3100÷3200 м³/ч.

Для максимального приближения к условиям функционирования системы отопления в вагоне пригородного электропоезда, измерения проводились в достаточно холодном помещении с исходной температурой порядка 9°C. В процесс измерений помещение нагрелось, и температура увеличилась до 14,5°C.

Для случая переключения мощности нагрева с дискретного уровня 24 кВт на другой дискретный уровень - 16 кВт для обоих типов систем на стационарных участках наблюдались достаточно близкие температурные режимы (рис. 3).

Однако результаты замеров температуры в нестационарных режимах работы (после переключений мощности нагрева с одного дискретного уровня на другой и обратно) для этих систем принципиально различаются. Очевидно, что это связано с существенно большей инерционностью нагревательных систем на ТЭНах по сравнению с системами на открытых спиралях.

Постепенное (на несколько градусов) нарастание температуры воздуха в процессе измерений связано, очевидно, с повышением температуры в помещении в процессе проведения эксперимента.

Несколько же большие температуры, полученные на зависимостях, описывающих динамику изменения температуры воздуха, выходящего из

системы с инерционными нагревательными элементами, объясняются, видимо, тем, что у этих систем несколько большее аэродинамическое сопротивление, чем у систем на открытых спиралях. В результате расход воздуха через них несколько ниже, а температура его на выходе – несколько выше.

Практически так же ведут себя обе системы и при переключении уровней мощности нагрева с 8 кВт на 16 кВт и обратно (рис. 4). В поведении их на стационарных участках различия практически не наблюдаются, а течение нестационарных процессов, имеющих место после перехода с одного дискретного уровня мощности на другой, различается весьма существенно.

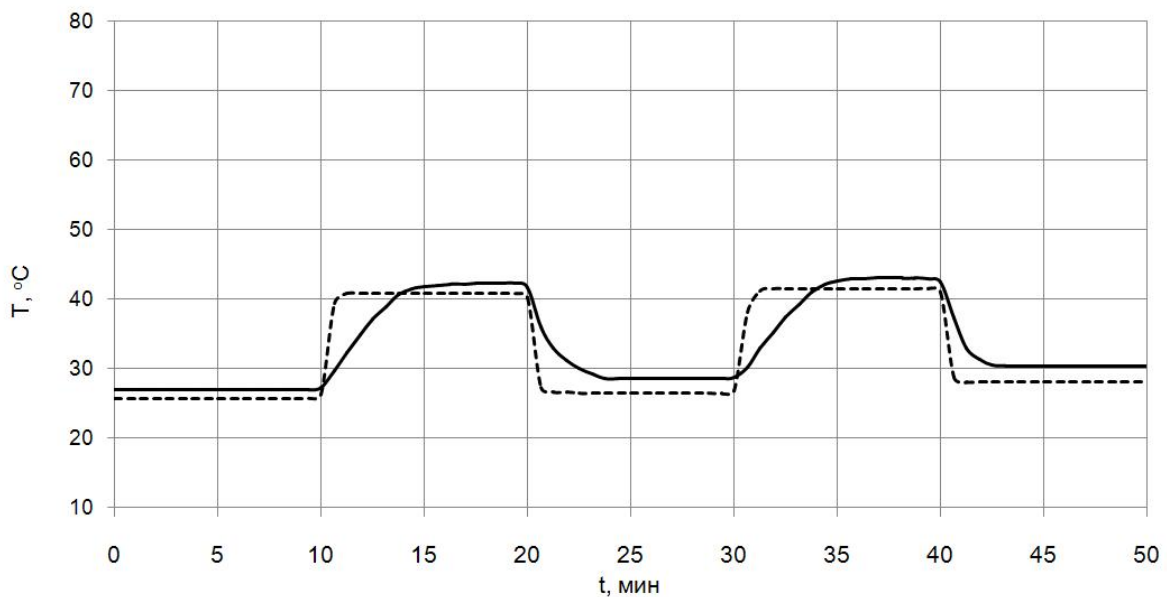


Рис. 4. Временная диаграмма температурного режима на выходе из системы отопления для пограничного режима 8 – 16 кВт при постоянном (для обоих дискретных уровней мощности) расходе воздуха $3100 \div 3200$ м³/ч. Выбранный интервал времени от одного переключения до следующего – 10 минут. Кривые — для нагревательных элементов на открытых спиралях, - - - для нагревательных элементов на ТЭНах

Следует только отметить, что при уровне мощности нагрева 8 кВт температура выходящего из системы воздуха опускается до примерно 25°C, что при работе в штатном режиме в составе вагона электропоезда создало бы весьма некомфортные условия для пассажиров. Причем температура в помещении, в котором проводились экспериментальные исследования, поднялась к моменту измерения этой температурной зависимости примерно до 12°C, что примерно равно, если даже не выше температуры смеси рециркуляционного и наружного воздуха в штатной системе отопления, работающей в аналогичном режиме. Таким образом, из выходных каналов штатной системы будет выходить воздух, как минимум, не более высокой температуры.

Еще хуже обстоит дело при работе в пограничном режиме 0 – 8 кВт (рис. 5). Температура в этом процессе поддерживается на максимальном уровне порядка 25°C при включенном напряжении нагрева. При такой температуре воздуха уже имеет место эффективная передача в салон тепловой энергии, однако при этом создается весьма значительный дискомфорт для пассажиров, на ноги которых попадает воздух такой температуры, движущийся со скоростью до 0,4 м/с.

Причем при выключении калорифера на открытых спиралях расход воздуха можно сразу убрать, в результате чего на ноги пассажиров воздух еще более низкой температуры попадать не будет (что и отражено в методике проведения данного эксперимента). В случае же системы на ТЭНах необходимо вводить задержку выключения вентагрегата после отключения напряжения нагрева. В этом случае, как и следует из данного эксперимента, воздух с температурой 10÷15°C, движущийся со скоростью до 0,4 м/с, будет попадать на ноги пассажиров.

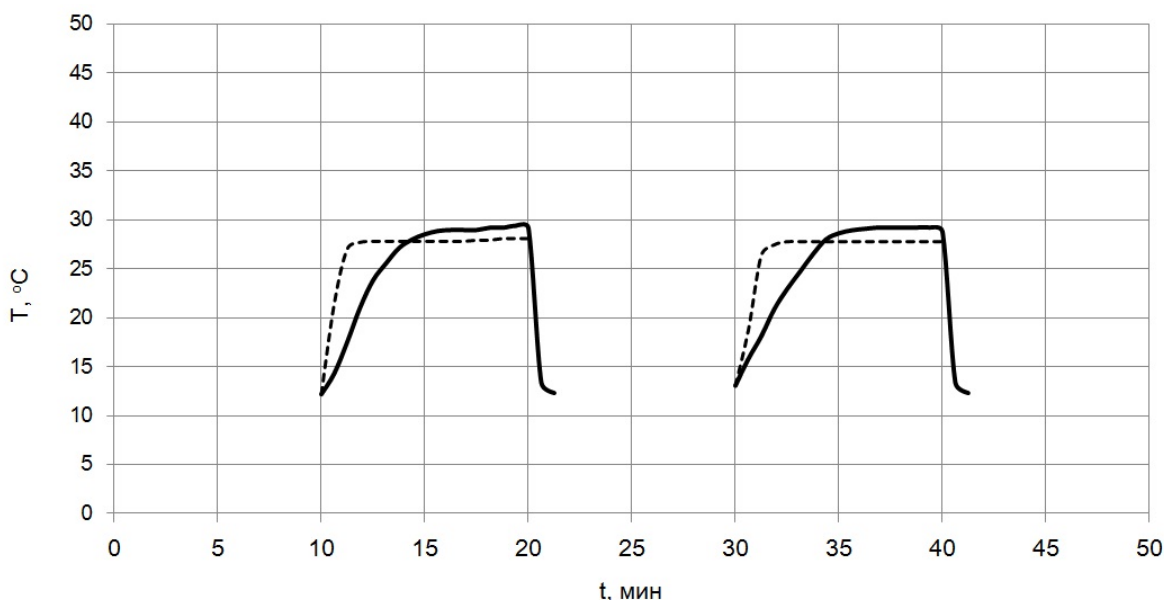


Рис. 5. Временная диаграмма температурного режима на выходе из системы отопления для пограничного режима 0 – 8 кВт при постоянном (для обоих дискретных уровней мощности) расходе воздуха $3100 \div 3200 \text{ м}^3/\text{ч}$. Выбранный интервал времени от одного переключения до следующего – 10 минут. Кривые — для нагревательных элементов на открытых спиралях, - - - для нагревательных элементов на ТЭНах

В процессе этих измерений одновременно фиксировалась собственно температура спиралей и ТЭНов. Эти измерения проводились с использованием пирометра, для чего в измерительной трубе было выполнено специальное открывающееся окно.

Во всех рассмотренных выше режимах температура открытых спиралей не превышала 90°C .

Температура ТЭНов при мощности нагрева 24 кВт достигала примерно 340°C , на уровне мощности 16 кВт – 310°C , а на нижней ступени мощности (8 кВт) – 280°C .

Дополнительно был проведен эксперимент с одновременным отключением мощности нагрева 24 кВт и вентагрегата. В течение 1,5 минут температура оболочки ТЭНов достигла величины, близкой к 450°C , после чего эксперимент был прекращен (включен вентагрегат), чтобы не вывести нагревательный блок из строя.

Следует отметить, что при температурах, измеренных на оболочках ТЭНов в рабочем режиме (особенно на максимальном уровне мощности), имеет место так называемый «эффект выжигания кислорода», особенно явно проявляющийся из-за большой площади поверхности оболочек ТЭНов. Тот факт, что температура открытых спиралей в тех же режимах многократно меньше (не более 90°C), позволяет (в порядке дискуссии), поставить на обсуждение вопрос о введении различных норм на обновление воздуха в зимний период времени при использовании различных типов нагревательных элементов. Это позволило бы существенно снизить потребление энергии на отопление вагона при использовании безынерционных отопителей на открытых спиралях за счет повышения температуры смеси наружного и рециркуляционного воздуха.

Полученные результаты позволяют прогнозировать поведение систем в пограничных режимах, при которых имеет место достаточно

частое переключение системы с одного уровня мощности нагрева на ближайший дискретный уровень.

4. Результаты измерений для случая изменяющегося по заданному закону расхода воздуха через систему при переходе с одного на другой уровень подаваемой на калорифер мощности нагрева

При работе штатной системы отопления, вентиляции и кондиционирования для различных диапазонов изменения температуры окружающей среды имеют место разные законы периодического переключения системы с одного уровня мощности нагрева на другой. В случаях, когда мощность нагрева салона вагона близка по уровню к мощности теплоотдачи салона (через изоляцию стен вагона, через открывающиеся двери), тепловой баланс устанавливается на длительный период времени и переключение режимов происходит достаточно редко.

При сильно различающихся уровнях мощности теплоотдачи салона и мощности нагрева воздуха тепловой баланс реализуется на достаточно короткий период времени и переключения происходят достаточно часто, иногда с периодичностью несколько минут.

Для экспериментального исследования длительного поведения систем с инерционными и безынерционными нагревательными элементами в случае задания определенного в табл. 1 закона изменения расхода воздуха был, как и в предыдущем случае, выбран некий средний интервал времени переключения режимов обогрева салона (порядка 10 минут).

Проведенное экспериментальное исследование дало результаты, практически полностью идентичные расчетным данным, полученным в работе [2]. Некоторое расхождение между рассчитанными теоретически (рис. 6, 7, 8 работы [2]) и экспериментальными зависимостями свелось

к небольшому (на $2\div 4^{\circ}\text{C}$) смещению экспериментальных зависимостей в область меньших температур по сравнению с расчетными зависимостями. Это связано с тем, что при расчетах [2] задавалась исходная температура воздуха на уровне нижней границы заданного для пригородных электропоездов интервала температур воздуха в салоне – плюс 14°C , а в данном эксперименте она изменялась от плюс 9°C в начале проведения измерений до плюс $12\div 13^{\circ}\text{C}$ в процессе проведения последних измерений.

Следует отметить, что в этом плане экспериментальные исследования проводились (в отличие от выполненных ранее расчетов [2]) в более приближенных к реальным температурным режимам. Ведь, фактически на вход вентагрегата и располагающегося следом за ним (по потоку воздуха) калориферу поступает не воздух из салона, а смесь наружного и рециркуляционного воздуха с более низкой, чем у воздуха в салоне, температурой.

Причем в пограничном режиме 16–24 кВт

снижение температуры такой смеси воздуха более значительно, чем в пограничном режиме 0–8 кВт, поскольку первый из них соответствует существенно более низкой температуре окружающей среды. При проведении же экспериментальных исследований аналогичная зависимость температуры входящего в систему воздуха сложилась за счет того, что испытания были начаты с уровня больших мощностей, а к моменту начала эксперимента на малых уровнях мощности температура в помещении повысилась на несколько градусов Цельсия.

Для пограничного режима 16 – 24 кВт (рис. 6), реализуемого, как правило, при температуре окружающей среды ниже минус 20°C , для систем с безынерционными нагревательными элементами **проскоки холодного воздуха отсутствуют**. На протяжении заданных интервалов времени от одного переключения режимов до другого система стабильно обеспечивает температуру выходящего из нее нагретого воздуха либо 43°C , либо 54°C .

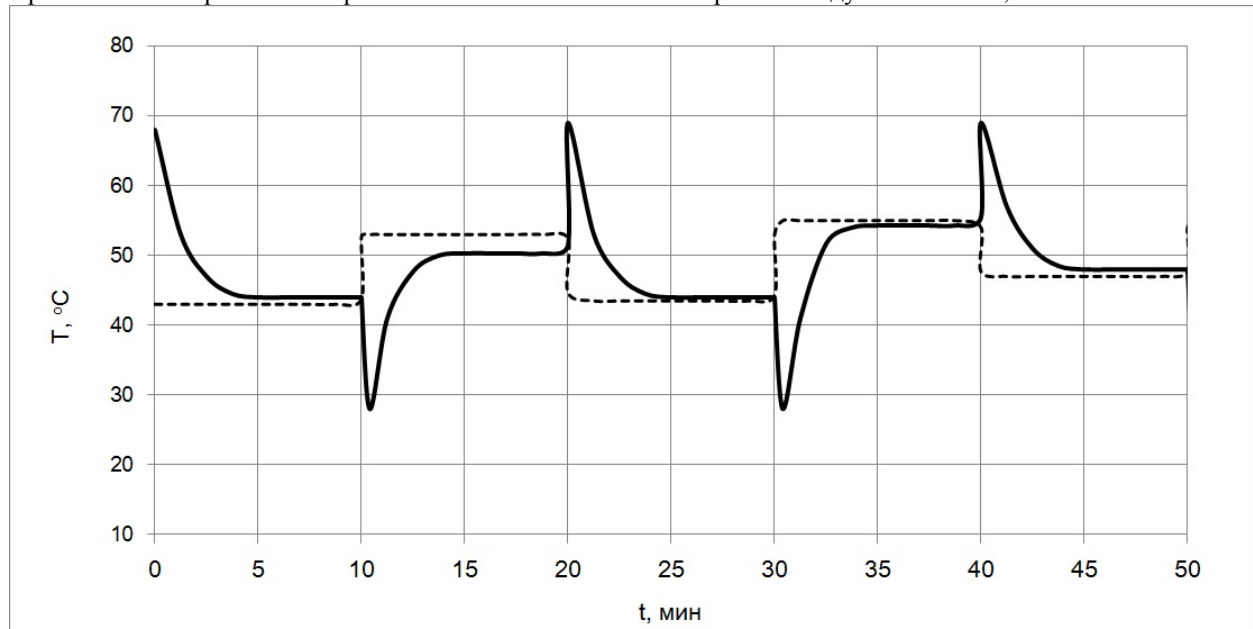


Рис. 6. Временная диаграмма температурного режима на выходе из системы отопления для пограничного режима 16–24 кВт и заданного закона изменения расхода воздуха. Выбранный интервал времени от одного переключения до следующего – 10 минут. Кривые — для нагревательных элементов на открытых спиралях, - - - для нагревательных элементов на ТЭНах

Первоначально измерения проводились для системы с инерционными нагревательными элементами. Как и в расчете, при переключении режимов работы имели место существенные выбросы температуры выходящего из нее нагретого воздуха.

За счет небольшого снижения (по сравнению с принятой в расчете) температуры входящего в систему воздуха, при переходе с большего уровня мощности на меньший уровень наблюдалось anomальное повышение температуры уже не до 71°C (как это было в расчете), а всего до 68°C .

Тем не менее, воздух и такой температуры должен создать в реальной ситуации достаточно дискомфортные ощущения для пассажиров.

В течение $3\div 3,5$ минут происходило установление температуры на уровне $\sim 43^{\circ}\text{C}$ и остальные 70%

времени от 10-минутного интервала (до следующего переключения режима) температура стабильно держалась на установившемся стационарном уровне.

При последующем переключении с меньшего уровня мощности на больший уровень, так же, как и в расчете, наблюдалось anomальное снижение температуры, но уже не до 32°C , а до 28°C . Это уже достаточно дискомфортная температура воздуха, движущегося мимо ног пассажиров со скоростью до $0,4$ м/с.

Следует, правда отметить, что такая температура воздуха сохраняется в этом режиме считанные секунды (как, впрочем, и anomальный верхний выброс температуры до 68°C).

Выход на температуру выше $36,6^{\circ}\text{C}$ проходит за время менее 1 минуты, а затем в течение

последующих 3,5 минут происходит установление температуры и еще 7 минут из системы выходит нагретый воздух с температурой 53°C. И так далее.

Это позволяет сделать вывод, что данный пограничный режим с выбранным законом изменения расхода воздуха, очевидно, доставит пассажирам электропоезда минимальные неудобства даже при использовании систем с инерционными нагревательными элементами.

Для системы же с безынерционными нагревательными элементами (на открытых спиралях) аномальные выплески температуры в пограничных режимах (ни при увеличении, ни при

снижении мощности) не наблюдаются. Полученная температурная зависимость имеет вид классического симметричного меандра, температура выходящего из системы воздуха находится каждые очередные 10 минут на одном из двух стационарных уровней - с момента каждого из переключений до следующего изменения режима.

Для пограничного режима 8–16 кВт (рис. 7), реализуемого обычно при температуре окружающей среды минус 5÷10°C, получены качественно идентичные представленным выше результаты.

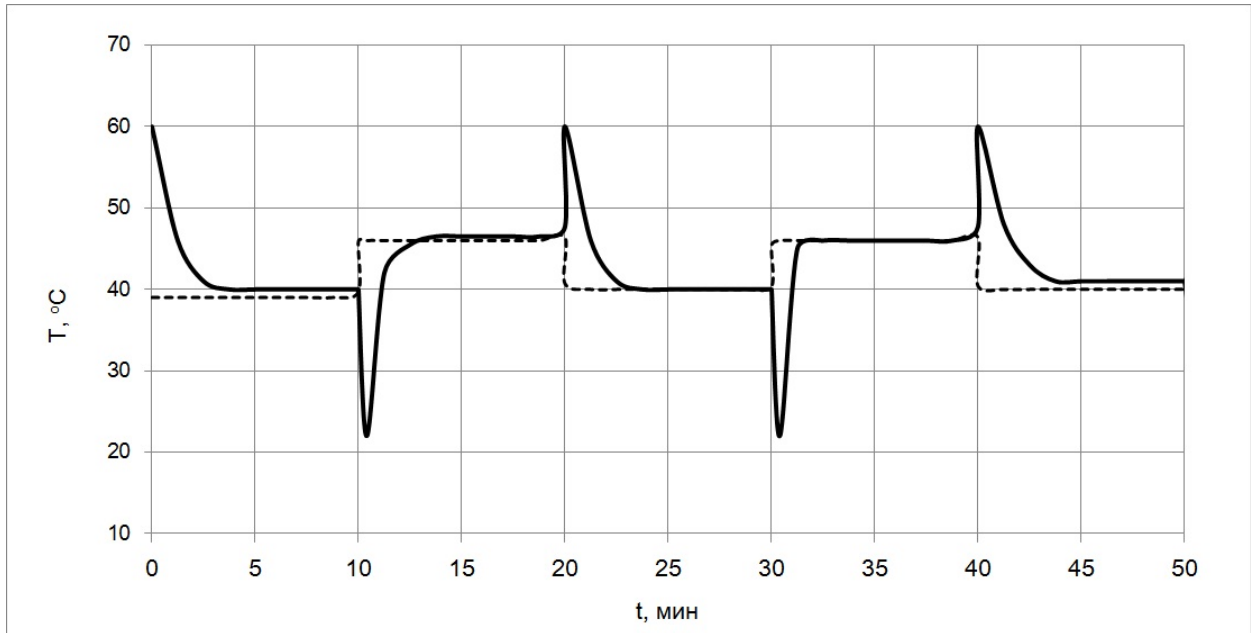


Рис. 7. Временная диаграмма температурного режима на выходе из системы отопления для пограничного режима 8–16 кВт и заданного закона изменения расхода воздуха. Выбранный интервал времени от одного переключения до следующего – 10 минут. Кривые — для нагревательных элементов на открытых спиралях, - - - для нагревательных элементов на ТЭНах

Однако уровень температур в стационарных режимах здесь существенно ниже, а, соответственно, при использовании систем с инерционными нагревательными элементами создаются весьма дискомфортные условия для пассажиров при переходе с меньшего на больший уровень нагрева. Температура на аномальном нижнем выплеске температуры достигает 22°C и на относительно комфортный для пассажиров уровень выходит в течение примерно 2 минут. Таким образом, и с предложенным законом соответствия расхода воздуха и мощности нагрева (равно как и с любым другим) нежелательного феномена «проскоков холодного воздуха» избежать не удастся.

Система же с безынерционными элементами на открытых спиралях стабильно поддерживает температуру выходящего из системы воздуха на двух дискретных уровнях, соответственно, 40°C и 46°C, что и позволяет с использованием такой системы и соответствующего закона соответствия расхода воздуха и мощности нагрева полностью исключить данный феномен.

Экспериментальное исследование пограничного

режима 0–8 кВт (рис. 8) выявило еще большие различия в поведении систем с инерционными и безынерционными нагревательными элементами. В эксперименте моделировались реальные условия работы системы с инерционными нагревательными элементами на ТЭНах, в алгоритм функционирования которой была введена временная задержка выключения вентилятора после выключения подаваемого на нагревательные элементы высокого напряжения (что представляется необходимым для обеспечения относительно надежной работы самих ТЭНов).

В эксперименте же, направленном на исследование стационарного и нестационарного поведения системы с безынерционными нагревательными элементами на открытых спиралях эта задержка не моделировалась, поскольку введение такого режима для подобных систем не требуется. Для полного охлаждения спиралей вполне хватает остаточного потока воздуха от выключенных одновременно с отключением напряжения нагрева вентиляторов, и сами спирали не дают аномального выброса температуры после снятия с них напряжения.

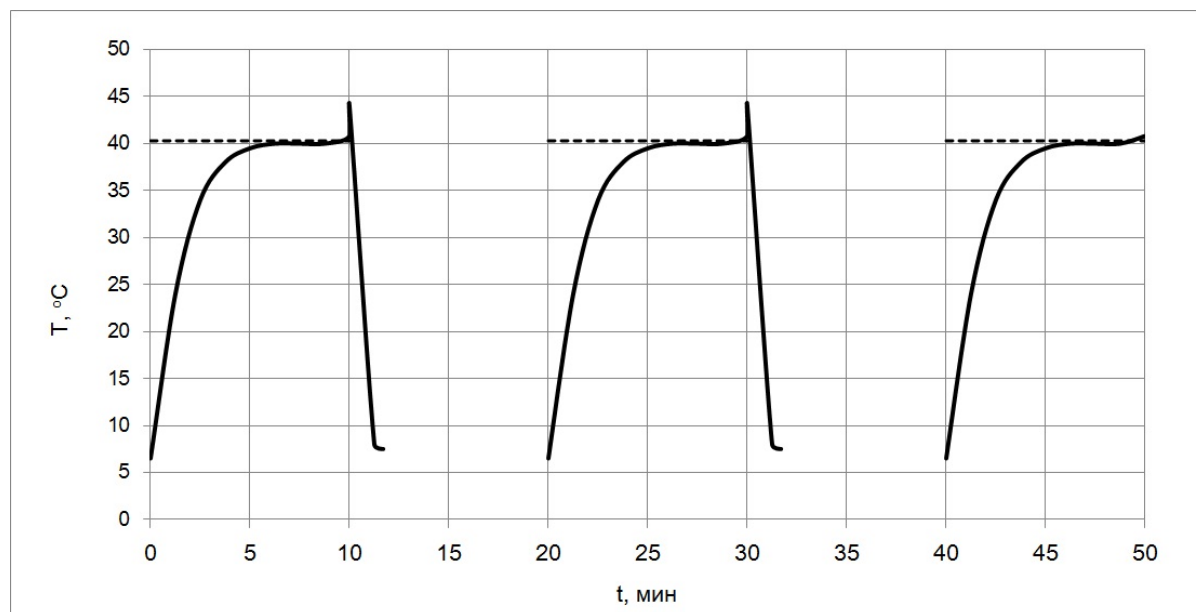


Рис. 8. Временная диаграмма температурного режима на выходе из системы отопления для пограничного режима 0–8 кВт и заданного закона изменения расхода воздуха. Выбранный интервал времени от одного переключения до следующего – 10 минут. Кривые — для нагревательных элементов на открытых спиралях, - - - - для нагревательных элементов на ТЭНах

Измерения, проведенные в этом пограничном режиме для систем с нагревательными элементами на ТЭНах, показали, что при отключении напряжения нагрева температура движущегося воздуха в течение примерно 30 секунд опускается до некомфортного уровня – ниже $30 \div 32^\circ\text{C}$.

Далее спад продолжается до достижения температуры входящего в систему воздуха (в данном эксперименте и в штатных режимах работы существующей системы примерно $10 \div 12^\circ\text{C}$). Воздух такой температуры, движущийся со скоростью до 0,4 м/с продолжает попадать на ноги пассажиров до момента завершения заданного времени задержки выключения вентиляторов (после выключения подаваемого на нагревательные элементы высокого напряжения).

После подачи напряжения нагрева начинается разогрев собственно самих ТЭНов, но воздух от них нагревается достаточно медленно. В результате подъем температуры воздуха до относительно комфортного уровня - выше $30 \div 32^\circ\text{C}$ продолжается в течение примерно 2 минут, в течение которых на ноги пассажиров продолжает поступать воздух более низкой и увеличивающейся по мере нагрева температуры - от $10 \div 12^\circ\text{C}$ до $30 \div 32^\circ\text{C}$.

Оба этих нестационарных процесса – и в режиме нагрева, и в режиме остывания ТЭНов создают наиболее дискомфортные условия, наиболее дискомфортный из всех описанных выше режим, в котором имеют место наиболее неприятные для пассажиров «проскоки холодного воздуха».

Следует, правда, отметить, что в существующих системах, в которых пока не реализуется данный закон соответствия расхода воздуха и мощности нагрева при использовании инерционных систем и существующего алгоритма работы, «про-скоки холодного воздуха» создают еще более дискомфортные условия. В режимах малых уровней мощности расход воздуха в них больше, а

соответственно, температура его в среднем ниже, нагрев воздуха происходит медленнее, а остывание – быстрее.

В безынерционных же системах на открытых спиралях с использованием предложенного закона изменения расхода воздуха «проскоки холодного воздуха» исключаются полностью, в зону некомфортных температур выходящий из системы движущийся воздух не выходит ни в одном из рассматриваемых выше режимов.

Даже в последнем из рассматриваемых в данной работе пограничных режимов (0-8 кВт) такие калориферы стабильно удерживают температуру выходящего из системы воздуха на комфортном уровне 40°C в течение выбранных десятиминутных интервалов включения и напряжения нагрева, и вентиляторов. А в течение последующих 10 минут между циклами нагрева воздух из выходных каналов системы отопления в салон не поступает.

В заключение этого раздела следует отметить, что еще более неприятные последствия при использовании систем с инерционными нагревательными элементами наблюдаются в режимах, где мощность тепловых потерь салона вагона находится примерно посередине между двумя соседними уровнями мощности нагрева системы.

В этом случае длительность интервалов времени между двумя соседними переключениями режимов будет минимальной, и для инерционных систем динамика изменения температуры будет представлена набором нестационарных процессов, практически без интервалов стационарного поведения системы между ними.

5. Выводы

В представленной работе проведено экспериментальное исследование переходных нестационарных процессов при работе современных систем отопления, вентиляции и кондиционирования салонов вагонов электропоездов. Анализ проводился для двух вариантов реализации режимов нагрева салона:

- сначала для существующего варианта, в котором при всех дискретных уровнях мощности нагрева расход воздуха постоянен;

- затем - для предложенного в работе [1] модельного режима, предназначенного для исключения, так называемых, «проскоков холодного воздуха», и строящегося на предложенном [1, 2] законе изменения расхода воздуха по дискретным уровням мощности нагрева.

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили, что предложенный режим, безусловно, исключает это явление для всех стационарных режимов работы этих систем, что обеспечивается соответствующим синтезом закона соответствия мощности нагрева и расхода воздуха, осуществляющего передачу тепло-вой энергии от калорифера в салон вагона.

Однако в нестационарных режимах работы, возникающих при автоматическом переключении режимов работы системы, исключение данного явления («проскоков холодного воздуха») возможно только в случае использования систем с безынерционными электрокалориферами с нагревательными элементами в виде открытых спиралей.

На инерционных в тепловом отношении калориферах с нагревательными элементами в виде трубчатых электронагревателей (ТЭНов) на основе предложенного закона возможно лишь относительно небольшое снижение дискомфортных ощущений пассажиров электропоезда, за счет некоторого снижения скорости движения воздуха и уменьшения времени пребывания в движущемся воздухе некомфортно низкой температуры.

Полное исключение этого эффекта в системах с инерционными нагревательными элементами невозможно из-за описанного выше поведения таких

систем в нестационарных процессах перехода с одного режима работы на соседний. В этих пограничных режимах инерционные системы характеризуются значительными выбросами температуры:

- как в область более высоких температур (при переключении с большего уровня мощности на меньший уровень),

- так и в область низких температур (при переходе с меньшего на больший уровень мощности). Это обусловит климатический дискомфорт в вагоне и в предложенном в работах [1, 2] режиме работы, позволяющем кардинально решить проблему с «проскоками холодного воздуха» при использовании безынерционных нагревательных систем.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования полностью подтвердили сделанные ранее на основании предварительных экспериментов и оценочных расчетов выводы о принципиальной возможности решения задачи исключения феномена «проскоков холодного воздуха».

Разумеется, при реализации предложенного решения потребуются более строгие количественные расчеты, оперирующие кроме факторов, учтенных в [1, 2] и предлагаемой работе, еще и соотношением (в попадающей на вход калорифера воздушной смеси) количества наружного и рециркуляционного воздуха.

Возможно, даже сами эти соотношения можно будет несколько изменить, например, в связи с отсутствием при использовании систем на открытых спиралях эффекта «выжигания кислорода».

Однако по итогам проведенных теоретических и экспериментальных исследований не остается никаких сомнений в том, что предложенные варианты решения задачи исключения феномена «проскоков холодного воздуха» абсолютно действительны, реалистичны и достаточно легко реализуемы. Не вызывает никаких сомнений, что предложенные на физическом уровне решения могут стать основой последующего создания климатического оборудования, обеспечивающего максимально комфортные условия для пассажиров электропоездов.

Библиографический список.

1. Безрукавный С.В., Явчуновский В.Я. Проблемы стабилизации температуры воздуха в вагонах электропоездов в режиме стационарного обогрева Часть 1. Анализ источников неустойчивости теплового режима и разработка подходов к решению проблемы. // Вопросы прикладной физики. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. Вып. 19. 2012. С.14-25.
2. Безрукавный С.В., Явчуновский В.Я., Козлов А. В. Проблемы стабилизации температуры воздуха в вагонах электропоездов в режиме стационарного обогрева. Часть 2. Анализ переходных процессов, возникающих при переключении режимов стационарного обогрева. // Вопросы прикладной физики. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. Вып. 19. 2012. С. 25-32.
3. Козлов А.В., Шаповалов А.С., Явчуновский В.Я. Сравнительный анализ характеристик открытых спиралей и ТЭНов в составе электронагревательных приборов. Часть 1. Расчет тепловых полей в стационарных и нестационарных тепловых режимах// Вопросы прикладной физики. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. Вып. 15. 2008. С. 53-58.
4. Козлов А.В., Шаповалов А.С., Явчуновский В.Я. Сравнительный анализ характеристик открытых спиралей и ТЭНов в составе электронагревательных приборов. Часть 2. Экспериментальное исследование стационарных и нестационарных режимов// Вопросы прикладной физики. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. Вып. 15. 2008. С. 58-63.
5. Козлов А.В. Исследование нелинейных теплофизических характеристик открытых спиралей и трубчатых

электронагревателей, реализуемых в нестационарных режимах их работы.// Естественные и технические науки. 2010. № 4, С. 41.-45.

6. Мирошник А.В., Явчуновский В.Я. Климат – контроль, как наиболее эффективный подход к энергосбережению на городском электротранспорте. Часть 1. Экспериментальные данные и предварительные расчеты// Вопросы прикладной физики. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. Вып. 18 .2012. С.3-16

7. Мирошник А.В., Явчуновский В.Я., Козлов А.В. Климат – контроль, как наиболее эффективный подход к энергосбережению на городском электротранспорте. Часть 2. Теоретическая оценка энергопотребления// Вопросы прикладной физики. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. Вып.18. 2012. С.16-22

**THE PROBLEMS OF AIR TEMPERATURE STABILIZING IN ELECTRIC TRAIN CARRIAGES
IN A STATIONARY HEATING MODE
PART 3. THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TRANSIENTS
ARISING WITH SWITCHING STATIONARY HEATING**

Bezrukavny S. V., Yavchunovsky V.Y., Kozlov A.V., Shatunov D. A.

The analysis of physical phenomena, underlying one of the most serious arising while the winter season electric trains carriages heating - the so-called "breakthrough of cold air" problems have been described in the first part of this work. Sufficiently simple and effective method of stabilizing the temperature of exhaust air from the heating system proposed in the paper. In the second part of the article the investigation of transients, arising with switching stationary heating had been carried out, fundamental differences in the dynamics of non-stationary processes implemented in heating systems with inertial and the inertialless heating elements are shown. The experimental investigation of non-stationary processes associated with the above-mentioned transients is carried out in support of calculation results in the third part of article.

АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТА КОЛЛЕКТИВНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ МОДУЛЯЦИОННЫХ СПЕКТРОВ ЧАСТОТНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ МНОГОДИОДНОГО ГЕНЕРАТОРА СВЧ

А.С. Шаповалов, Л.М. Минкин, С.А. Шаповалов

Саратовский государственный университет

Шаповалов Александр Степанович,

д.ф.-м.н., профессор кафедры прикладной физики

Portland State University, USA

Минкин Леонид Моисеевич, профессор

Саратовское электроагрегатное производственное объединение

Шаповалов Степан Александрович, инженер

Анализируются особенности трансформации модуляционных спектров частотных флуктуаций ансамбля генерирующих диодных модулей в шумы выходного сигнала многодиодного СВЧ генератора. Исследуются зависимости коэффициента коллективной трансформации от частоты, числа диодов, модуляционной чувствительности генератора, свойств его электродинамической системы, стратегии настройки.

В работе [1] для анализа физического механизма и особенностей трансформации шумов генерирующих диодных модулей в амплитудно-частотные флуктуации выходного сигнала многодиодного СВЧ генератора (сумматора мощности) введены в рассмотрение коэффициенты коллективной трансформации (ККТ) флуктуаций. Теоретический и практический интерес к этим коэффициентам обуславливается тем, что по своему физическому смыслу они являются коэффициентами подавления или усиления шумов отдельных модулей в процессе их трансформации в шумы выходного сигнала многодиодного генератора.

Анализ коэффициентов двух самых многочисленных по составу групп, описывающих трансформацию амплитудных и амплитудно-частотных спектров флуктуаций, проведён в работе [2]. В данной статье приводятся результаты исследования коэффициента коллективной трансформации модуляционных спектров флуктуаций частоты. Выражение для этого коэффициента существенно отличается от аналогичных соотношений для коэффициентов двух указанных выше групп, что означает принципиальное отличие особенностей процесса трансформации частотных флуктуаций модуляционного происхождения от подобных процессов, рассмотренных в [2]. Формально этот коэффициент образует самостоятельную группу, которую условно можно назвать третьей.

ККТ частотных модуляционных шумов $G_{vlf}(\Omega)$ определяется как отношение спектральной плотности $S_{vlfN}(\Omega)$ частотных флуктуаций N -диодного генератора к аналогичной величине $S_{vlf1}(\Omega)$ для однодиодного генератора [1]

$$G_{vlf}(\Omega) = \frac{S_{vlfN}(\Omega)}{S_{vlf1}(\Omega)}.$$

В этом выражении символом Ω обозначена круговая частота отстройки модуляционного шума от несущей, а индексы lf означают низкочастотное происхождение спектров.

Расчёты показали, что соотношение для коэффициента $G_{vlf}(\Omega)$ зависит, прежде всего, от стратегии настройки генератора в процессе увеличения числа диодов.

Если при увеличении числа диодов настройка генератора осуществляется путём изменения связи диодных модулей с суммирующим резонатором (в [1] этот способ назван вторым), то коэффициент $G_{vlf}(\Omega)$ зависит только от числа диодов N и равен

$$G_{vlf}(\Omega) = \frac{1}{N}.$$

Если в процессе увеличения числа диодов настройка генератора осуществляется первым (наиболее простым и удобным) способом, когда изменяется связь суммирующего резонатора с нагрузкой, то ККТ частотных модуляционных шумов зависит от множества параметров генератора и имеет вид

$$G_{vlf}(\Omega) = \frac{a^2 \left(p_1^2 a^2 + b^2 \Omega^2 \right) \left(p_1^2 + \Omega^2 \right)}{N \left(p_1^2 + b^2 \Omega^2 \right) \left(p_1^2 a^2 + \Omega^2 \right)}, \quad (1)$$

где

$$a = N(q_\phi + 1) / (q_\phi + N), \quad (2)$$

$$b = 1 + q_1 \frac{K_{\alpha m1}}{K_{vm1}}, \quad (3)$$

a - параметр, определяющийся числом диодов и фиксирующей способностью контура; $q_\phi = X'_p / X'_1$ - параметр фиксирующей способности контура, равный отношению фиксирующей способности суммирующего резонатора к внесённой фиксирующей способности диодного модуля в однодиодном генераторе [3]; X_p - реактивная часть импеданса суммирующего резонатора, X_1 - реактивная часть импеданса диодного модуля, пересчитанная в контур суммирующего резонатора; штрих над символами означает производную по частоте (фиксирующую способность); b - параметр, определяемый неизохронностью q_1 , амплитудной $K_{\alpha m1}$ и час-

точной K_{vml} модуляционной чувствительностью однодиодного генератора [4].

Из (1) следует, что при первом способе настройки многодиодного генератора исследование ККТ частотных модуляционных шумов $G_{vlf}(\Omega)$ представляет довольно сложную задачу, так как он зависит от многочисленной группы параметров: $N, q_\phi, p_1, q_1, K_{aml}, K_{vml}, \Omega$. Предварительный анализ выражения для $G_{vlf}(\Omega)$ проводился в работе [5]. Там, в частности, были определены частные случаи, в которых зависимость коэффициента $G_{vlf}(\Omega)$ от частоты отстройки Ω отсутствует. В общем же случае эта зависимость имеет место и представляет существенный теоретический и практический интерес, так как функция $G_{vlf}(\Omega)$ имеет экстремумы.

Рассмотрим влияние динамических параметров генератора $N, q_\phi, p_1, q_1, K_{aml}, K_{vml}$ на характер зависимости $G_{vlf}(\Omega)$ от частоты Ω и величину коэффициента $G_{vlf}(\Omega)$. Для удобства анализа выделим в правой части (1) частотный множитель, равный

$$\frac{G_{vlf}(\Omega)}{G_{vlf}(0)} = \frac{(p_1^2 a^2 + b^2 \Omega^2)(p_1^2 + \Omega^2)}{(p_1^2 + b^2 \Omega^2)(p_1^2 a^2 + \Omega^2)}, \quad (4)$$

где

$$G_{vlf}(0) = \frac{a^2}{N}. \quad (5)$$

При известном значении частотного множителя (4), вычисление ККТ модуляционных частотных шумов сводится к простому умножению указанного множителя на величину $G_{vlf}(0)$, определяемую выражением (5).

Параметр p_1 входит в выражение для $G_{vlf}(\Omega_0)/G_{vlf}(0)$, явным образом и позволяет ввести в рассмотрение приведенную (нормированную) частоту отстройки Ω/p_1 , а выражение (4) представить в виде

$$\frac{G_{vlf}(\Omega)}{G_{vlf}(0)} = \frac{\left[a^2 + b^2 \left(\frac{\Omega}{p_1} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{\Omega}{p_1} \right)^2 \right]}{\left[1 + b^2 \left(\frac{\Omega}{p_1} \right)^2 \right] \left[a^2 + \left(\frac{\Omega}{p_1} \right)^2 \right]}. \quad (6)$$

С величинами $N, q_\phi, q_1, K_{aml}, K_{vml}$ частотный множитель $G_{vlf}(\Omega_0)/G_{vlf}(0)$, связан сложной функциональной зависимостью. Указанные величины определяют обобщенные параметры генератора a и b , которые определяются соотношениями (2) и (3) и входят в правые части выражений (1) и (6). Таким образом, наиболее общий и в то же время наиболее простой способ исследования зависимости ККТ модуляционных частотных шумов от величин $N, q_\phi, q_1, K_{aml}, K_{vml}$, заключается в анализе зависимости частотного множителя $G_{vlf}(\Omega_0)/G_{vlf}(0)$, от без-

размерной частоты отстройки Ω/p_1 при различных значениях обобщенных параметров генератора a и b .

Для проведения указанного анализа оценим пределы возможного изменения обобщенных параметров a и b . Коэффициент коллективной трансформации модуляционных частотных шумов $G_{vlf}(\Omega)$ и частотный множитель $G_{vlf}(\Omega_0)/G_{vlf}(0)$, зависят от квадратов обобщенных параметров a^2 и b^2 . Поэтому знак этих параметров не влияет на вид кривой частотной зависимости. В дальнейшем под a и b будем понимать абсолютные значения обобщенных параметров. Из выражения (2) для a следует, что при фиксированном N и увеличении параметра фиксирующей способности контура q_ϕ от 0 до ∞ величина a возрастает от 1 до N . При фиксированном q_ϕ увеличение числа диодов вызывает монотонный рост параметра a . Эта величина всегда положительна, так как представляет собой отношение прочности предельного цикла соответственно N -диодного и однодиодного генераторов [5]. Кривые зависимости обобщенного параметра a от числа диодов N при $q_\phi=0; 0,5; 1; 2; 3; 4; 6; 10; \infty$ представлены на рис. 1.

Абсолютная величина обобщенного параметра b , как видно из соотношения (3), неограниченно возрастает с увеличением неизохронности q_1 , амплитудной модуляционной чувствительности K_{aml} и уменьшением частотной K_{vml} модуляционной чувствительности однодиодного генератора и может иметь любой знак.

$a(N, q_\phi)$

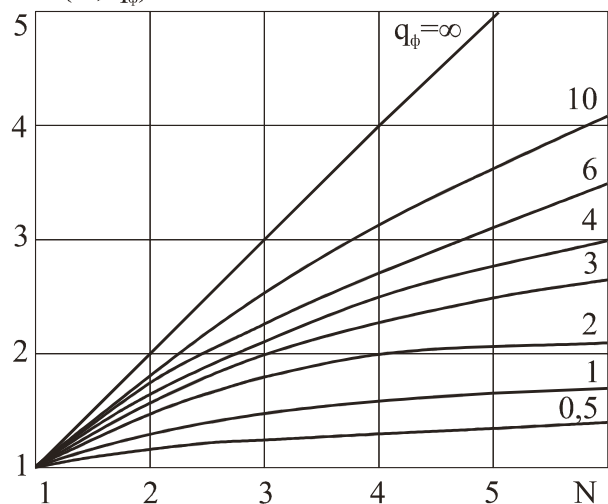


Рис. 1.

Проанализируем зависимость множителя $G_{vlf}(\Omega_0)/G_{vlf}(0)$, от частоты модуляции Ω . Из (4) и (6) нетрудно видеть, что частотный множитель $G_{vlf}(\Omega_0)/G_{vlf}(0)$, а следовательно, и ККТ $G_{vlf}(\Omega)$, не зависят от частоты только в отдельных частных случаях, реализующихся, например, при $a=1$ (это будет иметь место, когда $q_\phi \ll 1$) или $b=1$ (это равенство выполняется, когда $q_1 \ll 1$ или $K_{aml} \ll K_{vml}$). В общем же случае указанные величины зависят от частоты модуляции Ω . Особенность частотной зависимости множителя $G_{vlf}(\Omega_0)/G_{vlf}(0)$, заключается в том, что при $\Omega=0$ и при $\Omega=\infty$ он одинаков и равен 1. Следовательно, при

некотором $\Omega=\Omega_0$ указанная зависимость имеет экстремум. Приравнявая к 0 производную от $G_{vlf}(\Omega_0)/G_{vlf}(0)$, по частоте Ω , нетрудно получить условие экстремумы, которое, как следует из расчёта, справедливо лишь при $a \neq 1$ и $b \neq 1$

$$\Omega_0^4 = \frac{a^2}{b^2} p_1^4.$$

Как исследовало ожидать, положение экстремума определяется модулями обобщённых параметров a и b . Частота Ω_0 , на которой наблюдается экстремум, равна

$$\Omega_0 = \sqrt{\frac{a}{b}} p_1. \tag{7}$$

Подстановка (7) в (6) даёт следующее выражение для экстремального значения частотного множителя $G_{vlf}(\Omega_0)/G_{vlf}(0)$,

$$\frac{G_{vlf}(\Omega_0)}{G_{vlf}(0)} = \left(\frac{a+b}{ab+1} \right)^2. \tag{8}$$

Элементарный анализ (8) показывает, что при $a>1$ и $b>1$ в точке $\Omega=\Omega_0$ наблюдается минимум и $G_{vlf}(\Omega_0)/G_{vlf}(0)<1$, а при $a>1$ и $b<1$ эта точка соответствует максимуму и $G_{vlf}(\Omega_0)/G_{vlf}(0)>1$.

Рассмотрим подробнее случай, когда $a>1$ и $b>1$, и кривые для частотного множителя имеют минимум.

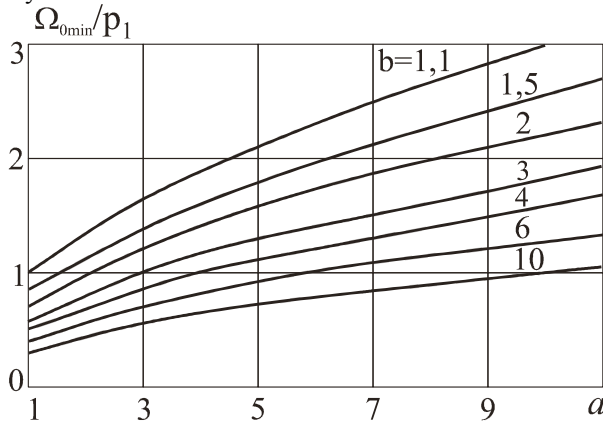
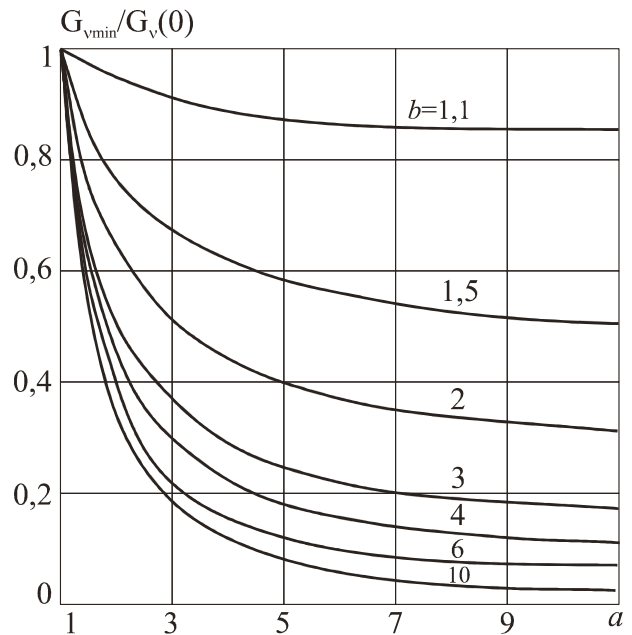


Рис. 2.

На рис. 2 показаны кривые зависимости приведённой частоты модуляции Ω_{0min}/p_1 , соответствующей минимуму частотного множителя, от величины параметра a при $b=1,1; 1,5; 2; 3; 4; 6; 10$. Кривые показывают, что при изменении параметров a и b в довольно широких пределах (на порядок) величина Ω_{0min}/p_1 изменяется не столь существенно (примерно в 3 раза). Значения Ω_{0min}/p_1 монотонно увеличиваются с ростом параметра a и уменьшаются



ем параметра b . Важной особенностью кривых является то, что при $b>a$ минимумы частотных шумов могут наблюдаться при $\Omega_{0min}/p_1 < 1$, то есть при малой отстройке от несущей.

Возможные значения частотного множителя, соответствующие Ω_{0min}/p_1 , иллюстрирует рис. 3. На этом рисунке приведены кривые зависимости минимального значения частотного множителя $G_{vmin}/G_v(0)$, соответствующие $\Omega=\Omega_{0min}$, от величины параметра a при $b=1,1; 1,5; 2; 3; 4; 6; 10$. Кривые показывают довольно резкую зависимость $G_{vmin}/G_v(0)$ от величины параметра b при фиксированных значениях параметра a , лежащих в пределах от 2 до 10. Зависимость $G_{vmin}/G_v(0)$ от величины a становится резкой лишь при $b > 1,5 \div 2$.

Рис. 3.

Типичные кривые зависимости частотного множителя ККТ модуляционных частотных шумов $G_{vlf}(\Omega_0)/G_{vlf}(0)$, от приведённой частоты модуляции Ω/p_1 , имеющие минимумы (то есть соответствующие $a>1$ и $b>1$), изображены на рис. 4. Указанные кривые построены для $a=3$ и $b=1,5; 3; 10$. В спектре модуляционных частотных флуктуаций вблизи несущей наблюдается область существенного подавления частотного шума. При $a=3$ и $b=10$ ширина полосы подавления шума, определяемая как расстояние (в единицах частоты) между точками, в которых $G_{vlf}(\Omega_0)/G_{vlf}(0)=0,5$, близка к $3p_1$. При $a=b=3$ ширина полосы подавления уменьшается и приближается к $1,5p_1$.

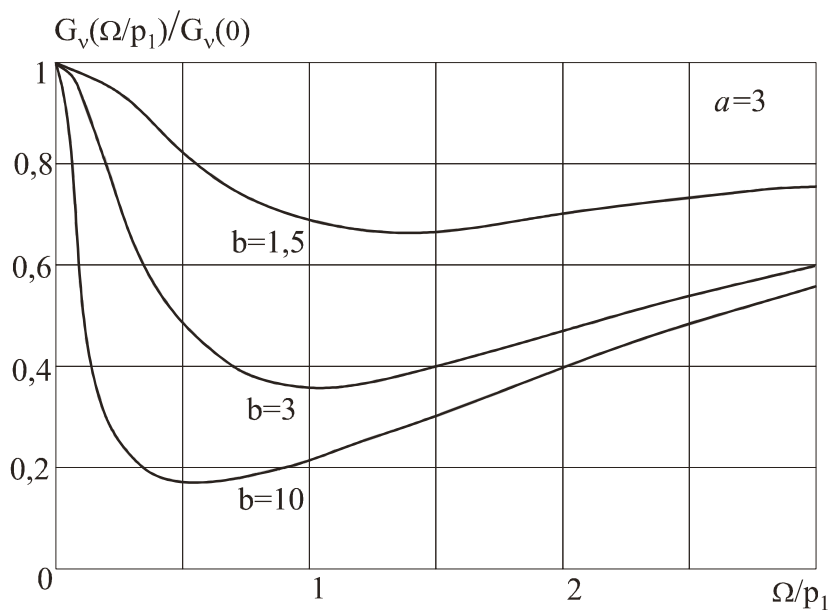


Рис. 4.

Теперь остановимся на случае, когда кривые для частотного множителя имеют максимумы, то есть наблюдается усиление модуляционного частотного шума. Этот случай реализуется при $a > 1$ и $b < 1$.

Положение максимумов кривой частотного множителя, как и в предыдущем случае, определяется выражением (7). Результаты расчёта приведённой частоты Ω_{0max}/p_1 , соответствующей максимуму частотного множителя $G_{vlf}(\Omega_0)/G_{vlf}(0)$, иллюстрируются рис. 5. Кривые этого рисунка показывают зависимость Ω_{0max}/p_1 от величины обобщённого параметра a при $b=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,8$. По мере увеличения параметра a и уменьшения величины b максимумы кривых смещаются в сторону более высоких частот модуляции. Величина Ω_{0max}/p_1 всегда больше 1. В отличие от случая подавления шумов, рассмотренного выше, максимальные уровни модуляционных частотных шумов наблюдается при значительно более высоких частотах отстройки.

Максимальные значения частотного множителя $G_{vmax}/G_v(0)$, представлены на рис. 6 в виде кривых зависимости его величины от a при $b=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,8$.

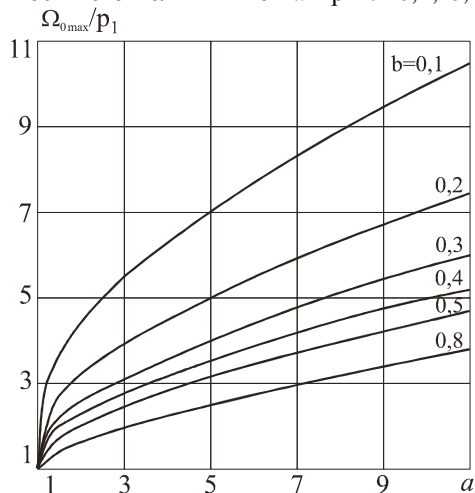


Рис. 5.

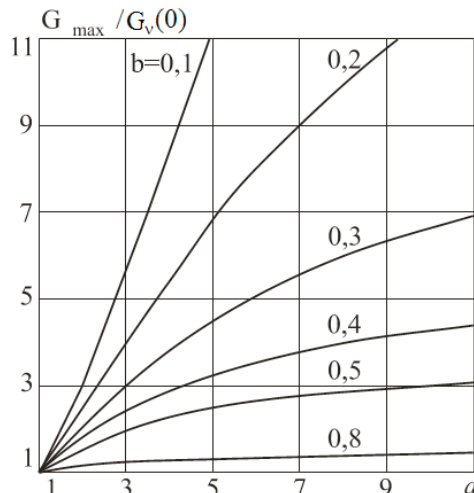


Рис. 6.

0,4; 0,5; 0,8. Кривые показывают, что величина G_{vmax} может превышать уровень $G_v(0)$ на порядок.

Типичные кривые зависимости частотного множителя $G_{vlf}(\Omega/p_1)/G_{vlf}(0)$ от приведённой частоты модуляции Ω/p_1 при $a > 1$ и $b < 1$ показаны на рис. 7 и 8.

Кривые рис. 7. построены для $a=2$ и $b=0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,8$. Кривые рис.8 соответствуют $a=3$ и $b=0; 0,2; 0,3; 0,5; 0,8$. Как следует из указанных рисунков, кривые усиления частотного шума имеют максимумы только при $b \neq 0$. При этом вблизи несущей ($\Omega/p_1 < 1$) и на значительном расстоянии от неё ($\Omega/p_1 > 5 \div 10$) усиление частотного шума пренебрежимо мало ($G_{vlf}(\Omega_0)/G_{vlf}(0) < 3 \div 4$ дБ). Заметное усиление шума наблюдается лишь в полосе частот $1 < \Omega/p_1 < 5$ при $b < 0,3$. При $b=0$ значения $G_{vlf}(\Omega/p_1)/G_{vlf}(0)$ монотонно возрастают с увеличением частоты отстройки. Очевидно, что в целом реализация на практике рассмотренных режимов усиления частотных шумов крайне нежелательна.

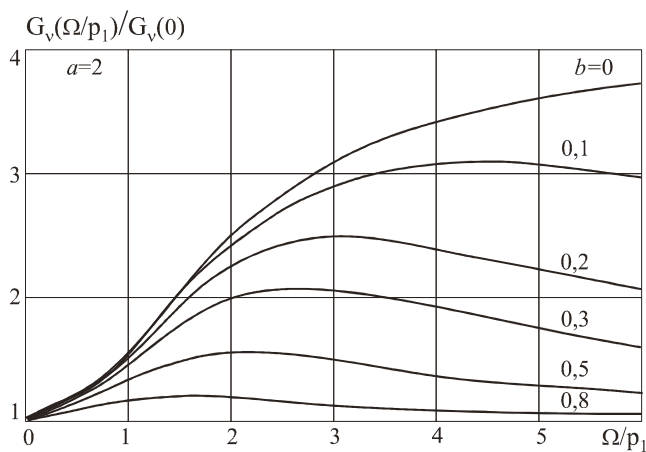


Рис. 7.

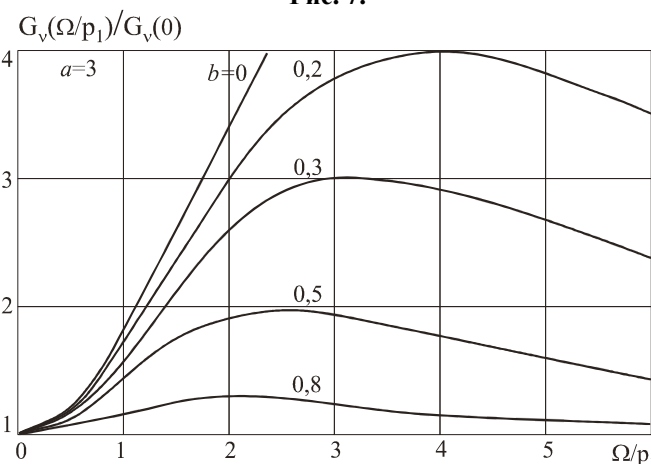


Рис. 8.

Проведённое исследование показывает, что при первом способе настройки генератора возникает довольно сложная зависимость уровня модуляционных частотных шумов от частоты модуляции. Однако подбором динамических параметров генератора можно реализовать режим подавления шумов в полосе частот $0,5 < \Omega/p_1 < 2$ примерно в такой же степени, как и при втором способе настройки генератора.

Эффекты подавления и усиления частотных шумов, очевидно, будут наблюдаться и при комбинированном способе настройки генератора. Это обстоятельство необходимо учитывать при разработке многодиодных генераторов СВЧ и интерпретации экспериментальных данных.

Библиографический список

1. Шаповалов А.С., Машников В.В., Минкин Л.М., Шаповалов С.А. // Вопросы прикладной физики. Саратов, 2010. Вып. 17. С. 33-38.
2. Шаповалов А.С., Минкин Л.М., Шаповалов С.А. // Вопросы прикладной физики. Саратов, 2011. Вып. 18.
3. Кудряшов С.А., Шаповалов А.С. // Электронная техника. Серия 1. СВЧ-техника. – 1997. Вып 2. С. 28-31.
4. Шаповалов А.С., Минкин Л.М., Кудряшов С.А., Шаповалов С.А. Машников В.В.// Вопросы прикладной физики. Саратов, 2006. Вып. 13. С. 45-49.
5. Шаповалов А.С., Кудряшов С.А., Шаповалов С.А. // Вопросы прикладной физики. Саратов, 2007. Вып. 14. С. 46-49.

AN ANALYSIS OF THE FACTOR OF COLLECTIVE TRANSFORMATION OF THE FREQUENCY FLUCTUATIONS MODULATION SPECTRUMS OF THE MULTIDIODE MICROWAVE GENERATOR

¹A.S.Shapovalov, ²L.M. Minkin, ³S.A. Shapovalov

¹Saratov State University,

²Portland State University, USA

³Saratov Electric Aggregate Production Firm

Peculiarities of transformation of the frequency fluctuations modulation spectrums of the generating diodes modules ensemble into the noise of output signal of the multidiode microwave generator are analysed. It is investigated the dependence of the factor of collective transformation from the frequency, number of diodes, modulation sensitivity of the generator, properties of its electrodynamic system and the strategy of tuning.

РАСЧЁТ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО СПЕКТРА
ИЗОЛИРОВАННОГО N-ФОРМИЛМЕТИОНИНА

Д.М. Кадров, И.Г. Алексеев, Г.Н. Тен

Саратовский государственный университет

Кадров Дмитрий Михайлович, студент

Алексеев Игорь Геннадиевич, студент

Тен Галина Николаевна, д.ф.-м.н., профессор

Проведён расчёт структуры и колебательных спектров изолированного N-формилметионина методом DFT в гармоническом приближении. Выполнена интерпретация колебательного спектра.

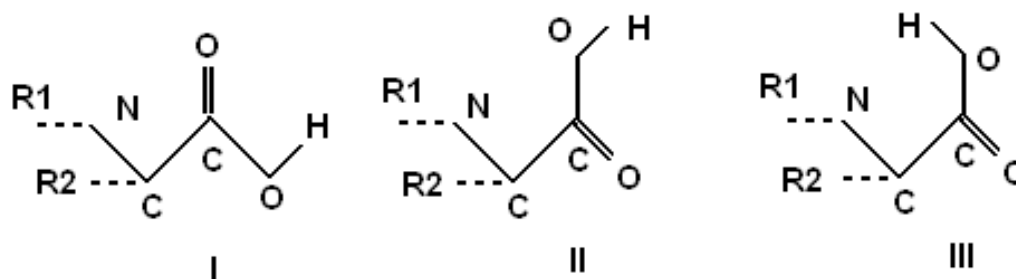
Введение

N-formylmethionine (аминокислота, модифицированный метионин), впервые обнаруженный Ф. Сэйнджером с соавт. в 1964 г., является инициаторной аминокислотой всех полипептидных цепей с последующим отщеплением по окончании синтеза [1,2]. Функциональные способности N-формилметионина используются для решения многих задач молекулярной биологии, в частности, современной биотехнологии для очистки рекомбинантных белков, или исследования причин заражения крови (сепсиса) и т.д. [3,4]. Кроме того, N-формилметионин широко используется для создания лекарственных препаратов, например,

эффективных медикаментов комбинированного действия при фарингите.

В настоящей работе представлены результаты расчёта структуры и колебательных (ИК и КР) спектров изолированного N-формилметионина, вычисленных методом DFT (базис 6-311++G(d,p)) с использованием программного продукта Gaussian-09 [5].

Результаты расчёта. Прежде всего, для определения наиболее стабильного конформера были рассчитаны три структуры с различным относительным расположением молекулы азота и группы COOH:



Было показано, что наиболее стабильной является структура I: значения полных энергий равны -913.90995, -913.90933, -913.90470 а.е. соответственно для конформеров I, II, III (расчёт выполнен в базисе 6-31G(d,p)).

Молекулярная структура рассчитываемого конформера N-формилметионина с обозначением и нумерацией атомов представлена на рис. 1, а вычисленные геометрические параметры – в табл. 1.

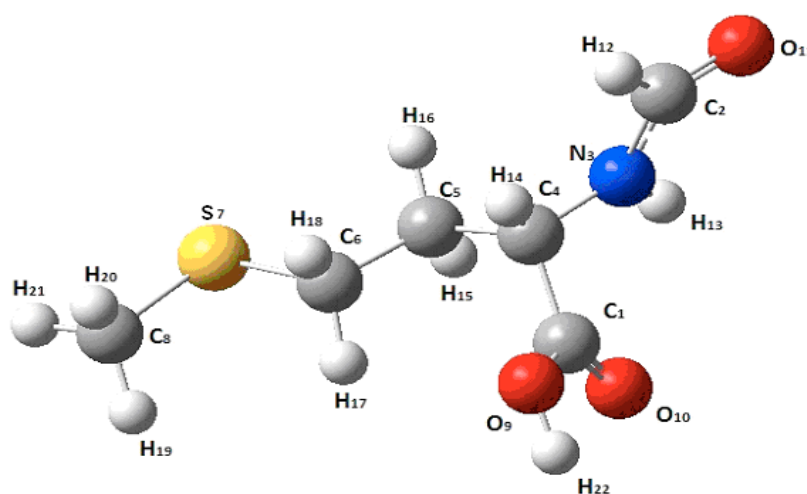


Рис. 1. Молекулярная структура N-формилметионина

Таблица 1. Вычисленные длины связей (Å) и валентные углы (град) изолированного N-формилметионина

Связь	Значение	Углы	Значение	Углы	Значение
N3C4	1.449	C4N3H13	117.5	H17C6H18	107.7
N3H13	1.014	C4N3C2	124.8	H17C6S7	108.9
N3C2	1.365	H13N3C2	117.5	H18C6S7	109.0
C4H14	1.095	N3C4H14	108.7	C6S7C8	99.5
C4C5	1.553	N3C4C5	111.7	S7C8H20	111.3
C4C1	1.527	N3C4C1	108.0	S7C8H21	106.8
C5H16	1.095	H14C4C5	109.1	S7C8H19	111.3
C5H15	1.096	H14C4C1	108.6	H20C8H21	108.8
C5C6	1.531	C5C4C1	110.7	H20C8H19	109.8
C1O10	1.210	C4C5H16	106.5	H21C8H19	108.8
C1O9	1.350	C4C5H15	108.5	C1O9H22	106.6
C6H17	1.094	C4C5C6	114.5	N3C2H12	112.1
C6H18	1.096	H16C5H15	106.9	N3C2O11	124.9
C6S7	1.837	H16C5C6	109.7	H12C2O11	123.1
S7C8	1.826	H15C5C6	110.3		
C8H20	1.093	C4C1O10	124.2		
C8H21	1.092	C4C1O9	112.4		
C8H19	1.093	O10C1O9	123.5		
O9H22	0.974	C5C6H17	111.3		
C2H12	1.110	C5C6H18	110.4		
C2O11	1.216	C5C6S7	109.5		

В таблице 2 приведены результаты расчёта колебательных спектров N-формилметионина и дана интерпретация нормальных колебаний.

Низкочастотные колебаний 1-5 характеризуют смещения одних молекулярных фрагментов относительно других как целого. Формы колебаний 6-10 отвечают крутильным колебаниям групп CH_2 и CH_3 . В области $240\text{-}457\text{ см}^{-1}$ проявляются деформационные колебания углов CCC, CNC, COS, CSC, а в области $610\text{-}1819\text{ см}^{-1}$ – деформационные колебания углов, образованные связями CH, OH,

Таблица 2. Вычисленные значения частот (ν , см^{-1}) и интенсивностей спектров ИК ($I_{\text{ИК}}$, км/моль) и КР ($I_{\text{КР}}$, $\text{Å}^4/\text{а.е.м.}$) N-формилметионина

№ кол.	ν	$I_{\text{ИК}}$	$I_{\text{КР}}$	Отнесение
1	22	1.2	1.7	τ
2	34	1.8	0.7	
3	42	1.8	1.6	
4	63	2.0	0.6	
5	89	1.0	0.6	
6	105	1.3	0.3	ω
7	139	0.5	3.7	
8	171	0.9	0.5	

NH, и валентные колебания связей CC, CN, CO и CS.

Наиболее интенсивные полосы поглощения имеют деформационные колебания $\beta(\text{N}_3\text{H})$, $\beta(\text{O}_9\text{H})$ (колебания 17-19), валентные колебания $Q(\text{C}_2\text{N}_3)$, $Q(\text{C}_1\text{O}_9)$, $Q(\text{C}_2\text{O}_{11})$, $Q(\text{C}_1\text{O}_{10})$ (колебания 31-35, 48-19) (рис. 2а).

В спектрах КР наиболее интенсивные линии лежат в области валентных колебаний связей CH, NH и OH (колебания 50-60) (рис. 2б).

9	176	1.0	1.5	
10	220	1.0	0.7	
11	240	0.3	6.8	$\gamma(C_6S_7C_8)$
12	297	1.1	1.2	$\gamma(C_4C_5C_6), \gamma(C_2N_3C_4)$
13	354	13.1	0.5	
14	383	6.7	0.3	
15	457	7.4	0.7	$\gamma(C_4C_5C_6), \gamma(C_2N_3C_4), \gamma(C_4C_1O_{10}), \gamma(C_6S_7C_8)$
16	610	11.7	0.4	
17	620	145.5	0.6	$\beta(N_3H), \beta(O_9H)$
18	646	63.8	2.4	
19	662	81.1	2.9	
20	706	6.5	19.6	$Q(S_7C_8)$
21	755	11.5	6.6	$Q(S_7C_6)$
22	764	3.2	1.1	$\beta(CH_2) \{(C_5H), (C_6H)\}$
23	802	17	5.5	$\gamma(C_4C_5C_6), \gamma(C_4C_1O_{10})$
24	860	0.2	4.3	$\beta(CH_2) \{(C_5H), (C_6H)\}$
25	973	2.0	2.2	
26	975	6.5	2.4	$\beta(CH_3)$
27	1017	2.6	3.7	$Q(C_4C_5), \beta(CH_2) \{(C_5H), (C_6H)\}$
28	1032	1.9	1.5	$\beta(C_2H)$
29	1048	1.3	11.8	$Q(C_4C_5)$
30	1057	2.5	2.8	(C_5C_6)
31	1129	134.6	0.8	$Q(C_2N_3), Q(C_1O_9)$
32	1139	81.8	2.1	
33	1181	57.6	3.9	$Q(C_1O_9), \beta(CH_2) \{(C_5H), (C_6H)\}$
34	1251	139.2	9.6	$Q(C_2N_3), \beta(CH_2) \{(C_5H), (C_6H)\}, \beta(C_4H), \beta(C_2H), \beta(N_3H), \beta(O_9H)$
35	1274	105.9	5.9	
36	1285	27.4	4.5	
37	1307	5.3	2.7	$\beta(CH_2) \{(C_5H), (C_6H)\}, \beta(O_9H)$
38	1333	5.9	4.9	
39	1360	5.7	2.2	$\beta(CH_3)$
40	1372	14.5	7.3	$Q(C_1C_4), \beta(CH_3), \beta(CH_2) \{(C_5H), (C_6H)\}$
41	1386	29.4	1.4	$\beta(CH_2) \{(C_5H), (C_6H)\}, \beta(C_4H), \beta(C_2H), \beta(N_3H), \beta(O_9H)$
42	1425	8.9	9.4	$\beta(C_2H), \beta(C_4H)$
43	1468	9.7	12.1	$\beta(CH_3)$
44	1481	10.7	0.9	$\beta(CH_3), \beta(CH_2) \{(C_6H)\}$
45	1486	1.8	21.6	$\beta(CH_2) \{(C_5H), (C_6H)\}, \beta(CH_3)$
46	1496	11.9	0.9	$\beta(CH_2) \{(C_5H), (C_6H)\}, \beta(N_3H)$
47	1502	23.9	7.5	$\beta(N_3H), \beta(CH_2) \{(C_5H)\}, \beta(C_4H)$
48	1780	685.1	31.8	$Q(C_2O_{11})$
49	1819	289.3	9.2	$Q(C_1O_{10})$
50	2933	73.7	79.3	$q(C_2H)$
51	3029	21.5	195.4	$q(CH_2) \{(C_5H), (C_6H)\}$
52	3034	32.6	122.4	$q(CH_3)$
53	3043	14.1	45.6	$q(CH_2) \{(C_5H), (C_6H)\}$
54	3068	3.2	105.4	$q(CH_2) \{(C_5H), (C_6H)\}$
55	3080	5.6	24.2	$q(CH_2) \{(C_5H), (C_6H)\}, q(C_4H)$
56	3096	24.1	9.8	$q(CH_2) \{(C_5H), (C_6H)\}, q(C_4H)$
57	3110	8.7	68.5	$q(CH_3)$
58	3130	6.3	105.7	$q(CH_3)$
59	3579	38.8	63.2	$q(N_3H)$
60	3739	74.5	154.7	$q(O_9H)$

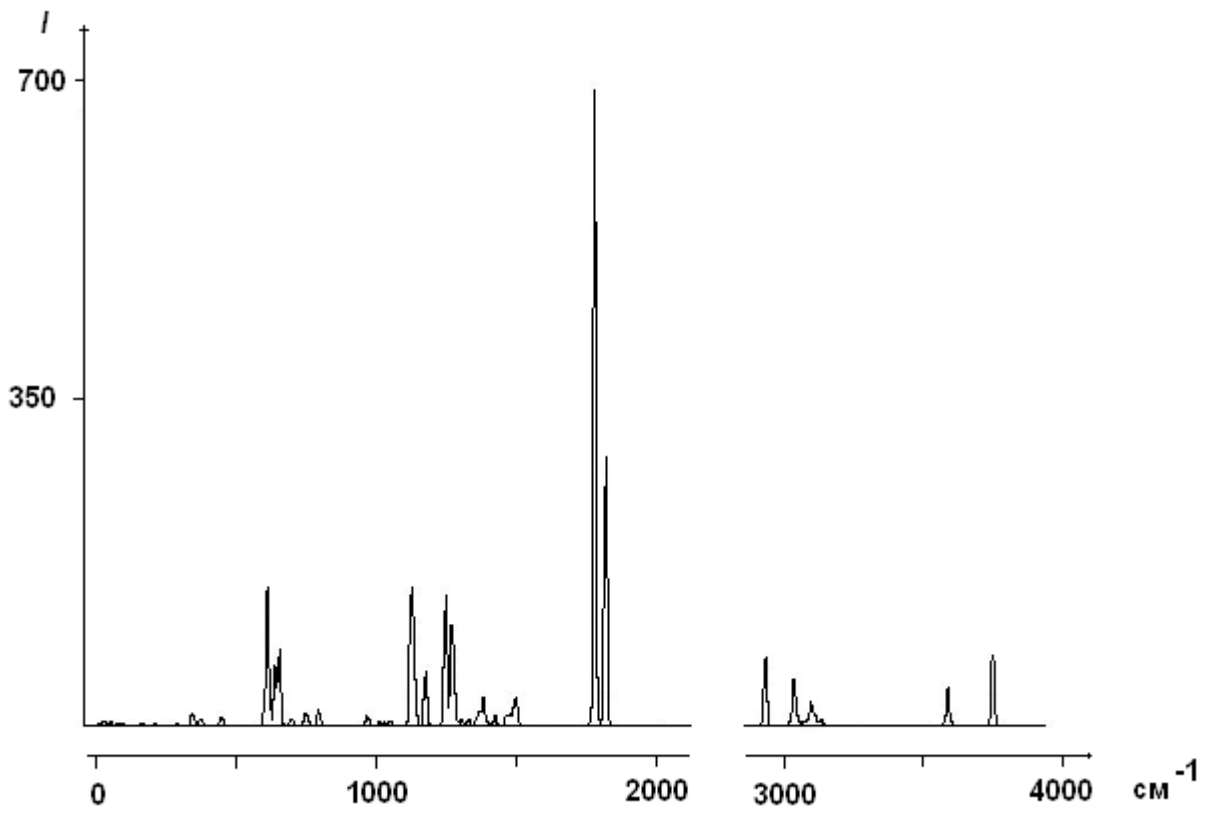


Рис. 2а. ИК спектр изолированного N-формилметионина

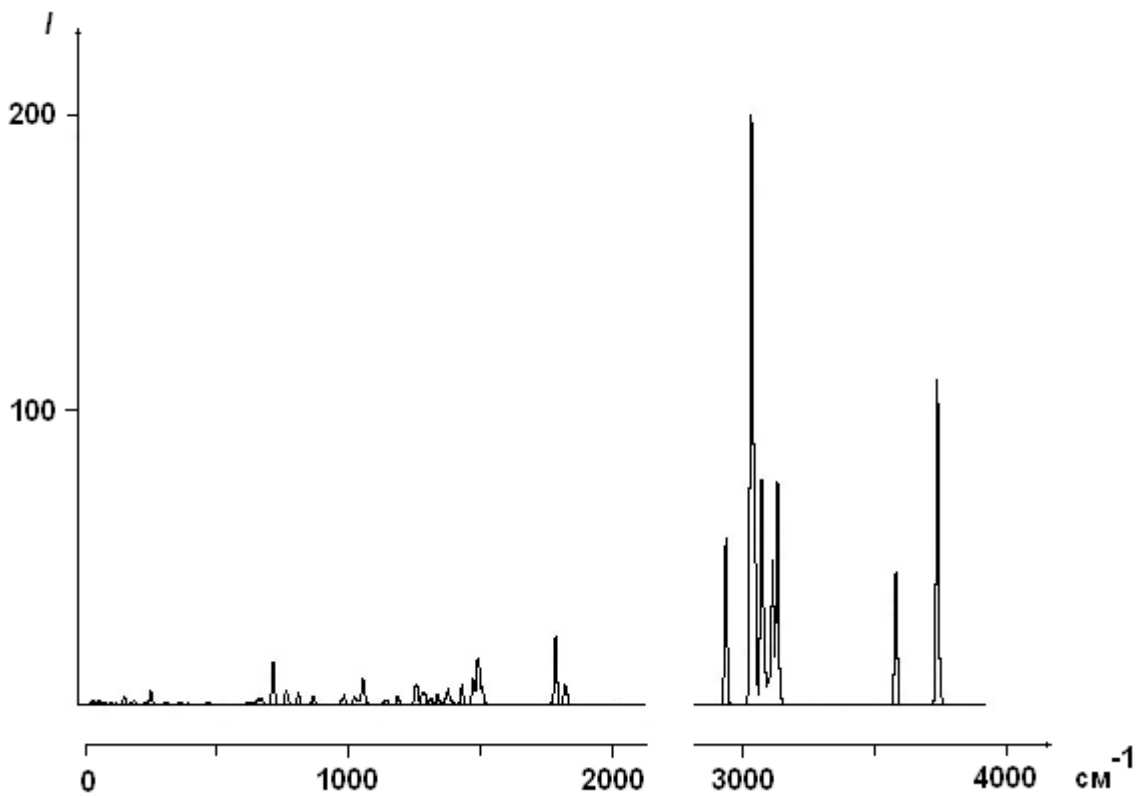


Рис. 2б. Спектр КР изолированного N-формилметионина

Выводы

В данной работе представлены результаты расчёта структуры и колебательных спектров наиболее стабильного конформера изолированного

N-формилметионина. Выполнена интерпретация нормальных колебаний и дана характеристика наиболее интенсивных полос поглощения и линий КР.

Библиографический список

1. Рис Э., Стенберг М. Введение в молекулярную биологию. М.: Мир. 2002.
2. Гутман Б., Гриффитс Э., Сузуки Д., Кулис Т. Генетика. М.:ФАИР_ПРЕСС. 2004.
3. Жуков Б. // Знание-Сила. 2010. № 7. С. 56.
4. Старокадомский П.Л., Окунев О.В., Иродов Д.М., Кордюм В.А. // Молекулярная биология. 2010. Т.42. № 6. С. 1085-1092.
5. Frisch M.J., Trucks G.W., Schlegel H.B. et al. Gaussian 09. – Gaussian Inc., Pittsburgh PA, 2009.

CALCULATION AND INTERPRETATION OF THE VIBRATIONAL SPECTRA OF ISOLATED N-FORMYLMETHIONINE

D.M. Kadrov , I.G. Alekseev, G.N. Ten

Saratov State University

Kadrov Dmitriy Mihaylovich, student

Alekseev Igor Gennadievich, student

Ten Galina Nikolaevna, prof., Doctor of Ph. and Math. Sciences, E-mail: TenGN@info.sgu.ru

The calculation of the structure and vibrational spectra of isolated N-formylmethionine are performed using DFT method in harmonic approximation.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУННЕЛЬНОГО ЭФФЕКТА
НА ОСНОВЕ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

Г. Е. Гарбер

Саратовский государственный университет

Гарбер Георгий Евгеньевич

Задача о прохождении электронов через потенциальный барьер решается методами квантовой теории, без волновой гипотезы. Решение производится для статистической совокупности большого числа электронов, что позволяет применить модель электронного газа и вычислительные методы молекулярно - кинетической теории и теории вероятностей. В соответствии с этим представлением даётся определение плотности распределения электронов вместо абстрактной волновой функции. Доказывается, что плотность распределения электронов служит решением уравнения Шрёдингера. Вместо формальной квантово – механической схемы на основе квантовой теории даётся простое и понятное объяснение туннельного эффекта как реального физического явления.

Туннельным эффектом называется прохождение заряженных частиц через потенциальный барьер в электромагнитном поле. Теорию туннельного эффекта для объяснения альфа – распада (точнее, альфа - захвата) предложил в 1928 году Д. Гамов на основе волновой гипотезы. Э. Рёзерфорд, применивший эту теорию на практике, сказал о ней коротко и просто: "У волновой механики удивительное свойство – она работает". В такой осторожной форме, не вступая в спор с теоретиками, он указал на неудовлетворительное физическое объяснение этого явления, хотя и признал хорошее согласование результатов с экспериментом. Физического объяснения фактически нет до сих пор. Дальнейшее развитие квантовой механики не внесло ясность в понимание физической сущности туннельного эффекта, а привело лишь к ещё большей формализации. Искусственное приписывание волновых свойств отдельным элементарным частицам, согласно гипотезе Л. Бройля, также не имеет физического смысла и противоречит атомному строению вещества.

Новый подход в квантовой механике, которая является частью квантовой теории, предложил Р. Фейнман в виде принципа: "Мы не имеем права детально описывать поведение частиц в пространстве"[1]. Он обобщил и придал простую и наглядную форму принципу *дополнительности* Н. Бора, который указал на невозможность точного измерения координат и импульса элементарной частицы. Из обобщённого принципа Бора - Фейнмана следует, что электрон не нужно рассматривать как бесконечную волну, - достаточно ограничиться классическим представлением электрона как частицы бесконечно малого размера, материальной точки Ньютона (mass point). При этом координаты электрона должны принимать случайные значения, так как электромагнитное поле имеет дискретную структуру и состоит из отдельных частиц, электромагнитных квантов (EM-квантов). Следовательно, значение вероятности становится основной физической величиной [1], [2].

При решении задач методами теории вероятностей вместо единичной частицы рассматривается статистическая совокупность большого числа эквивалентных частиц, образующих физический ансамбль. Кроме того, вместо некого

наблюдателя, необходимо также рассматривать взаимодействие электронов с электромагнитным полем. Физическое представление для взаимодействия электромагнитного поля с заряженными частицами и реальное понимание туннельного эффекта может быть получено только на основе квантовой теории М. Планка и А. Эйнштейна, установившей дискретную структуру электромагнитного поля. Под воздействием отдельных EM-квантов электроны движутся хаотично, по случайным траекториям, подобно молекулам газа. При этом каждый EM-квант рассматривается как бесконечно малая частица без массы (unmass point), а случайное движение электронов, подобное броуновскому движению молекул газа, естественно назвать комптоновским движением. Поэтому для расчётов нужно применить модель электронного газа, вместо искусственной волновой гипотезы Л. Бройля для единичной частицы. Это позволяет использовать классические методы статистической физики, разработанные Д. Максвеллом и Л. Больцманом.

В кинетической теории газа точное описание случайного движения отдельной частицы не имеет физического смысла. Используются только усредненные физические величины вместо индивидуальных значений для отдельного электрона. Такой подход согласуется с предложенным А. Эйнштейном принципом *усреднения*, согласно которому в квантовой механике должны применяться только средние значения физических величин, полученные для большого числа эквивалентных частиц [3].

Принцип усреднения является основным для модели электронного газа. Для вычисления характеристик электронного газа применяются методы теории вероятностей, которые позволяют сгладить случайные отклонения единичных измерений и дают средние значения физических величин. Основная физическая величина для электронного газа – это плотность распределения электронов или электронная плотность вероятности, которая даётся статистической формулой [2]

$$f_S(x,y,z) = n(\Delta V)/(\Delta V \cdot N) \quad (1)$$

где $n(\Delta V)$ – число электронов в объёме ΔV , (x,y,z) – координаты внутренней точки, N – общее число электронов.

Обозначение функции f_S даётся в честь Шрёдингера (Schrödinger's function), который ввёл эту функцию формально, как решение своего уравнения, под названием ψ – функция. Аналогичная функция электронной плотности используется в работах У. Кона [4].

Согласно данному определению плотности вероятности (1), положение каждого электрона в пространстве задаётся величиной вероятности того, что частица находится в бесконечно малом объёме ΔV возле точки с координатами (x, y, z) . Вычисление вероятности производится на основе статистической совокупности из большого числа эквивалентных частиц, рассматриваемой как физический ансамбль. В вероятностном представлении обобщённый квантовый принцип Н. Бора и Р. Фейнмана о хаотичности движения элементарных частиц можно сформулировать в математических определениях: пространственные координаты и вектор скорости частицы являются случайными величинами, которые определяются плотностью вероятности $f_S(x, y, z)$ (1) [2].

Такое определение позволяет представить движение электронов в виде статистического потока электронного газа. На полную аналогию между формулами электродинамики и гидродинамики указал Р. Фейнман [5, стр.236]. Поэтому для описания движения электронного газа естественно применяется классическая теория движения жидкости и газа. Так же, как в гидродинамике и газодинамике, рассматриваются линии тока жидкости или газа, полученные сглаживанием реальных траекторий частиц. Одномерная физическая модель движения электронного газа наглядно представляется в виде элементарной трубки тока бесконечно малого сечения dS , которая сглаживает пучок реальных траекторий электронов. Эта модель применяется при решении задачи о переходе частиц через потенциальный барьер, вместо абстрактной волновой гипотезы для единичного электрона.

Поток электронов переносит энергию вдоль оси движения Ol . Приращение энергии для бесконечно малого интервала движения dl пропорционально числу частиц

$$\Delta E = E_1 n(\Delta V) \quad (2)$$

где E_1 – энергия одного электрона, $\Delta V = dl \cdot dS$ – цилиндрический объём.

Скорость переноса энергии определяется математической величиной, которая называется потоком векторного поля [6]. Для потока электронов эту величину естественно назвать энергетическим потоком Борна $S_B(E)$ (Born's Stream), который применил статистический подход в квантовой механике. Величина элементарного энергетического потока через сечение dS вычисляется с помощью производной по направлению движения потока [6], в которой приращение энергии находится согласно (2)

$$S_B(E) = v (\partial E / \partial l) dS \quad (3)$$

где v – скорость потока, Ol – ось движения.

Электроны движутся под воздействием электромагнитного поля, которое имеет дискретную

структуру, согласно квантовой теории. Квантовое взаимодействие электрона с единичным EM -квантом даётся фундаментальными уравнениями Эйнштейна, которые представляют закон сохранения энергии и импульса в квантовой механике

$$p_1^2 / (2m) + U_1 = hv \quad (4)$$

$$p_1 = \hbar k, k = (2\pi\nu) / c = 2\pi / \lambda \quad (5)$$

где p_1 , U_1 , m – импульс, потенциальная энергия и масса электрона; $h\nu$, $\hbar k$ – энергия и импульс EM -кванта; k – волновое число.

Из квантовой формулы (5) следует физическая несостоятельность волновой гипотезы Л. Бройля, который искусственно приписал электрону длину волны λ EM -кванта. Произвольное присвоение локализованной в пространстве частице, электрону, свойств бесконечной волны противоречит физическому смыслу и атомной теории вещества. Для решения физических задач необходимо и достаточно классическое представление электрона в виде материальной точки Ньютона (mass point), а волновая гипотеза ошибочна и бесполезна.

Затем следует от физических характеристик единичного электрона перейти к интегральным величинам для электронного потока. Вычисление параметров потока позволяет усреднить индивидуальные величины и сгладить случайные отклонения отдельных измерений. Запишем уравнение энергетического баланса для переноса энергии через сечение dS , подставив вместо физических параметров электрона интегральные величины электронного потока. Получается естественное обобщение квантового уравнения (4) для энергетических потоков Борна, которое является формой закона сохранения энергии для электронного газа

$$S_B(T_e) + S_B(U_e) = S_B(E_q) \quad (6)$$

где T_e , U_e – кинетическая и потенциальная энергия электронного потока, E_q – энергия, полученная электронным потоком от EM -квантов.

Приращение величины энергетического потока для каждого из видов энергии пропорционально числу частиц и даётся, согласно (2), следующими формулами

$$\Delta T_e(\Delta V) = p_1^2 / (2m) \cdot n(\Delta V), \Delta U_e(\Delta V) = U_1 \cdot n(\Delta V) \quad (7)$$

$$\Delta E_q(\Delta V) = U_q \cdot n(\Delta V)$$

где U_q – энергия, полученная электроном от EM -кванта.

Найденные, согласно формулам (2), (3) и (7), значения энергетических потоков для кинетической, потенциальной и электромагнитной энергии электронов подставляются в основное уравнение энергетического баланса (6). Используя определение плотности распределения электронов (1) и приняв в качестве оси трубки тока Ox , получаем обобщённое уравнение Бернулли для движения электронного газа через сечение dS

$$\partial(\rho_e v^2 / 2) / \partial x + \partial(U_1 N f_S) / \partial x = \partial(U_q N f_S) / \partial x \quad (8)$$

где $\rho_e = m N f_S$ – обычная плотность массы электронного газа.

Первый член уравнения (8) – это поток кинетической энергии электронов, который приводится в канонической газодинамической форме. Второй

член (8) представляет энергетический поток потенциала электронов и соответствует давлению обычного газа. Третий член – это поток энергии, полученной электронами от *EM*-квантов, который соответствует гравитационной энергии обычного газа.

Затем в трубке тока выделяется цилиндрический объём, соответствующий интервалу *dx*, и вычисляется баланс энергетических потоков через его замкнутую поверхность. Это приводит к повторному дифференцированию в обобщённом уравнении Бернулли (8). Получается дифференциальное уравнение второго порядка для электронной плотности вероятности *f_S*

$$p_1^2/(2m) \cdot \partial^2 f_S / \partial x^2 + \partial^2 (U_1 f_S) / \partial x^2 = \partial^2 (U_q f_S) / \partial x^2 \quad (9)$$

Второй член уравнения (9) пропорционален энергетическому потоку потенциала электронов и поэтому может быть преобразован. Действительно, потенциал каждой из составляющих электронный поток частиц получается интегрированием по траектории сил электромагнитного поля, и может рассматриваться как интеграл по параметру *dl*. Интегрирование по параметру коммутирует с дифференцированием в уравнениях Максвелла. Следовательно, суммарный энергетический поток потенциала электронов во втором члене уравнения (9) подчиняется волновому уравнению электромагнитного поля

$$\partial^2 (U_1 f_S) / \partial x^2 = c^2 U_1(x) \partial^2 f_S / \partial t^2 \quad (10)$$

Третий член уравнения (9) соответствует энергетическому потоку электронов, полученному от *EM*-квантов, который также подчиняется волновому уравнению электромагнитного поля, аналогично (10). Найденные выражения для второго и третьего членов подставляются в уравнение (9). Кроме того, среднее значение энергии единичного электрона *U_q*, полученное от *EM*-кванта, даётся квантовым уравнением (4). Окончательно получаем дифференциальное уравнение в частных производных второго порядка для определения плотности распределения электронов или электронной плотности вероятности *f_S*

$$p_1^2/(2m) \cdot \partial^2 f_S / \partial x^2 + c^2 U_1(x) \partial^2 f_S / \partial t^2 = c^2 h \nu \partial^2 f_S / \partial t^2 \quad (11)$$

Это дифференциальное уравнение в частных производных решается стандартным методом разделения переменных, в котором частное решение находится в виде произведения: *f_S(x,t) = f_{S1}(x) f_{S2}(t)* [6]. После разделения переменных уравнение (11) распадается на два частных уравнения

$$p_1^2/(2m) \cdot \partial^2 f_{S1}(x) / \partial x^2 = c^2 \lambda_0 (h\nu - U_1(x)) f_{S1}(x) \quad (12)$$

$$\partial^2 f_{S2}(t) / \partial t^2 - \lambda_0 f_{S2}(t) = 0, \lambda_0 = \text{const} \quad (13)$$

Так как затухающие решения исключаются, то рассматриваются только периодические решения (13) и выбирается $\lambda_0 = -\omega^2$. Решениями уравнения (13) являются гармонические функции *f_{S2}(t) = cos(ωt), sin(ωt)* с циклической частотой $\omega = 2\pi\nu$. Подставим найденное значение λ_0 в уравнение для пространственной функции *f_{S1}(x)* (12). Выражая величину импульса электрона *p₁* из квантового уравнения (5), сократим обе части уравнения (12) на *k²*. Тем самым исключается зависимость уравнения от частоты ν . Таким образом, на основе квантовой теории прямым вычислением методом

энергетических потоков Борна получен простой математический вывод стационарного уравнения Шрёдингера [7], вместо аксиоматического введения оператора Гамильтона

$$-\hbar^2/(2m) \cdot \partial^2 f_S(x) / \partial x^2 + [U_1(x) - E_\nu] f_S(x) = 0 \quad (14)$$

где $E_\nu = h\nu$ – средняя квантовая энергия электрона, а индекс 1 опущен.

Показано, что решением уравнения Шрёдингера является действительная функция, а не комплексная ψ - функция. Полученная функция *f_S(x)* имеет независимое физическое определение, как плотность распределения электронов или электронная плотность вероятности (1). Очевидно, что эту функцию не нужно возводить в квадрат. На невозможность такого вывода методами волновой механики прямо указал Р. Фейнман: "Это невозможно вывести из чего-либо нам уже известного" [8, стр.95]. Поэтому в его лекциях уравнение Шрёдингера не применяется из-за невозможности физического обоснования [1], [8]. Р. Фейнманом была предложена новая, третья форма квантовой механики, основанная на функциональных интегралах по траекториям, обобщением которой является изложенный метод энергетических потоков Борна. Полученный вывод уравнения Шрёдингера и физическое представление его решения позволяют применять вероятностные методы при решении и других задач квантовой механики.

Статистическое определение плотности вероятности *f_S(x)* (1) для совокупности электронов позволяет отказаться от формального ввода комплексной волновой функции $\psi(x)$. Решению уравнения Шрёдингера придаётся реальное физическое содержание. Следовательно, существующая интерпретация квадрата модуля этой функции $|\psi(x)|^2$ как вероятности состояния утрачивает физический смысл и становится ненужной. Согласно квантовой теории электрон рассматривается как материальная точка Ньютона, а не волна, а его положение нельзя указать точно, с помощью единственного значения координаты *x*. Можно лишь определить вероятность появления электрона в бесконечно малом интервале Δx , содержащем указанную точку *x*: $\Delta P = f_S(x) \Delta x$ [2].

Плотность вероятности *f_S(x)* находится как решение задачи Коши для уравнения Шрёдингера с заданными начальными условиями. Это решение представляется наглядно в операторной форме

$$\mathbf{H} f_S(x) = E_n f_S(x), E_n = E_\nu, n=1, 2 \dots \quad (15)$$

$$\mathbf{H} = -\hbar^2/(2m) d^2/dx^2 + U_1(x)$$

Здесь оператор Гамильтона, гамильтониан, обозначен как **H**. Решение конкретных физических задач должно производиться с учётом области определения функции *f_S(x)*, а также начальных и граничных условий. Отметим, что гамильтониан вычислен с помощью метода энергетических потоков Борна, а не вводится аксиоматически, искусственным путём, в соответствии с формализмом квантовой механики. Тем самым уравнению Шрёдингера придаётся то же физическое значение, что и уравнениям Лагранжа и Гамильтона в классической механике. Решения операторного

уравнения (15) $f_S(x)$ – это собственные функции гамильтониана \mathbf{H} , а величины энергии E_n – его собственные значения. Согласно теории операторов в гильбертовом пространстве l_2 , собственные значения гамильтониана могут принимать только дискретные значения E_n . Таким образом, дискретность энергетического спектра электрона прямо следует из квантовой теории М. Планка и А. Эйнштейна.

Согласно квантовой теории, электрон может находиться только в дискретном множестве состояний, каждому из которых соответствует значение средней энергии электрона E_n . Квантовое состояние электрона наглядно изображается в виде электронного облака (electron's cloud) с плотностью распределения $f_S(x)$, где каждый электрон является равноправным представителем статистической совокупности. Тем самым, функции состояния электрона придаётся реальное физическое содержание, - в отличие от абстрактной комплексной волновой функции $\psi(x)$. Подобно обычному молекулярному газу, который характеризуется значением температуры, состоянию электронного газа можно сопоставить определенную температуру, которая соответствует средней энергии электрона и может принимать только дискретный ряд значений.

Чтобы найти зависимость плотности вероятности от времени, можно объединить два вещественных решения уравнения (13) в одно комплексное решение по формуле Эйлера: $f_{S2}(t) = \exp(-i\omega t)$ [6]. Такое представление служит только удобным математическим приёмом и не влияет на действительные значения физической величины. Произведение частных решений (12), (13) подставляется в исходное уравнение (11) и дифференцируется по t , - дважды во втором члене уравнения и один раз - в третьем члене. Сокращая на k^2 , получаем уравнение, которое не зависит от частоты ν и выполняется для любых частных решений (12), (13)

$$\hbar^2/(2m) \cdot \partial^2 f_S(x,t)/\partial x^2 - U_1(x) f_S(x,t) = -i\hbar \partial f_S(x,t)/\partial t \quad (16)$$

Используя частные решения (12), (13), можно разложить общее решение исходного уравнения (11) в ряд Фурье для дискретного ряда частот ν_n , соответствующих найденным значениям энергии E_n . Следовательно, общее решение (11) удовлетворяет также уравнению (16), и оба этих уравнения эквивалентны между собой. Зависящее от времени уравнение (16) называется общим уравнением Шрёдингера. Полученный на основе квантовой теории вывод этого уравнения позволяет избежать как аксиоматического ввода гамильтониана в левой части, так и, в особенности, ввода непонятного оператора в правой части, который называется оператором энергии.

Для объяснения физических явлений используется действительная часть комплексного решения $f_S(x,t)$. Мнимый коэффициент i в правой части уравнения (16) даёт только сдвиг фазы для зависящего от времени фактора (13) и никак не влияет на стационарное распределение вероятностей $f_S(x)$, которое называется амплитудой вероятности

[1]. Как правильно отметил Р. Фейнман: “В физике праведна и чтима только действительная часть комплексного числа” [9]. Следует также отметить, что общее уравнение Шрёдингера, вопреки распространённому мнению, не является волновым уравнением, а относится к уравнениям параболического типа [6]. В физике такими уравнениями описываются процессы диффузии.

Используя теорию диффузии [10], можно дать простое и наглядное физическое объяснение туннельного эффекта на основе квантовой теории. Потенциальный барьер не является непреодолимым и монолитным препятствием для электронов, потому что электромагнитное поле имеет дискретную, квантовую структуру, а не является единым и непрерывным. Электроны могут проникать через потенциальный барьер, так как имеют различную энергию в определённом состоянии со средней энергией E_n . Изучаемое физическое явление подобно диффузии обычного газа в веществе, которое тоже не имеет непроницаемой структуры, а состоит из отдельных молекул. Следовательно, для понимания туннельного эффекта естественно применить модель электронного газа и методы молекулярно – кинетической теории.

Рассматривается такое состояние электронного газа, для которого квантовое значение энергии E_n меньше потенциала электромагнитного поля U_B (potential barrier): $(E_n - U_B) < 0$. Однако величина E_n , согласно квантовой теории, - это только среднее значение энергии электрона в данном состоянии. Поэтому существуют быстрые электроны, энергия которых больше этого среднего значения: $E^i > E_n$. Потенциальный барьер преодолевает только та часть быстрых электронов, энергия которых превышает также и потенциал внешнего электромагнитного поля: $E^j > U_B$. Статистическая частота появления электронов в энергетически запрещённой области определяется величиной плотности вероятности $f_S(x)$ (1). Для состояния электрона с квантовым уровнем энергии E_n плотность вероятности $f_S(x)$ в этой области находится как решение стационарного уравнения Шрёдингера (14)

$$f_S(x) = C_n \exp(-D_n x), \quad x > 0 \quad (17)$$

$$-\hbar^2/(2m) D_n^2 + (U_B - E_n) = 0, \quad U_B - E_n > 0, \quad D_n > 0$$

В функцию состояния входит постоянная величина D_n , которая находится как решение квадратного уравнения (17). Коэффициент C_n определяется из начальных условий задачи. Найденное решение показывает, что вероятность обнаружения электрона в области за потенциальным барьером экспоненциально убывает от своего максимального значения. Величина D_n является декрементом затухания.

Полученные результаты позволяют восстановить нормальное физическое представление множества электронов в виде потока бесконечно малых частиц, открытое Д. Томсоном. Только квантовая теория даёт простое физическое объяснение туннельного эффекта как процесса диффузии электронного газа. Решение задачи хорошо согласуется с физическими

представлениями молекулярно – кинетической теории. Такие результаты не могут быть получены с помощью искусственной и произвольной волновой гипотезы Л. Бройля для единичного электрона, противоречащей физическим фактам. Следует вспомнить предостережение И. Ньютона от употребления лишних гипотез: ”Не должно принимать в природе иных причин сверх тех, которые истинны и достаточны для объяснения явлений”.

Выводы. Физическое объяснение туннельного эффекта даётся исключительно на основе квантовой теории М. Планка и А. Эйнштейна. На основе обобщённого квантового принципа Бора и Фейнмана рассматривается статистическая совокупность множества электронов, движение которых имеет случайный характер. Для решения

задачи о прохождении электронов через потенциальный барьер применяется модель электронного газа, позволяющая использовать молекулярно – кинетическую теорию и теорию вероятностей. Дается независимое физическое определение для функции состояния, как электронной плотности вероятности. Приводится точный вывод уравнения Шрёдингера методом энергетических потоков. Показан реальный физический смысл электронного состояния и дискретного энергетического спектра. Туннельный эффект объясняется как физическое явление диффузионного типа. На примере решения этой задачи показана правильность и эффективность квантовой теории и физическая ложность волновой гипотезы Л. Бройля.

Библиографический список

1. Фейнман Р. Ф., Лейтон Р. Б., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 8. М.: Мир. 1965.
2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., 2003.
3. Бор Н. Атомная физика и человеческое познание. М.: Иностран. лит. 1961.
4. Kohn W. The Edge Electron Gas // Phys. Rev. Lett., 81. 3487 (1998).
5. Фейнман Р. Ф., Лейтон Р. Б., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 7. М.: Мир. 1966
6. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Наука, 1986.
7. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. 3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М., 2002.
8. Фейнман Р. Ф., Лейтон Р. Б., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 9. М.: Мир. 1966.
9. Фейнман Р. Ф., Лейтон Р. Б., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 2. М.: Мир. 1966.
10. Фейнман Р. Ф., Лейтон Р. Б., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 4. М.: Мир. 1966.

CALCULATION OF THE PHYSICAL CHARACTERISTICS OF TUNNEL EFFECT ON THE BASIS OF QUANTUM THEORY

G. E. Garber

Saratov State University

The problem of passing of electrons through potential barrier solves by methods of quantum theory, without wave hypothesis. The decision executes for statistical totality of great number electrons, what allows using the model of electron gas and calculating methods of molecular – kinetic theory and theory of probabilities. In accordance with this notion, the definition of the distribution density of electrons gives instead of abstract wave function. It is proved that the density distribution of electrons is solution of Schrödinger's equation. On the basis of quantum theory it is given simple and clear explanation of tunnel effect as real physical phenomenon, instead of formal quantum – mechanics scheme.

ОТ ЭКСПЕРИМЕНТА К ФИЗИЧЕСКОМУ ЗАКОНУ

М.А. Старшов

Саратовский государственный университет

Старшов Михаил Александрович, доцент кафедры прикладной физики

Рассмотрен способ математической переработки данных эксперимента для получения нового физического знания на примере двух исторических исследований в разных областях физики.

Для меня достаточно, если, рассказывая о моем открытии другим, вы будете говорить, что это моё открытие, а не ваше.

ФАЛЕС Милетский,
около 600 лет до н.э.

Загадочна и любопытна история создания и принятия физической наукой одного из наиболее полезных законов – знаменитого закона Ома. Если собрать всё, что пишется об этом в разных источниках, охватывает удивление. Отношение современников к закону и его автору колеблется в широком диапазоне, от мгновенного всеобщего одобрения до полного отрицания, и даже до сообщения об увольнении Георга Ома за его статью со службы личным приказом министра образования Германии.

Время от времени до сих пор появляются всё новые работы, пытающиеся заново осмыслить как сам закон, так и путь, который привёл к нему автора.

Причину такого интереса к закону можно видеть в том, что в работе Ома замечательно подробно

изложены мельчайшие детали его экспериментов, но потом совершенно неожиданно появляется формула, объединяющая все данные измерений. Видимо, готовая формула без вывода оттолкнула физиков, несмотря на её потрясающую точность. Только спустя двенадцать лет новые факты и мысли учёных разных стран, особенно Э.Х. Ленца в России, прояснили несколько идею Ома и сделали привычным этот закон.

Напомним, что Г. Ом замыкал источник электрического тока отрезками однородной проволоки различной длины l , каждый раз измеряя угол поворота X магнитной стрелки, подвешенной над проводником с током. Все опытные данные были сведены в множество таблиц следующего вида:

Таблица 1

Длина x	5	10	15	25	45	85	165	325
Закручивание X (наблюдаемое)	305	282	258	223	178	124	78	44
Закручивание X (расчетное)	305	280	259	224	177	125	79	45

И вот после этих операций Ом «достаёт из рукава» невиданную формулу, найденную неведомым путём:

$$X = \frac{a}{b+l},$$

где a и b – некоторые константы, неизвестным образом найденные Омом, примерно 6800 и 20¼. Совпадение результатов измеренных углов закручивания проволоки со стрелкой и вычисленных по этой формуле впечатляет, но не убеждало современников. Невозможно было, кажется, понять появление именно этих значений постоянных величин a и b .

Об этой давней истории пришлось вспомнить при просмотре учебника физики [1], где в обсуждении понятия средней длины свободного пути молекулы газа неожиданно появляется «формула Сёзерленда», удивительно похожая внешне на формулу Ома:

$$\lambda = \lambda_{\infty} \frac{T}{T+C},$$

«где C – характерная для каждого газа постоянная величина, имеющая размерность температуры и

носящая название постоянной Сёзерленда, λ_{∞} – средняя длина свободного пробега при $T=\infty$ ».

Замечательно красивая молекулярная теория позволяет легко получить выражение для оценки расстояния, которое молекула пролетает без столкновения с другими молекулами, от удара до удара. Предположим, что все молекулы движутся с одной и той же скоростью V , и проследим за одной из них. Она, конечно, изменяет величину и направление скорости при каждом столкновении, но можно мысленно выпрямить её траекторию, считая, что она движется в цилиндре с площадью сечения, равной учетверённой площади сечения самой молекулы. Тогда она столкнётся (провазимодействует) наверняка со всеми молекулами в этом цилиндре. За единицу времени она пролетит расстояние, численно равное своей скорости, зацепив каждую молекулу, которых в объёме такого цилиндра $\pi d^2 V n$. Разделив длину пути молекулы на это число её столкновений, получим среднюю длину свободного пробега

$$\lambda = \frac{1}{\pi d^2 n}.$$

На самом деле, мы должны учитывать различие скоростей молекул и что-нибудь ещё, но это не сильно повлияет на проведённую простую оценку, даст некоторый множитель к этой величине, порядок которой около одной миллионной доли метра. Однако, не это интересно в рассматриваемом аспекте – важно, что на первый взгляд средняя длина свободного пробега НЕ ЗАВИСИТ от температуры. Едва ли меняются при нагревании диаметр молекулы и концентрация их в газе. Видимо, поэтому в учебнике для студентов высших технических учебных заведений так прямо и написано: «Таким образом, длина свободного пробега l не зависит от температуры газа, так как с ростом температуры одновременно возрастают и путь, проходимый молекулой в единицу времени, и число ее столкновений на этом пути» [3].

Однако замена концентрации на давление из основного уравнения молекулярной теории $p=nkT$ как-будто показывает явную пропорциональность длины пробега от температуры, но это, конечно, не так, и важно только для беседы со студентами. Снова приходим к выводу об отсутствии влияния температуры на этот важный параметр газового состояния.

После этого приглядимся к приведённому в [1] графику зависимости средней длины свободного пробега молекул кислорода от температуры. Видно, что нагревание газа до 1000°K увеличивает этот параметр примерно в 2 раза, т.е. всё-таки некоторая зависимость наблюдается. Но каким образом удалось некоему Сазерленду получить его формулу для этой зависимости?

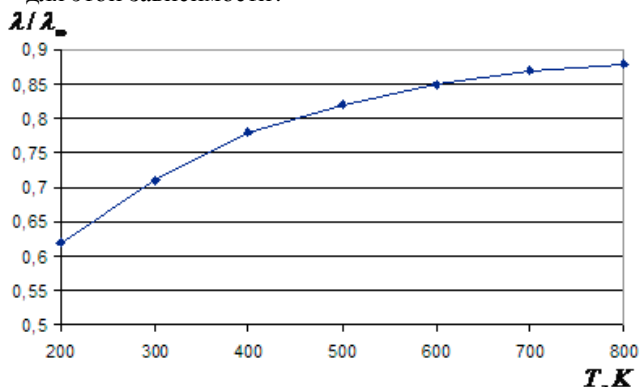


Рис.1. Зависимость длины свободного пробега молекул газа от температуры.

В учебнике Савельева приводится график зависимости длины свободного пробега молекул газа (кислорода) от температуры в диапазоне от нуля до тысячи градусов абсолютной шкалы. Можно перевести эти данные в таблицу.

Таблица 2

T, K	200	300	400	500	600	700	800
λ/λ_∞	0,62	0,71	0,78	0,81	0,84	0,86	0,88

Так вот, вероятнее всего, что этот Сазерленд прошёл тем же путём, что и Георг Ом, и так же как он, не раскрыл секрета этого пути. Если мы сейчас переведём этот график зависимости длины свободного пробега молекул кислорода от 60

температуры в другой, где на одной оси будем откладывать ОБРАТНЫЕ значения температуры, а по другой – обратные значения длины свободного пробега молекул, точнее, отношение предельного значения этой величины к значениям длины свободного пробега при данной температуре, то на графике получим вполне приличную прямую.

Таблица 3

103/T	5	3,3	2,5	2	1,67	1,43	1,25
λ_∞/λ	1,61	1,4	1,33	1,23	1,2	1,16	1,14

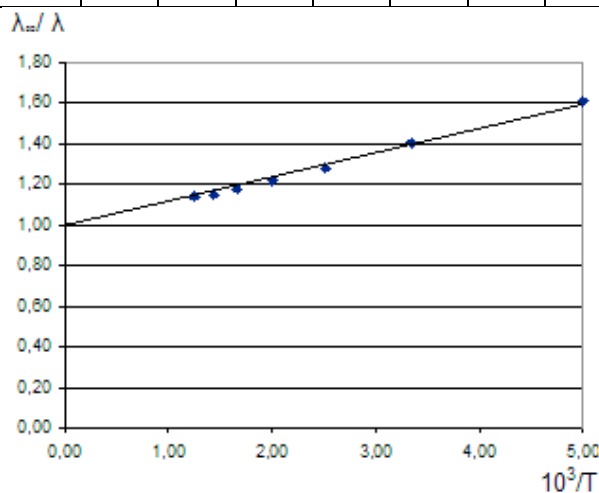


Рис. 2. График в измененных координатах

Помня математическое выражение линейной зависимости двух величин, по графику легко найдём постоянные коэффициенты для формулы Сазерленда:

$$\frac{\lambda_\infty}{\lambda} = k \frac{1}{T} + b.$$

По графику находим, что $b=1$, а $k=121K$. Переобозначив k на C , имеем

$$\frac{\lambda_\infty}{\lambda} = 1 + \frac{C}{T} = \frac{C+T}{T}.$$

Осталось только перевернуть найденную формулу, и приходим к выражению

$$\lambda = \lambda_\infty \frac{T}{T+C}.$$

Именно к такой зависимости неизвестным путём пришёл Сазерленд, а его постоянная оказывается равна 121K, и даже можно оценить погрешность её определения графическим методом. Всё это убеждает в том, что и Ом, и Сазерленд поступали именно так, но не захотели поделить секретом своего метода обработки первичных данных эксперимента для нахождения новой закономерности.

Старый вузовский учебник намекал на изменение эффективного радиуса молекул, что тот же самый, видимо, Сазерленд в 1893 г описывал формулой

$$r = r_0 \sqrt{1 + \frac{C}{T}}. [2].$$

Длина же свободного пробега молекул оценивается с помощью формулы, очень похожей на приписываемую [1] Сазерленду, а о величине C говорится примерно то же, что и в [1]: «Здесь C – некоторая характерная для газа константа. Для воздуха $C=119$, для кислорода $C=138$, для водорода $C=83$, для углекислоты $C=240$ » (между прочим, Советский энциклопедический словарь заметил, что углекислота – неверное название двуокиси углерода). Скорее всего, существует некая закономерная связь постоянной Сазерленда с молярной массой газа.

В заключение следует высказать соображение относительно физического смысла «постоянной Сазерленда», о которой очень немного сказано в учебниках. (Путилов: « C – некоторая характерная для газа константа», Савельев: «характерная для каждого газа постоянная величина, имеющая размерность температуры и носящая названия постоянной Сазерленда», точно так же и Фриш: «величина постоянная для данного газа; она носит название постоянной Сазерленда, ее значения определяются из опытных данных» [4]. Между прочим, в этом учебнике приводится подозрительно точное значение этой константы – $102,7^\circ$ для азота, и с обозначением в градусах Цельсия, а не Кельвина! И величина λ_∞ по этому учебнику есть результат вычисления по формуле, не учитывающей температуры,

$$\lambda = \frac{1}{\pi d^2 n} \dots$$

с небольшими уточнениями в виде корня из двух в знаменателе, для учёта разброса скоростей молекул).

При выводе окончательной формулы мы встречаем выражение

$$\frac{\lambda_\infty}{\lambda} = \frac{C}{T} + 1,$$

откуда видно, что при температуре, равной постоянной C , длина свободного пробега молекул газа ровно вдвое меньше предельного значения. Иначе: постоянная Сазерленда представляет

температуру, при которой длина свободного пробега молекул газа вдвое меньше этой величины при бесконечно большой температуре.

Если бы удалось с приличной точностью измерить длину свободного пробега хотя бы для двух существенно различных температур, уже можно бы определить постоянную Сазерленда, и практически всю его формулу. Скорее всего, именно таким путём он и пришёл к ним из эксперимента, потому что теория едва ли могла ему в этом помочь. Но практическое измерение длины свободного пробега молекул газа с помощью метода молекулярных пучков произведено впервые только в год смерти Сазерленда, в 1911г (Дюнуайе). Точно так же было и в случае Георга Ома и его бессмертного закона, убедительного, хотя и чуточку неприятного для физиков.

Интернет упоминает одного Сазерленда, подходящего для роли автора рассматриваемой идеи и формулы – австралийского физика шотландского происхождения Уильяма Сазерленда (1859-1911). За свою не слишком долгую жизнь У. Сазерленд занимался многими актуальными в то время вопросами физики, публикуя в среднем две статьи в наиболее авторитетном британском физическом журнале.

Проведённая таким образом «реставрация» научной мысли работавшего более века назад учёного не только дань уважения этому талантливому физическому, но и прекрасный воспитательный и обучающий пример для современных учащихся. Это может быть темой поисковой работы школьника, готовящегося к ученической конференции. Уильям Сазерленд должен остаться в нашей памяти, ведь это не единственная его заметная работа, но интересен и сам найденный им путь к физическому закону, от экспериментальных данных через математические преобразования к формуле. На этом пути выясняется физический смысл констант математической формы физического закона, и это особенно важно для практики преподавания физики и других естественнонаучных дисциплин.

Библиографический список

2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1, С.299
3. Путилов К.А. Курс физики, Т.1, М., 1959, С.358
4. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. Т.1, М., 1972. С.133.
5. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. Т.1, М., 1955. С.199.

FROM THE EXPERIMENTAL DATA TO THE PHYSICAL LAW

M.A. Starshov

Saratov State University

The method of mathematical processing of experimental data for obtaining the new physical knowledge on the example of two historical studies in different fields of physics is discussed.

ПРИМЕНЕНИЕ РОЛЕВЫХ ИГР ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СОЦИОКУЛЬТУРНОЙ КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТОВ

И.А. Шаповалова

МОУ «СОШ №31» Кировского района г. Саратова

Шаповалова Ирина Александровна, учитель английского языка высшей категории

Обосновывается значимость ролевых игр в обучении студентов иностранному языку. Детально описываются подготовка ролевых игр и классификация устных упражнений.

Одной из сторон деятельности преподавания иностранного языка является формирование социокультурной и если назвать шире, коммуникативной компетенции обучаемых. Социокультурная компетенция это приобщение к культуре, традициям, реалиям стран/страны изучаемого языка в рамках тематических сфер и ситуаций общения, отвечающих опыту, интересам, психологическим особенностям обучаемых на разных этапах; формирование умения представлять свою страну, её культуру в условиях межкультурного общения [1]. Реализация практической цели обучения - выработка у студентов умений соотносить существующие языковые средства с задачами и условиями общения - не выполнима без формирования навыков организации речевого общения с учётом социальных норм поведения, т.е. широкого фона предварительных условий, учитывающих особенности национальной культуры страны изучаемого языка. При организации вербальной стратегии, учитывающей эту сторону коммуникации, речевая деятельность обучаемых будет успешной.

Для эффективно решения профессиональной, воспитательной, образовательной и развивающей целей обучения иностранному языку требуются знания исторических, культурных, религиозных, политических, экономических особенностей тех стран и народов, язык которых преподаётся студентам в вузе. Это обстоятельство обуславливает статус иностранного языка как дисциплины, способствующей гуманизации образования. Студент в процессе обучения выступает как его активный и полноправный участник, а сам процесс направлен на развитие самостоятельности студента, свободы его языкового творчества и личной ответственности за результативность обучения.

Существуют методические положения, лежащие в основе формирования социолингвистической компетенции:

- коммуникативно-ситуативная направленность языкового общения;
- ролевая организация учебного процесса;
- вариативность процесса общения, использование разнообразных способов реализации коммуникативных задач;

- изучение системы страноведческих и лингвострановедческих фоновых знаний;
- аутентичность использованных материалов;
- максимально приближённые к реальной ситуации формы работы.

Достижение социокультурной компетенции посредством активизации деятельности студентов возможно через использование ситуативно-обусловленного обучения языку с помощью коммуникативно-ориентированных упражнений, к которым можно отнести ролевые игры [2,3].

Ролевая игра может быть определена как форма имитационного моделирования условий предстоящей профессиональной деятельности. В ходе её реализации участники игры развивают или совершенствуют профессионально-ориентированные умения.

Ролевые игры нашли широкое применение в различных областях знаний, в том числе и в практике преподавания иностранного языка, так как служат решению задачи выработки профессионально-ориентированных умений в процессе действия, т. е. в результате решения самим обучаемым различных проблемных задач.

Использование ролевых игр в процессе языкового обучения должно создать условия, при которых ролевое общение становится стимулом к развитию спонтанной творческой речи обучаемых. Для этого от преподавателя требуется:

- чётко обозначить задания и распределить ролевые отношения в игре;
- создать конкретный, лично-значимый контекст, что способствует идентификации студента с героем, порождает его личное поведение, участие в игре;
- обеспечить игре динамичный, интересный, многообразно организованный и ситуативный характер, связать её с решением определённых проблем и коммуникативных задач;
- создать дружелюбную и лёгкую атмосферу, в которой студенты осознают не только необходимость, но и испытывают потребность выразить свою точку зрения (для этого преподаватель оказывает обучаемым поддержку и доверие, даёт им индивидуальные задания или допускает определённую степень самостоятельности в проведении отдельных фрагментов игры);

- учитывать возрастные, личностные особенности участников игры, тип учебного заведения.

Ролевой игре предшествует стадия подготовки. Студентам предлагается языковой материал, обладающий следующими основными характеристиками. Все упражнения направлены на формирование социолингвистической компетенции и содержат лингвострановедческую информацию как одну из составляющих этой компетенции. Предложенные материалы аутентичны, они воссоздают реальные ситуации и проблемы деловой жизни стран изучаемого языка в условиях практического занятия, что способствует более глубокому и полному усвоению студентами лексики и грамматики, связанных с рассматриваемой проблематикой. В материал включаются задания открытого типа, предполагающие самостоятельный поиск студентами правильных ответов. Это стимулирует их речевую активность и обращение к лексическим реалиям изучаемого языка.

Что касается типов упражнений, то они должны проводиться с учётом структуры самого процесса обучения речевому общению: преподавание (тренировка) и учение (практика). Основные типы упражнений, направленных на формирование речевых навыков ролевого общения, - это условно-речевые и речевые упражнения. Первые направлены на формирование речевых навыков, способных к переносу при имитации процесса коммуникации. Речевые упражнения развивают речевые умения, сформированные ранее; они свободны для закрепления от определённого языкового материала. Выполнение этих упражнений составляет основу целенаправленной активизации, которая должна перейти к этапу нерегулируемой, ненаправленной активизации, основными характеристиками которой выступают творческая работа студента с материалом, выбор индивидуальной линии речевого поведения, свободное проявление его инициативы, выявление собственных интересов и потребностей, желание экспериментировать и создавать новое.

Кроме того, студентам даётся обширная социокультурная информация: знакомство с традициями и сторонами бытовой, организационной, производственной и управленческой культуры стран изучаемого языка. Чем больше информированы участники игры об этих сторонах жизни носителей языка, тем эффективнее языковое общение и весомее достигнутые результаты.

Активизация деятельности студентов в процессе проведения ролевой игры обеспечивается:

- использованием технических средств;

- сочетанием различных режимов работы (индивидуальной, фронтальной, групповой, парной) и стимулов для обучения (зрительных, слуховых, аудиовизуальных, вербальных).

Заслуживает внимание и психологический аспект приобретения лингвистической компетенции в процессе проведения деловых игр [4,5]. Когда студенты имеют перед собой определённую поведенческую задачу, они пытаются выработать собственные подходы к её решению, применяя заданные роли, перевоплощаясь в определённых персонажей и усваивая модели поведения жителей зарубежных стран, что служит дополнительным стимулом развития когнитивных и эмоциональных способностей. Следствием этого является совершенствование структуры речи, правил грамматического построения, развитие всех языковых навыков, осознание единства формы и содержания высказывания, что обеспечивает его относительную безошибочность. Более того, студенты усваивают правила и нормы поведения той страны, на материале которой проводится занятие.

По мнению автора работы [2], «деловая игра способствует овладению способами порождения логичных, последовательных монологических высказываний вначале с опорой на созданные самими обучаемыми сигналы, а далее без использования опорных сигналов».

Игра состоит из нескольких этапов.

На первом этапе осуществляется повторение пройденного материала и подготовка к игре. Например, студенты являются работниками туристического агентства. Они работают в группах по три человека и составляют краткий отчёт о видах транспорта, достоинствах и недостатках каждого вида транспорта, решают вопросы, куда можно поехать на отдых. Слабым студентам преподаватель может предложить вспомогательный материал.

На втором этапе происходит структурирование материала. Каждая группа студентов самостоятельно подготавливает лист опорных сигналов.

На третьем этапе один из участников каждой команды представляет преподавателю свой лист сигналов и рассказывает о какой-либо стране, городе, куда планируется поездка.

Четвёртый этап - творческий. Преподаватель раздаёт карточки с названиями различных стран и городов. Каждый из участников рассказывает о поездке в ту или иную страну или город. Студенты могут использовать фотографии и слайды для рассказа.

В конце занятия необходимость в листе опорных сигналов отпадает, так как у студентов формируется алгоритм рассказа.

Студенты могут также самостоятельно найти информацию о любой интересующей их стране и представить её в виде схемы. Далее с помощью импровизации они рассказывают о незнакомой стране.

В данной работе мы подробно остановились лишь на одной ролевой игре.

В целом ролевые игры призваны решать важные задачи в формировании социокультурной компетенции студентов:

- предлагают новый взгляд на широкий круг традиционных деловых вопросов и приглашают к анализу существующих подходов к серьёзным проблемам деловой жизни зарубежных стран;

- дают возможность развить навыки языкового общения студентов в ситуациях деловой жизни на материале стран изучаемого языка;

- развивают навыки межличностного общения и помогают студентам максимально полно выразить себя;

- расширяют их языковой, общий и профессиональный кругозор, позволяют знакомиться с культурными и духовными традициями других стран и народов и понять их.

Библиографический список

1. Примерные программы «Стандарты второго поколения». М. 2010.
2. Ниязова А.Е. Игра как средство активизации учебно- речевой деятельности при овладении говорения на английском языке. Санкт-Петербург. 2008.
3. Баграмянц Н.Л. Значение ролевых игр в формировании социокультурной компетенции. М 2006.
4. Зимняя И.А. Психология обучения неродному языку. М. 1989.
5. Зимняя И.А. Учебное пособие по курсу психологии в программе педагогической практики «Психология обучения видам речевой деятельности и аспектам языка» М.1977.

THE USING OF ROLE PLAYS FOR FORMATION OF SOCIO CULTURAL COMPETENCE OF STUDENTS

Shapovalova I.A.

Saratov Secondary School № 31

It is argued the significance of role plays in teaching of students a foreign language. It is presented the detailed description of preparing for role games and classification of oral exercises.

**О ПРОГРАММЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ПРАКТИКИ
СТУДЕНТОВ-ФИЗИКОВ БАКАЛАВРИАТА**

А.С. Шаповалов, А.В. Сапрыгин, В.С. Кошелев

Саратовский государственный университет,

Кафедра прикладной физики

Шаповалов Александр Степанович, д.ф.-м.н., профессор*Сапрыгин Алексей Владимирович*, заведующий учебно-исследовательской лабораторией кафедры*Кошелев Василий Сергеевич*, д.т.н., профессор

Представлены результаты разработки рабочей программы научно-исследовательской практики, соответствующей направлению подготовки бакалавров 011200 «Физика» и профилю подготовки «Прикладная физика».

Данная работа является продолжением запланированного кафедрой прикладной физики СГУ цикла публикаций о рабочих программах практик бакалавров-физиков. Как уже отмечали авторы в своих статьях, опубликованных ранее в сборнике «Вопросы прикладной физики» (2011. Вып.18), современный этап развития высшей школы в России характеризуется переходом от системы специалитета к двухуровневой системе образования - бакалавриату и магистратуре. Этот переход вызвал появление новых нормативных документов - федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования, утверждённых приказами Министерства образования и науки Российской Федерации и регламентирующих подготовку выпускников квалификаций «бакалавр» (приказ № 711 от 08.12.2009) и «магистр» (приказ № 637 от 18.11.2009). Возникла необходимость создания основных образовательных программ и учебных планов, соответствующих всем требованиям указанных стандартов.

В данной статье приводятся результаты разработки рабочей программы научно-исследовательской практики (НИП), выполненной на кафедре прикладной физики СГУ. Программа НИП соответствует требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования, положениям основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению 011200 «Физика» (профиль подготовки «Прикладная физика»), стандарта СГУ СТО 1.01 2005 «Учебные и производственные практики, порядок организации и проведения» и выполнена по установленной форме.

В условиях двухуровневой системы высшего образования роль практик и самостоятельной работы студентов существенно повышается. Научно-исследовательская практика студентов занимает центральное место среди других практик в системе подготовки выпускников исследовательского университета. НИП закрепляет и углубляет их теоретическую подготовку, формирует перспективные научные интересы, практические навыки и компетенции в сфере будущей профессиональной деятельности.

Программа практики предусматривает получение навыков работы с экспериментальными установками специальных практикумов учебно-исследовательской лаборатории (УИЛ) кафедры и выполнение научно-исследовательского задания по одному из научных направлений кафедры прикладной физики: исследование динамических и флуктуационных характеристик радиоэлектронных и квантовых приборов и систем; теоретическое и экспериментальное исследование акустоэлектронных, оптоэлектронных и акустооптических приборов и систем; теплофизика радиоэлектронных и квантовых приборов и систем; теплофизическое и термомеханическое проектирование узлов электронных приборов; тепловые эффекты в биологических объектах; прикладная оптика и спектроскопия и т.д. Используя консультации и помощь своего научного руководителя, студент также изучает специальную литературу и другую научно-техническую информацию по теме (заданию НИП), осуществляет её сбор, анализ и систематизацию; участвует в написании статей в научные журналы по теме своей научно-исследовательской работы; выступает с докладами на конференциях.

Подготовка бакалавра имеет комплексный, многоцелевой, междисциплинарный характер и публикуемая программа НИП является одной из первых попыток создания подобных программ для будущих бакалавров-физиков. Естественно, в дальнейшем она будет совершенствоваться.

Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам кафедры прикладной физики, а также доценту кафедры радиотехники и электродинамики, к.ф.-м.н. Наталии Георгиевне Олейник, принимавшим участие в обсуждении рабочей программы, за ценные методические рекомендации и помощь при создании программы.

Ниже приводится текст программы НИП, одобренной на заседании кафедры прикладной физики и утверждённой проректором СГУ по учебно-методической работе.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского
Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ

"__" _____ 20__ г.

Программа учебной практики
Научно-исследовательская практика

Направление подготовки
011200 “Физика”

Профиль подготовки
Прикладная физика

Квалификация (степень) выпускника

Бакалавр

Форма обучения - очная

Саратов
2011

1. Цель научно-исследовательской практики

Практика - это вид учебной деятельности, основным содержанием которой является выполнение практических учебных, учебно-исследовательских, научно-исследовательских, производственных, педагогических, творческих заданий на предприятии или в учреждении, в средствах массовой информации (СМИ), в структурном подразделении университета (кафедре, институте и т.д.), соответствующем характеру профессиональной деятельности будущего выпускника. Она позволяет эффективно сочетать теоретические знания с практической подготовкой, и нацелена на приобретение студентам умений и навыков по избранному направлению.

Практика студентов является составной частью подготовки по образовательной программе высшего профессионального образования.

Целью проведения научно-исследовательской практики (НИП) является закрепление и углубление основ теоретической подготовки обучающегося и приобретение им практических навыков и компетенций в сфере профессиональной деятельности.

Сферой профессиональной деятельности выпускников являются: государственные и частные научно-исследовательские и производственные организации, связанные с решением физических проблем;

учреждения системы высшего и среднего профессионального образования, среднего общего образования.

Область профессиональной деятельности выпускников по профилю подготовки «Прикладная физика» включает научно-исследовательские центры, институты РАН, промышленные лаборатории, государственные органы управления, образовательные учреждения и организации различных форм собственности, организации индустрии и бизнеса, осуществляющие

- разработку и внедрение радиоэлектронных, акустоэлектронных, оптоэлектронных и квантовых приборов; альтернативных источников энергии;

- моделирование радиоэлектронных, оптических, теплофизических, аэро- и гидродинамических процессов;

- разработку и применение спектроскопических, радиофизических и теплофизических методов исследования вещества.

Объектами профессиональной деятельности бакалавров по профилю подготовки «Прикладная физика» являются радио-, акусто- и оптоэлектронные системы (в том числе импульсные), квантовые приборы, альтернативные источники энергии; молекулярные структуры вещества, обладающие высокой биологической активностью, в частности основания нуклеиновых кислот и аминокислоты, а также другие биосистемы, широко применяемые в области информационных технологий, здравоохранения и экологии.

2. Задачи научно-исследовательской практики

- закрепление теоретических знаний, полученных при изучении базовых дисциплин;
- приобретение специальных навыков, необходимых для обработки, анализа и синтеза физической информации;
- освоение методов наблюдения, измерения и контроля параметров физических процессов;
- приобретение способности использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области информатики и современных информационных технологий, развитие навыков использования программных средств и навыков работы в компьютерных сетях; приобретение умения создавать базы данных и использовать ресурсы Интернет;
- закрепление навыков программирования, моделирования физических процессов, численного решения физических задач.

В соответствии с профилем подготовки:

- принятие участия в конкретном исследовании, выполняемом на кафедре прикладной физики СГУ и в учебно-исследовательской лаборатории «Прикладная физика»;
- усвоение приемов, методов и способов обработки, представления и интерпретации результатов проведенных практических исследований;
- приобретение практических навыков в будущей профессиональной деятельности.

Цели и задачи научно-исследовательской практики отвечают задачам профессиональной подготовки бакалавров по направлению 011200 «Физика» по освоению методов научных исследований и их применению в инновационной деятельности.

3. Место научно-исследовательской практики в структуре ООП бакалавриата

«Основная образовательная программа высшего профессионального образования» бакалавриата профиля подготовки «Прикладная физика» направления 011200 «Физика» предусматривает учебные (ознакомительную, вычислительную, научно-исследовательскую) и производственную практики.

Научно-исследовательская практика бакалавров 3 курса (6 семестр) является обязательной и представляет собой вид учебных занятий, непосредственно ориентированных на профессионально-практическую подготовку обучающихся.

Научно-исследовательская практика интегрирована в систему специальных курсов и практик, разработанных на кафедре прикладной физики, имеющих целью подготовку бакалавров профиля “Прикладная физика” направления 011200 “Физика” к следующим видам профессиональной деятельности:

- научно-исследовательская;
- научно-инновационная;
- организационно-управленческая;
- педагогическая (в установленном порядке в соответствии с полученной дополнительной квалификацией) и просветительская деятельность.

Подготовка выпускника по профилю «Прикладная физика» имеет комплексный, многоцелевой, междисциплинарный характер, обеспечивает возможность деятельности, связанной с решением прикладных и фундаментальных задач современной радио-, акусто-, акусто- и оптоэлектроники, аэро- и гидродинамики, спектроскопии, теплофизики, квантовой химии и биохимии.

В результате прохождения научно-исследовательской практики студент закрепляет и углубляет свою теоретическую подготовку и приобретает практические навыки и компетенции в сфере профессиональной деятельности. Полученные знания и практические навыки необходимы студентам и для изучения последующих курсов - “Статистическая физика”, “Прикладные проблемы и методы физики шумов”, “Акусто- и оптоэлектроника”, “Импульсные устройства прикладной физики”, “Теплоэнергетические процессы в электронных устройствах”, “Теория оптического излучения”, “Импульсные сигналы в системах прикладной физики”, “Применение колебательной и электронной спектроскопии для анализа физико-химических свойств вещества” и других, а так же успешного прохождения в будущем производственной практики.

Для прохождения научно-исследовательской практики необходимы знания курсов общей физики, курсов “Физические основы работы электронных и квантовых приборов”, “Термодинамика”, “Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники”, “Прикладная аэродинамика”, “Радиоэлектронные аспекты теории автоматического управления”, “Молекулярная динамика”, “Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики”, “Численные методы и математическое моделирование” и других, методов математического анализа и программирования, теории функций комплексного переменного, дифференциальных и интегральных уравнений.

4. Формы проведения научно-исследовательской практики

Научно-исследовательская практика проводится в форме лабораторных и практических занятий с использованием современных образовательных и информационных технологий. Разделом практики является научно-исследовательская работа студентов по одному из научных направлений кафедры прикладной физики.

5. Место и время проведения научно-исследовательской практики

Научно-исследовательская практика бакалавров, обучающихся по профилю подготовки «Прикладная физика» направления 011200 “Физика” проводится в учебно-исследовательской лаборатории “Прикладная физика”. В соответствии с “Основной образовательной программой высшего профессионального образования” длительность и сроки проведения научно-исследовательской практики – 4 недели (22 июня - 19 июля).

6. Компетенции обучающегося, формируемые в результате прохождения научно-исследовательской практики.

- способность использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области математики и естественных наук (ОК-1);
- способностью приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии (ОК-3);
- способностью собирать, обрабатывать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий данные, необходимые для формирования суждений по соответствующим социальным, научным и этическим проблемам (ОК-4);
- способностью добиваться намеченной цели (ОК-6);
- способностью владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, иметь навыки работы с компьютером как средством управления информацией (ОК-12);
- способностью к письменной и устной коммуникации на родном языке (ОК-13);
- способностью использовать в познавательной и профессиональной деятельности навыки работы с информацией различных источников (ОК-16);

- способностью использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области информатики и современных информационных технологий, навыки использования программных средств и навыков работы в компьютерных сетях; умение создавать базы данных и использовать ресурсы Интернет (ОК-17);
- способностью использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач (ПК-1);
- способностью применять на практике базовые профессиональные навыки (ПК-2);
- способностью эксплуатировать современную физическую аппаратуру и оборудование (ПК-3);
- способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (в соответствии с профилем подготовки) (ПК-4);
- способностью применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов физических исследований (в соответствии с профилем подготовки) (ПК-5);
- способностью пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки) (ПК-6);
- способностью формировать суждения о знании и последствиях своей профессиональной деятельности с учётом специальных, правовых, этических и природоохранных аспектов (ПК-7);
- способностью понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований (ПК-8);
- способностью понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования (ПК-9);
- способностью понимать и излагать получаемую информацию и представлять результаты физических исследований (ПК-10).

7. Структура и содержание научно-исследовательской практики

Общая трудоемкость научно-исследовательской практики составляет 6 зачетных единиц 216 часов.

№ п/п	Разделы (этапы) практики	Виды учебной работы на практике, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Формы текущего контроля
		Лек	Прак	Лаб	НИР	Сам	
1	Подготовительный этап. Получение студентами заданий на научно-исследовательскую работу по выбранному научному направлению кафедры прикладной физики. Получение студентами учебных заданий на НИП по другим научным направлениям КПФ. Инструктаж по технике безопасности.		2				
2	Исследование динамических и флуктуационных характеристик радиоэлектронных и квантовых приборов и систем.			20	20		Собеседование
3	Теоретическое и экспериментальное исследование акустоэлектронных, оптоэлектронных и акустооптических приборов и систем.			20	20		Собеседование
4	Теплофизика радиоэлектронных и квантовых приборов и систем. Теплофизическое и термомеханическое проектирование узлов электронных приборов..			20	20		Собеседование
5	Тепловые эффекты в биологических объектах.			20	20		Собеседование
6	Прикладная оптика и спектроскопия.			20	20		Собесед-ие
7	Анализ результатов научно-исследовательской работы.		4				Собеседование
8	Обработка, анализ и обобщение информации, полученной в ходе научно-исследовательской практики. Подготовка отчета о практике.		6				
9	Защита отчётов о научно-исследовательской практике.		4				Зачёт
	ИТОГО – 216 часов		16	100	100		

Содержание научно-исследовательской практики

1. Подготовительный этап. Инструктаж по технике безопасности
 - 1.1. Получение студентами заданий на научно-исследовательскую работу по выбранному научному направлению кафедры прикладной физики. Получение студентами учебных заданий на НИП по другим научным направлениям КПФ.
 - 1.2. Меры обеспечения безопасности при работе на лабораторных установках спецпрактикумов учебно-исследовательской лаборатории (УИЛ) кафедры.
 - 1.3. Меры обеспечения безопасности при работе с ПК.
 - 1.4. Место, время и порядок прохождения научно-исследовательской практики.
 - 1.5. Требования, предъявляемые к отчёту по практике.
2. Исследование динамических и флуктуационных характеристик радиоэлектронных и квантовых приборов и систем.
 - 2.1. Расчёт и исследование динамических параметров СВЧ генератора на диоде Ганна.
 - 2.2. Расчёт и исследование динамических параметров СВЧ генератора на ЛПД.
 - 2.3. Расчёт и исследование динамических параметров СВЧ усилителя на биполярном транзисторе.
 - 2.4. Расчёт и исследование динамических параметров СВЧ усилителя на полевом транзисторе.
 - 2.5. Расчёт и исследование коэффициента шума усилителя на биполярном транзисторе.
 - 2.6. Расчёт и исследование коэффициента шума усилителя на полевом транзисторе.
 - 2.7. Импульсы мощного генератора с электронным коммутатором.
 Ознакомиться с физическими процессами, происходящими при формировании коротких высоковольтных импульсов мощным генератором с электронным коммутатором. Провести предварительный расчёт электрической схемы такого генератора с заданными характеристиками, выполнить монтаж макета генератора и необходимые предпусковые наладочные работы (проверку работоспособности отдельных блоков и т.д.).
 Используя эквивалентную схему формирующего каскада, оценить параметры формы выходного импульса генератора. Рассчитать корректирующую RL - цепь, обеспечивающую необходимый коэффициент сглаживания неравномерности вершины импульсов.
 - 2.8. Формирование высоковольтных микросекундных импульсов.
 Ознакомиться с современными устройствами и способами формирования высоковольтных микросекундных импульсов. Провести анализ основных возможностей используемых формирующих устройств и их современных предельных параметров. Провести сравнение применяемых формирователей по их параметрам и эксплуатационным характеристикам.
 - 2.9. Современная импульсная схемотехника.
 Изучить специальную литературу, материалы конференций и симпозиумов (в том числе и в сети Internet) по вопросам генерации и формирования электрических импульсов. Ознакомиться с современными устройствами и способами генерации импульсов. Провести сравнение применяемых генерирующих устройств по их параметрам и эксплуатационным характеристикам.
 - 2.10. Применение ЭВМ для расчёта импульсных формирующих цепей.
 Изучить специальную литературу по формированию мощных видеоимпульсов искусственными линиями. Ознакомиться с методами расчёта импульсных формирующих цепей и программами, позволяющими с помощью ЭВМ исследовать форму видеоимпульсов. Провести расчёт и исследовать влияние потерь энергии в индуктивностях и ёмкостях двойной искусственной линии на форму выходного импульса.
3. Теоретическое и экспериментальное исследование акустоэлектронных, оптоэлектронных и акустооптических приборов и систем.
 - 3.1. Теоретическое и экспериментальное исследование акустоэлектронных, приборов и систем.
 - 3.2. Теоретическое и экспериментальное исследование оптоэлектронных приборов и систем.
 - 3.3. Теоретическое и экспериментальное исследование акустооптических приборов и систем.
 - 3.4. Теоретическое и экспериментальное исследование систем оптической обработки информации.
4. Теплофизика радиоэлектронных и квантовых приборов и систем. Теплофизическое и термомеханическое проектирование узлов электронных приборов.
 - 4.1. Расчёт подогревателей вакуумных электронных приборов.

Изучить литературу по физике работы катодно-подогревательных узлов (КПУ) электро-вакуумных приборов (ЭВП). Изучить литературу по технологии изготовления подогревателей ЭВП. Изучить литературу по методам теплового расчёта подогревателей. Разработать номограммы для расчёта кернов подогревателей, изготовленных из различных материалов (вольфрама, молибдена и т.д.). Выполнит расчёты геометрических размеров подогревателей (диаметра и длины керна подогревателя). Оценить температурные перепады между керном подогревателя и керном катода (различной природы). Оценить перспективу применения «залитых» подогревателей при разработке КПУ.

4.2. Расчёт КПУ СВЧ приборов.

Назначение и принцип работы КПУ СВЧ прибора. Типы КПУ в СВЧ приборах и их характеристики. Методы расчёта КПУ и его элементов. Методика расчёта оптимальных размеров элементов КПУ. Пути повышения экономичности КПУ. Физические процессы при прохождении электрического тока через эмиттер керна катода. Физический смысл коэффициентов Джоуля и Пельтье для оксидного покрытия. Методика расчёта температурного перепада по оксидному покрытию при стационарных и импульсных режимах работы. Методика расчёта долговечности КПУ по электронной эмиссии.

4.3. Исследование тепловых эффектов в замедляющей системе СВЧ прибора.

Назначение и принцип работы замедляющей системы (ЗС) СВЧ прибора. Методы крепления замедляющей системы в СВЧ приборе (пайка, треугольное крепление ЗС в керамических стержнях и т.д.) Методы расчёта распределения электронного потока в ЗС. Методы охлаждения внешней поверхности СВЧ прибора. Влияние температурного поля ЗС на выходные параметры прибора. Влияние температуры внешней поверхности оболочки ЗС на долговечность и надёжность прибора.

4.4. Исследование тепловых эффектов в коллекторе СВЧ прибора.

Назначение и принцип работы коллекторов СВЧ приборов. Методика электротеплового расчёта оптимальных конструкций коллекторов. Методы расчёта распределения плотности электронного потока по внутренней поверхности коллектора. Понятие функции цели для расчёта минимальных геометрических размеров коллектора. Методы оценки весовых коэффициентов в функции цели. Методика расчёта эффективного оребрения внешней поверхности коллектора. Ламинарные и турбулентные течения в охлаждающих системах внешней поверхности коллектора. Методика расчёта оптимального числа рёбер в зависимости от числа Рейнольдса, характеризующего тип течения жидкости в каналах охлаждения. Вапоронный эффект охлаждения коллектора и область его применения. Многосекционные конструкции коллекторов и пути снижения кинетической энергии электронов на внутренней поверхности коллектора. Природа плазменных «факелов» на внутренней поверхности коллектора и их влияние на распределение электронного потока в коллекторе.

4.5. Исследование тепловых эффектов в магнетроне.

Принцип работы магнетрона. Методика расчёта распределения электронного потока по ламели магнетрона. Методика расчёта температурного поля в ламели магнетрона в зависимости от его электронно-оптических характеристик. Методика расчёта термонапряжений в ламели под влиянием электронного потока. Законы поглощения электронного потока в электродах ЭВП, и влияние эффекта поглощения на структуру и термонапряжения в ламелях в зависимости от энергетических характеристик электронного потока.

5. Тепловые эффекты в биологических объектах.

5.1. Тепловые процессы в тканях и органах биологических объектов при воздействии энергетических пучков.

Тепловые процессы в тканях и органах биологических объектов при воздействии СВЧ излучения. Тепловые процессы в тканях и органах биологических объектов при воздействии лазерных пучков. Влияние биологических характеристик объекта и энергетических характеристик пучков на температуру и состояние объекта. Тепловые задачи, связанные с нагревом металлических наночастиц, внедрённых в элементы биологических объектов.

6. Прикладная оптика и спектроскопия.

6.1. Влияние водородной связи на структуру и колебательные спектры комплементарной пары оснований нуклеиновых кислот аденин-тимин.

Рассмотреть влияние водородных связей на колебательные ИК и КР спектры многоатомных молекул. Рассмотреть роль и типы водородных связей между основаниями нуклеиновых кислот в комплементарных парах. Проанализировать ИК и КР изолированных молекул аденина и тимина. Определить влияние водородных связей на ИК и КР спектры комплементарной пары аденин- тимин.

6.2. Расчёт масштабирующих множителей Пуляя для квантово-механических силовых полей молекул в возбуждённых электронных состояниях.

6.3. Анализ спектров резонансной флуоресценции молекул при лазерном возбуждении с применением методов *ab initio* и функционала плотности (DFT - методов).

6.4. Туннельные эффекты при колебаниях заместителей в ароматических соединениях и их идентификация по смещениям атомов заместителей.

6.5. Предсказательные методы квантовой механики для оценки частот колебаний молекул в возбуждённых электронных состояниях. Метод частотных сдвигов. Метод шкал для масштабирования частот.

6.6. Спектроскопия водородоподобных атомов. Постановка задачи о тонком сдвиге S -уровней энергии водородоподобных атомов.

6.7. Проблема движения материальной точки в центрально-симметричном поле и движение под действием силы, обратно пропорциональной квадрату расстояния до центра силы. Задача двух тел в классической механике и в нерелятивистской квантовой механике. Задача о связанных состояниях двух частиц в теории Дирака. Современные данные о лидирующих релятивистских поправках, зависящих от отношения масс частиц.

6.8. Задача об уровнях энергии водородоподобных атомов в квазипотенциальном подходе. Математический аппарат, используемый в исходных задачах на связанные состояния двух частиц в квазипотенциальном подходе. Влияние движения ядра на величину тонкого сдвига уровней энергии водородоподобных атомов.

6.9. Изучение параллельного и перекрёстного обмена двумя фотонами между частицами водородоподобного атома. Расчёт матричной структуры для этих диаграмм. Вычисление выражения для поправки к $1S$ -уровню энергии для этих диаграмм обмена двумя фотонами.

6.10. Анализ выражения для поправки к $1S$ -уровню энергии от двухфотонных диаграмм обмена. Нахождение тонкого вклада в тонкий сдвиг S -уровней энергии для исследуемых диаграмм.

6.11. Составить обзор литературы по исследованию взаимодействий двухчастичных квантовых релятивистских систем и привести современные теоретические и экспериментальные данные о тонком сдвиге уровней энергии в атоме водорода. Изучить правила диаграммной техники Фейнмана. Ознакомиться с правилами контурного интегрирования и расчёта матричных элементов амплитуды рассеяния.

7. Анализ результатов научно-исследовательской работы. (Проводится совместно с научным руководителем).

8. Обработка, анализ и обобщение информации, полученной в ходе научно-исследовательской практики. Подготовка отчета о практике.

9. Защита отчётов о научно-исследовательской практике.

8. Образовательные и научно-исследовательские технологии, используемые на научно-исследовательской практике.

При проведении научно-исследовательской практики используются и традиционные технологии сообщающего обучения, предполагающие передачу информации в готовом виде. К ним относятся: аудиторные занятия в форме лекций с использованием лекционных демонстрационных опытов; практические занятия (семинары), где студенты решают задачи, используя современное программное обеспечение персональных компьютеров; лабораторные занятия в учебных практикумах учебно-исследовательской лаборатории “Прикладная физика”; самостоятельная работа с литературой в научной библиотеке университета; самостоятельная работа в компьютерном классе с использованием доступа к сети Internet и программного обеспечения для работы с графической, аудио- и видеoinформацией. Использование традиционных технологий необходимо и обеспечивает высокий уровень профессионального образования студентов, регулярно посещающих аудиторные занятия. Они также формируют умения систематизировать, обобщать, извлекать из учебно-методической литературы значимую информацию и т.п.

В ходе научно-исследовательской практики используются и новые образовательные технологии обучения: демонстрационные программы; информационно - справочные системы; электронные учебники. Данные технологии обеспечивают более наглядную подачу материала за счет мультимедиа. Использование электронных учебников позволяет разгрузить преподавателя и увеличить заинтересованность студентов в учебе. При работе с мультимедийными программами обеспечивается обратная связь, осуществляется быстрый поиск нужной информации, экономится время при многократных обращениях к гипертекстовым объяснениям; наряду с кратким текстом, объяснения сопровождаются демонстрацией анимационных эффектов и синхронным озвучиванием.

Разделом практики является научно-исследовательская работа обучающегося. Используя консультации и помощь своего научного руководителя, студент

- участвует в проведении научных исследований или выполнении технических разработок по одному из научных направлений кафедры прикладной физики и учебно-исследовательской лаборатории “Прикладная физика”;

- изучает специальную литературу и другую научно-техническую информацию по теме (заданию), осуществляет её сбор, анализ и систематизацию;

- составляет отчеты (разделы отчета) по теме или её этапу;

- участвует в написании статей в научные журналы по теме научно-исследовательской работы;

- выступает с докладом на конференции.

9. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов на научно-исследовательской практике

9.1 Вопросы для самостоятельной работы студентов

1. Какие типы радиоэлектронных и квантовых приборов вам известны ?
2. Принцип действия клистрона.
3. Принцип действия ЛБВ.
4. Принцип действия магнетрона.
5. Принцип действия биполярного транзистора.
6. Принцип действия полевого транзистора.
7. Принцип действия диода Ганна.
8. Принцип действия ЛПД.
9. Принцип действия лазера.
10. Принцип действия мазера.
11. Что представляет собой аналоговый сигнал ?
12. Как формируются аналоговые сигналы ?
13. Что представляет собой импульсный сигнал ?
14. Как формируются импульсные сигналы ?
15. Что представляет собой цифровой сигнал ?
16. Как формируются цифровые сигналы ?
17. Какие флуктуационные процессы протекают в электронных приборах ?
18. Какова физическая природа дробовых шумов в электронных приборах ?
19. Какова физическая природа тепловых шумов в электронных приборах ?
20. Что представляет собой фликкер-шум в электронных приборах ?
21. Какие модели фликкер-шума вам известны ?
22. В каких элементах электровакуумных электронных приборах протекают тепловые процессы ?
23. Как влияют тепловые процессы на работу электровакуумных электронных приборов ?
24. Как влияют тепловые процессы на работу твердотельных электронных приборов ?
25. Что такое тепловая оптимизация конструкций вакуумных радиоэлектронных приборов и систем.
26. Что такое тепловая оптимизация конструкций твердотельных радиоэлектронных приборов и систем.
26. Какова связь надежности и долговечности вакуумных и твердотельных радиоэлектронных и квантовых приборов с тепловыми процессами ?
27. Что представляет собой акустоэлектронный прибор ?
28. Что представляет собой акустооптический прибор ?
29. Принцип действия акустооптического модулятора.
30. Принцип действия акустооптического дефлектора.
31. Принцип действия акустооптического анализатора спектра.
32. Что представляет собой оптоэлектронный прибор ?
31. Принцип действия акустооптического модулятора.
32. Что представляет собой оптическая обработка информации ?
33. Принцип действия спектроскопа.
34. Какие задачи стоят перед спектроскопией ?
35. Чем отличаются оптическая и молекулярная спектроскопия ?
35. Что изучает прикладная аэро- и гидродинамика.
36. Что значит корректная обработка результатов эксперимента ?

9.2 Методические рекомендации студентам для составления отчета о прохождении научно-исследовательской практики

Отчёт о прохождении практики составляется в соответствии с указаниями программы практики и дополнительными указаниями руководителя практики. В отчёте освещаются следующие вопросы:

1. Общие сведения о базе практики, о порядке и сроках её проведения.
2. Тема, цель и задачи работ (исследований).
3. Программы теоретических, лабораторных и практических работ.
4. Методы проведения работ (исследований), используемое оборудование.

5. Научно-техническое содержание основных выполненных работ практики с предварительными выводами о них.

6. Подробное сообщение о содержании и выполнении индивидуального задания научно-исследовательской работы.

7. Краткое сообщение о проведенных экскурсиях.

8. Заключение (общая оценка результатов практики).

10. Формы промежуточной аттестации (по итогам научно-исследовательской практики)

В соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки 011200 “Физика” (квалификация “бакалавр”) аттестация по итогам научно-исследовательской практики включает защиту отчета о практике. По результатам аттестации выставляется дифференцированный зачет.

11. Учебно-методическое и информационное обеспечение научно-исследовательской практики

Основная литература

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Учеб. пособие: в 5-ти т. – М.: ФИЗМАТЛИТ. Т.1: Механика. – 2006. – 560 с.; Т.2: Термодинамика и молекулярная физика. – 2006. – 544 с.; Т.3: Электричество. – 2009. – 646 с.; Т.4: Оптика. – 2006. – 792 с.; Т.5: Атомная и ядерная физика. – 2006. – 784 с. [учебное пособие для вузов, рекомендовано МО РФ]

2. Савельев И.В. Курс физики. Учеб. пособие: в 3-х т. – СПб.; М.; Краснодар: Лань. Т.1: Механика. Молекулярная физика. – 2008. – 354 с.; Т.2: Электричество. Волны. Оптика. – 2008. – 500 с.; Т.3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – 2008. – 406 с. [учебное пособие для вузов, допущено НМС по физике МОиН РФ]

3. Трубецков Д.И., Храмов А.Е. Лекции по СВЧ электронике для физиков., Т. 1, 2. Изд. Физматлит., 2003, 2004.

Дополнительная литература

1. Основы современной энергетики. В 2-х томах. Под общей редакцией чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова . Москва: Издательский дом МЭИ, 2008.

2. Демирчян К.С., Нейман Л.Р. и др. Теоретические основы электротехники. В 3-х тт., 4 изд. СПб., «Питер», 2003 г.

3. Хохлов А.В. Теоретические основы радиоэлектроники. Саратов, изд. Саратовского госуниверситета, 2005. 256с.

4. Ахманов С.А. Статистическая радиофизика и оптика. Случайные колебания и волны в линейных системах. Физматгиз. 2010 год.

5. V.V.Petrov. “Holographic Video. Acoustooptical approach”, Saratov, "GosUNZ" -Publishing-house, 2002, 77 pages.

6. Каштанов В.В., Сапрыгин А.В. Импульсы двойной формирующей линии // Электротехника, 2001, - № 8, - С. 16 – 20.

7. V.Petrov, 3-D Holographic Video Image Forming by Acoustooptical Method Journal of the SID., 13/4, 2005, p.1-4.

8. Лозовский В.Н. и др. Нанотехнология в электронике. С.Пет., Москва, 2008.

9. Карслоу Г.,Егер Д. Теплопроводность. М.: Наука, 2002.

10. Блох А.Г. Основы теплообмена излучения. М.: Госэнергоиздат, 2002.

11. Адрианов В.Н. Основы радиационного и сложного теплообмена. М.: Энергия, 2003.

12. Иццоки Я.С., Овчинников К.И. Импульсные и цифровые устройства. М., «Сов. радио», 1973 г.

13. Мартинес-Дуарт Д.М., Нанотехнология для микро - и оптоэлектроники, М., Техносфера, 2007.

14. Игумнов Д.В., Костюнина Г.П., Громов И.С., Элементы твердотельной электроники. Изд. СГУ., 1986.

15. Рябов С.Г., Тронкин Г.Н., Усольцев И.Ф. Приборы квантовой электроники. М.,Связь, 1985.

16. Конспект лекций «Физические основы работы электронных приборов СВЧ». <http://library.sgu.ru/uchlit/16.pdf>

12. Материально - техническое обеспечение научно-исследовательской практики

1. Лабораторные и компьютерные практикумы учебно-исследовательской лаборатории “Прикладная физика”, её экспериментальное оборудование для учебной и научно-исследовательской работы.

2. Учебная и монографическая литература

3. Научные статьи

4. Электронные лекции (презентации)

5. Мультимедийное оборудование

6. Компьютерные программы

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО с учетом рекомендаций и Примерной ООП ВПО по направлению 011200 «Физика» и профилю подготовки «Прикладная физика».

Авторы

профессор, д.ф.-м.н. _____ А.С. Шаповалов

заведующий УИЛ «Прикладная физика» _____ А.В. Сапрыгин

Программа одобрена на заседании кафедры прикладной физики
от 10.02.2011 года, протокол № 322.

Зав. кафедрой прикладной физики, профессор, д.ф.-м.н. ____ А.С. Шаповалов

Декан физического факультета профессор, д.ф.-м.н. _____ В.М. Аникин

**ON THE PROGRAM OF THE RESEARCH PRACTICE
FOR BACHELOR PHYSICS STUDENTS**

A.S. Shapovalov, A.V. Saprygin, V.S. Koshelev

Saratov State University

The results of development of the work program of the research practice which corresponds to the bachelor direction training 011200 «physics» and profile of learning «applied physics» is represented.

**О ПРОГРАММЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ
СТУДЕНТОВ-ФИЗИКОВ БАКАЛАВРИАТА**

А.С. Шаповалов, А.В. Сапрыгин, В.С. Кошелев, Кондрашов Б.Н.

Саратовский государственный университет

Кафедра прикладной физики

Шаповалов Александр Степанович, д.ф.-м.н., профессор

Сапрыгин Алексей Владимирович, заведующий учебно-исследовательской лабораторией кафедры

Кошелев Василий Сергеевич, д.т.н., профессор

Кондрашов Борис Никанорович, старший преподаватель

Представлены результаты разработки рабочей программы производственной практики, соответствующей направлению подготовки бакалавров 011200 «Физика» и профилю подготовки «Прикладная физика».

В данной работе приводятся результаты разработки рабочей программы производственной практики, выполненной на кафедре прикладной физики СГУ. Программа соответствует требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования, положениям основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению 011200 «Физика» (профиль подготовки «Прикладная физика»), стандарта СГУ СТО 1.01 2005 «Учебные и производственные практики, порядок организации и проведения» и выполнена по установленной форме.

В системе лекционных курсов и практик, предусмотренных основной образовательной программой подготовки бакалавров, производственная практика играет весьма ответственную роль. На завершающем этапе обучения студента она формирует не только профессиональные, но и социально-личностные компетенции, закрепляет теоретические знания, профессиональные умения и навыки в условиях, максимально приближенных к будущей производственной и научно-исследовательской деятельности бакалавра. Период прохождения производственной практики, по существу, входит в этап выполнения выпускной квалификационной работы. Таким образом, производственная практика призвана обеспечить возможность сбора и анализа научно-технических материалов, необходимых для написания и защиты выпускной квалификационной работы.

Структурами, на базе которых проводится производственная практика студентов бакалавриата, обучающихся по профилю подготовки «Прикладная физика» направления 011200 «Физика» являются кафедральная учебно-исследовательская лаборатория «Прикладная физика», ОМФ НИИ ЕН СГУ, предприятия г. Саратова – ООО НПФ «Эксцентр», ООО «Корпорация «СпектрАкустика». Указанные структуры обеспечивают решение задач, стоящих перед производственной практикой, в следующих областях профессиональной деятельности выпускников по профилю подготовки «Прикладная физика»: разработка и внедрение радиоэлектронных, акустоэлектронных оптоэлектронных и квантовых приборов; альтернативные источники энергии; моделирование радиоэлектронных, оптических, теплофизических, аэро- и гидродинамических процессов; разработка и применение спектроскопических, радиофизических и теплофизических методов исследования вещества.

Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам кафедры прикладной физики СГУ, представившим свои соображения о содержании рабочей программы производственной практики и принявшим участие в её обсуждении.

Ниже приводится текст рабочей программы, одобренной на заседании кафедры прикладной физики и утверждённой проректором СГУ по учебно-методической работе.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ

" __ " _____ 20__ г.

Программа учебной практики

Производственная практика

Направление подготовки

011200 “Физика”

Профиль подготовки

Прикладная физика

Квалификация (степень) выпускника

Бакалавр

Форма обучения - очная

Саратов

2011

1. Цель производственной практики

Практика - это вид учебной деятельности, основным содержанием которой является выполнение практических учебных, учебно-исследовательских, научно-исследовательских, производственных, педагогических, творческих заданий на предприятии или в учреждении, в средствах массовой информации (СМИ), в структурном подразделении университета (кафедре, институте и т.д.), соответствующем характеру профессиональной деятельности будущего выпускника. Она позволяет эффективно сочетать теоретические знания с практической подготовкой, и нацелена на приобретение студентам умений и навыков по избранному направлению. Практика студентов является составной частью подготовки по образовательной программе высшего профессионального образования.

Цель производственной практики состоит в том, чтобы путем непосредственного участия студента в деятельности производственной или научно-исследовательской организации закрепить теоретические знания, полученные во время аудиторных занятий, учебных практик, приобрести профессиональные умения и навыки и собрать необходимые материалы для написания выпускной квалификационной работы. Во время производственной практики происходит приобщение студента к социальной среде предприятия (организации) и приобретение им социально-личностных компетенций, необходимых для работы в профессиональной сфере.

Сферой профессиональной деятельности выпускников являются: государственные и частные научно-исследовательские и производственные организации, связанные с решением физических проблем;

учреждения системы высшего и среднего профессионального образования, среднего общего образования.

Область профессиональной деятельности выпускников по профилю подготовки «Прикладная физика» включает научно-исследовательские центры, институты РАН, промышленные лаборатории, государственные органы управления, образовательные учреждения и организации различных форм собственности, организации индустрии и бизнеса, осуществляющие

- разработку и внедрение радиоэлектронных, акустоэлектронных оптоэлектронных и квантовых приборов; альтернативных источников энергии;
- моделирование радиоэлектронных, оптических, теплофизических, аэро- и гидродинамических процессов;
- разработку и применение спектроскопических, радиофизических и теплофизических методов исследования вещества.

Объектами профессиональной деятельности бакалавров по профилю подготовки «Прикладная физика» являются радио-, акусто- и оптоэлектронные системы (в том числе импульсные), квантовые приборы, альтернативные источники энергии; молекулярные структуры вещества, обладающие высокой биологической активностью, в частности основания нуклеиновых кислот и аминокислоты, а также другие биосистемы, широко применяемые в области информационных технологий, здравоохранения и экологии.

2. Задачи производственной практики

- ознакомление с содержанием основных работ и исследований, выполняемых на предприятии или в организации по месту прохождения практики;
- изучение организационной структуры предприятия и действующей в нем системы управления;
- закрепление теоретических знаний, полученных при изучении базовых дисциплин;
- приобретение специальных навыков, необходимых для обработки, анализа и синтеза физической информации;
- приобретение способности использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области информатики и современных информационных технологий, развитие навыков использования программных средств и навыков работы в компьютерных сетях; приобретение умения создавать базы данных и использовать ресурсы Интернет;
- закрепление навыков программирования, моделирования физических процессов, численного решения физических задач;
- изучение и участие в разработке организационно-методических и нормативных документов для решения отдельных задач по месту прохождения практики;
- освоение приемов, методов и способов выявления, наблюдения, измерения и контроля параметров производственных технологических и других процессов.

В соответствии с профилем подготовки:

- принятие участия в конкретной научно-технической работе, выполняемой в учебно-исследовательской лаборатории “Прикладная физика” или в другом структурном подразделении или предприятии (по месту прохождения практики);
- усвоение приемов, методов и способов обработки, представления и интерпретации результатов проведенных практических исследований;

- приобретение практических навыков в будущей профессиональной деятельности.

Цели и задачи производственной практики отвечают задачам профессиональной подготовки бакалавров по направлению 011200 “Физика” по освоению методов научных исследований и их применению в инновационной деятельности.

3. Место производственной практики в структуре ООП бакалавриата

“Основная образовательная программа высшего профессионального образования” бакалавриата профиля подготовки «Прикладная физика» направления 011200 “Физика” предусматривает учебные (ознакомительную, вычислительную, научно-исследовательскую) и производственную практики.

Производственная практика бакалавров 4 курса (8 семестр) является обязательной и представляет собой вид учебных занятий, непосредственно ориентированных на профессионально-практическую подготовку обучающихся.

Производственная практика интегрирована в систему специальных курсов и практик, разработанных на кафедре прикладной физики, имеющих целью подготовку бакалавров профиля “Прикладная физика” направления 011200 “Физика” к следующим видам профессиональной деятельности:

научно-исследовательская;

научно-инновационная;

организационно-управленческая;

педагогическая (в установленном порядке в соответствии с полученной дополнительной квалификацией) и просветительская деятельность.

Подготовка выпускника по профилю «Прикладная физика» имеет комплексный, многоцелевой, междисциплинарный характер, обеспечивает возможность деятельности, связанной с решением прикладных и фундаментальных задач современной радио-, акусто- и оптоэлектроники, аэро- и гидродинамики, спектроскопии, теплофизики, квантовой химии и биохимии.

В результате прохождения производственной практики студент закрепляет и углубляет свою теоретическую подготовку и приобретает практические навыки и компетенции в сфере профессиональной деятельности. Полученные знания и практические навыки необходимы студентам и для успешной защиты выпускной квалификационной работы бакалавриата и для изучения последующих курсов магистратуры.

Для прохождения производственной практики необходимы знания курсов общей физики, курсов “Физические основы работы электронных и квантовых приборов”, “Термодинамика”, “Статистическая физика”, “Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники”, “Прикладная аэродинамика”, “Радиоэлектронные аспекты теории автоматического управления”, “Молекулярная динамика”, “Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики”, “Импульсные устройства прикладной физики”, “Применение колебательной и электронной спектроскопии для анализа физико-химических свойств вещества”, “Импульсные сигналы в системах прикладной физики”, “Акусто- и оптоэлектроника”, “Теплоэнергетические процессы в электронных устройствах” и других, методов математического анализа и программирования, теории функций комплексного переменного, дифференциальных и интегральных уравнений.

4. Формы проведения производственной практики

Производственная практика проводится в форме лабораторных и лекционных занятий с использованием современных образовательных и информационных технологий. Разделом практики является научно-исследовательская работа студентов по теме выпускной квалификационной работы.

5. Место и время проведения производственной практики

Производственная практика бакалавров, обучающихся по профилю подготовки «Прикладная физика» направления 011200 “Физика” проводится в учебно-исследовательской лаборатории “Прикладная физика”, в ОМФ НИИ ЕН СГУ, на предприятиях г. Саратова – ООО НПФ “Эксцентр”, ООО “Корпорация “СпектрАкустика”. В соответствии с “Основной образовательной программой высшего профессионального образования” длительность и сроки проведения производственной практики – 1,5 недели (4 мая - 14 мая).

6. Компетенции обучающегося, формируемые в результате прохождения производственной практики.

- способность использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области математики и естественных наук (ОК-1);
- способностью приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии (ОК-3);
- способностью собирать, обрабатывать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий данные, необходимые для формирования суждений по соответствующим социальным, научным и этическим проблемам (ОК-4);
- способностью добиваться намеченной цели (ОК-6);

ОБРАЗОВАНИЕ

- способностью работать самостоятельно и в коллективе, руководить людьми и подчиняться (ОК-9);
- способностью владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, иметь навыки работы с компьютером как средством управления информацией (ОК-12);
- способностью к письменной и устной коммуникации на родном языке (ОК-13);
- способностью получить организационно-управленческие навыки (ОК-15);
- способность использовать в познавательной и профессиональной деятельности навыки работы с информацией из различных источников (ОК-16);
- способностью использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области информатики и современных информационных технологий, навыки использования программных средств и навыков работы в компьютерных сетях; умение создавать базы данных и использовать ресурсы Интернет (ОК-17);
- способностью использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач (ПК-1);
- способностью применять на практике базовые профессиональные навыки (ПК-2);
- способностью эксплуатировать современную физическую аппаратуру и оборудование (ПК-3);
- способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (в соответствии с профилем подготовки) (ПК-4);
- *способностью применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов физических исследований (в соответствии с профилем подготовки) (ПК-5);*
- способностью пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки) (ПК-6);
- способностью формировать суждения о знании и последствиях своей профессиональной деятельности с учётом специальных, правовых, этических и природоохранных аспектов (ПК-7);
- *способностью понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований (ПК-8);*
- способностью понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования (ПК-9);
- способностью понимать и излагать получаемую информацию и представлять результаты физических исследований (ПК-10).

7. Структура и содержание производственной практики

Общая трудоемкость производственной практики составляет 2 зачетные единицы 81 час.

№ п/п	Разделы (этапы) практики	Виды учебной работы на практике, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Формы текущего контроля
		Лек	Прак	Лаб	НИР	Сам	
1	Подготовительный этап. Инструктаж по технике безопасности	2					
2	Современная техника получения высокого и сверхвысокого вакуума.	2		10	4		Собеседование.
3	Проведение экспериментальных исследований на лабораторной установке «Стенд аэродинамический универсальный ТМЖ 1м» в учебно - исследовательской лаборатории «Прикладная физика	2		10	3		
4	Изучение работы лабораторных установок ООО «СпектрАкустика» для исследования параметров и характеристик электронных, акустоэлектронных, оптоэлектронных приборов.	2		10	4		Собеседование
5	Научные исследования по теме выпускной квалификационной работы				20		Собеседование
6	Обработка, анализ и обобщение информации, полученной в ходе производственной практики. Подготовка отчета о практике.					8	
7	Защита отчетов о производственной практике.	4					Зачёт
	ИТОГО – 81 час	12		30	31	8	

Содержание производственной практики

1. Подготовительный этап. Инструктаж по технике безопасности

Меры обеспечения безопасности при работе на лабораторных установках спецпрактикумов учебно-исследовательской лаборатории (УИЛ) кафедры прикладной физики физического факультета, "Проблемной лаборатории физических и технологических исследований" НИИ ЕН СГУ. ООО «Корпорация «СпектрАкустика», ООО НПФ "Эксцентр".

Меры обеспечения безопасности при работе с персональным компьютером.

Место, время и порядок прохождения производственной практики.

Требования, предъявляемые к отчёту о практике.

2. Современная техника получения высокого и сверхвысокого вакуума.

2.1. Устройства вакуумных систем.

Виды вакуумных систем. Основные элементы вакуумных систем. Запорно-регулирующие элементы. Разъемные и неразъемные соединения. Требования к материалам, используемым в вакуумной технике.

2.2. Классификация вакуумных насосов. Характеристики вакуумных насосов. Насосы для получения форвакуума.

2.3. Безмасляная откачка. Адсорбционные насосы.

2.4. Электрофизические вакуумные насосы. Геттерно-ионные насосы. Магниторазрядные насосы: диодные, триодные.

2.5. Методы измерения в технике получения вакуума. Принципы действия, устройство, конструкция приборов для измерения малых давлений. Электронные, теплоэлектрические, ионизационные манометры. Магнитные электроразрядные манометры.

2.6. Современные сверхвысоковакуумные исследовательские установки. Особенности получения сверхвысокого вакуума. Достигнутые результаты.

3. Проведение прикладных экспериментальных исследований на основе лабораторной установки «Стенд аэродинамический универсальный ТМЖ 1м»

3.1. Методы измерения давления. Микроманометры, типы, устройство, принцип действия.

3.2. Методы и приборы для измерения скорости воздушного потока.

3.3. Методы и практическая реализация центрирования воздушного потока в воздухопроводе аэродинамического стенда.

3.4. Исследование распределения давления по поверхности сложного профиля.

3.5. Определение гидродинамического сопротивления трубопроводов различной формы.

4. Изучение работы лабораторных установок ООО «СпектрАкустика» для исследования параметров и характеристик электронных, акустоэлектронных, акустооптических, оптоэлектронных приборов.

4.1. Исследование параметров и характеристик электронных приборов.

4.2. Исследования параметров и характеристик акустоэлектронных приборов.

4.3. Исследования параметров и характеристик акустооптических приборов.

4.3. Исследования параметров и характеристик оптоэлектронных приборов.

4.4. Исследования параметров и характеристик систем оптической обработки информации.

5. Научно-исследовательская работа по теме выпускной квалификационной работы

6. Обработка, анализ и обобщение информации, полученной в ходе производственной практики. Подготовка отчета о практике.

7. Защита отчётов о производственной практике.

8. Образовательные и научно-исследовательские технологии, используемые на производственной практике.

При проведении производственной практики используются и традиционные технологии сообщающего обучения, предполагающие передачу информации в готовом виде. К ним относятся: аудиторные занятия в форме лекций с использованием лекционных демонстрационных опытов; практические занятия (семинары), где студенты решают задачи, используя современное программное обеспечение персональных компьютеров; лабораторные занятия в учебных практикумах учебно-исследовательской лаборатории "Прикладная физика"; самостоятельная работа с литературой в научной библиотеке университета; самостоятельная работа в компьютерном классе с использованием доступа к сети Internet и программного обеспечения для работы с графической, аудио- и видеoinформацией. Использование традиционных

технологий необходимо и обеспечивает высокий уровень профессионального образования студентов, регулярно посещающих аудиторные занятия. Они также формируют умения систематизировать, обобщать, извлекать из учебно-методической литературы значимую информацию и т.п.

В ходе производственной практики используются и новые образовательные технологии обучения: демонстрационные программы; информационно - справочные системы; электронные учебники. Данные технологии обеспечивают более наглядную подачу материала за счет мультимедиа. Использование электронных учебников позволяет разгрузить преподавателя и увеличить заинтересованность студентов в учебе. При работе с мультимедийными программами обеспечивается обратная связь, осуществляется быстрый поиск нужной информации, экономится время при многократных обращениях к гипертекстовым объяснениям; наряду с кратким текстом, объяснения сопровождаются демонстрацией анимационных эффектов и синхронным озвучиванием.

Разделом практики является научно-исследовательская работа обучающегося. Используя консультации и помощь своего научного руководителя, студент

- участвует в проведении научных исследований или выполнении технических разработок по одному из научных направлений кафедры прикладной физики и учебно-исследовательской лаборатории “Прикладная физика”, в том числе по тематике выпускной квалификационной работы;
- изучает специальную литературу и другую научно-техническую информацию по теме (заданию), осуществляет её сбор, анализ и систематизацию;
- составляет отчеты (разделы отчета) по теме или её этапу;
- участвует в написании статей в научные журналы по теме научно-исследовательской работы;
- выступает с докладом на конференции.

9. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов на производственной практике

9.1 Вопросы для самостоятельной работы студентов

1. Виды вакуумных систем.
2. Основные элементы вакуумных систем.
3. Запорно-регулирующие элементы.
4. Разъемные и неразъемные соединения.
5. Требования к материалам, используемым в вакуумной технике.
6. Классификация вакуумных насосов.
7. Характеристики вакуумных насосов.
8. Насосы для получения форвакуума.
9. Безмаслянная откачка.
10. Адсорбционные насосы.
11. Электрофизические вакуумные насосы.
12. Геттерно-ионные насосы.
13. Магниторазрядные насосы: диодные, триодные.
14. Принципы действия, устройство, конструкция приборов для измерения малых давлений.
15. Электронные манометры.
16. Теплоэлектрические манометры.
17. Ионизационные манометры.
18. Магнитные электроразрядные манометры.
19. Современные сверхвысоковакуумные исследовательские установки.
20. Особенности получения сверхвысокого вакуума. Достигнутые результаты.
21. Методы измерения давления в аэро- и гидродинамике.
22. Микроманометры, типы, устройство, принцип действия.
23. Методы и приборы для измерения скорости воздушного потока.
24. Методы и практическая реализация центрирования воздушного потока в воздухопроводе аэродинамического стенда.
25. Исследование распределения давления по поверхности сложного профиля.
26. Определение гидродинамического сопротивления трубопроводов различной формы.
27. Параметры и характеристики электронных приборов.

28. Параметры и характеристики акустоэлектронных приборов.
29. Параметры и характеристики акустооптических приборов.
30. Параметры и характеристики оптоэлектронных приборов.
31. Параметры и характеристики систем оптической обработки информации.

9.2 Методические рекомендации студентам для составления отчета о прохождении производственной практики

Отчёт о прохождении практики составляется в соответствии с указаниями программы практики и дополнительными указаниями руководителя практики. В отчёте освещаются следующие вопросы:

1. Общие сведения о базе практики, о порядке и сроках её проведения.
2. Тема, цель и задачи работ (исследований).
3. Программы теоретических, лабораторных и практических работ.
4. Методы проведения работ (исследований), используемое оборудование.
5. Научно-техническое содержание основных выполненных работ практики с предварительными выводами о них.
6. Подробное сообщение о содержании и выполнении индивидуального задания (исследования).
7. Краткое сообщение о проведенных экскурсиях.
8. Заключение (общая оценка результатов практики).

10. Формы промежуточной аттестации (по итогам производственной практики)

В соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки 011200 “Физика” (квалификация “бакалавр”) аттестация по итогам производственной практики включает защиту отчета по практике. По результатам аттестации выставляется зачет.

11. Учебно-методическое и информационное обеспечение производственной практики

Основная литература

- 1.. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Учеб. пособие: в 5-ти т. – М.: ФИЗМАТЛИТ. Т.1: Механика. – 2006. – 560 с.; Т.2: Термодинамика и молекулярная физика. – 2006. – 544 с.; Т.3: Электричество. – 2009. – 646 с.; Т.4: Оптика. – 2006. – 792 с.; Т.5: Атомная и ядерная физика. – 2006. – 784 с. [учебное пособие для вузов, рекомендовано МО РФ]
2. Савельев И.В. Курс физики. Учеб. пособие: в 3-х т. – СПб.; М.; Краснодар: Лань. Т.1: Механика. Молекулярная физика. – 2008. – 354 с.; Т.2: Электричество. Волны. Оптика. – 2008. – 500 с.; Т.3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – 2008. – 406 с. [учебное пособие для вузов, допущено НМС по физике МОиН РФ]
3. Основы современной энергетики. В 2-х томах. Под общей редакцией чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова . Москва: Издательский дом МЭИ, 2008.

Дополнительна литература

1. Д.И.Трубецков, А.Е.Храмов, Лекции по СВЧ электронике для физиков.,т 1,2.Изд. Физматлит.,2003,2004.
2. Мартинес-Дуарт Д.М., Нанотехнология для микро- и оптоэлектроники, М., Техносфера, 2007.
3. Ахманов С.А. Статистическая радиофизика и оптика. Случайные колебания и волны в линейных системах. Физматгиз. 2010 год.
4. V.V.Petrov. “Holographic Video. Acoustooptical approach”, Saratov, "GosUNZ" -Publishing-house, 2002, 77 pages.
5. V.Petrov, 3-D Holographic Video Image Forming by Acoustooptical Method Journal of the SID., 13/4, 2005, p.1- 4.
6. Хохлов А.В. Теоретические основы радиоэлектроники. Саратов, изд. Саратовского госуниверситета, 2005. 256с.
7. Карслоу Г.,Егер Д. Теплопроводность. М.: Наука, 2002.
8. Блох А.Г. Основы теплообмена излучения. М.: Госэнергоиздат, 2002.
9. Адрианов В.Н. Основы радиационного и сложного теплообмена. М.: Энергия, 2003.
10. Иццоки Я.С., Овчинников К.И. Импульсные и цифровые устройства. М., «Сов. радио», 1973 г.
11. Игумнов Д.В., Костюнина Г.П., Громов И.С., Элементы твердотельной электроники. Изд. СГУ., 1986.
12. Рябов С.Г., Тронкин Г.Н., УсольцевИ.Ф. Приборы квантовой электроники. М.,Связь, 1985.

**12. Материально - техническое обеспечение
производственной практики**

1. Лабораторные и компьютерные практикумы учебно-исследовательской лаборатории “Прикладная физика”, её экспериментальное оборудование для учебной и научно-исследовательской работы.
2. Экспериментальная база «Проблемной лаборатории физических и технологических исследований» НИИ ЕН СГУ.
3. Учебная и монографическая литература
4. Научные статьи
5. Электронные лекции (презентации)
6. Мультимедийное оборудование
7. Компьютерные программы
8. Оборудование для производственной деятельности и научно-исследовательской работы ОМФ НИИ ЕН СГУ (лаборатория ядерной физики), ООО НПФ “Эксцентр”, ООО “Корпорация “СпектрАкустика”.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО с учетом рекомендаций и Примерной ООП ВПО по направлению 011200 “Физика” и профилю подготовки “Прикладная физика”.

Авторы

профессор, д.ф.-м.н. _____ А.С. Шаповалов

заведующий УИЛ “Прикладная физика” _____ А.В. Сапрыгин

Программа одобрена на заседании кафедры прикладной физики
от 10.02.2011 года, протокол № 322.

Зав. кафедрой прикладной физики профессор, д.ф.-м.н. _____ А.С. Шаповалов

Декан физического факультета СГУ профессор, д.ф.-м.н. ____ В.М. Аникин

ON THE PROGRAM OF THE INDUSTRIAL PRACTICE
FOR BACHELOR PHYSICS STUDENTS

A.S. Shapovalov, A.V. Saprygin, V.S. Koshelev, B.N. Kondrashov
Saratov State University

The results of development of the work program of the industrial practice which corresponds to the bachelor direction training 011200 «physics» and profile of learning «applied physics» is represented.

ПАМЯТКА АВТОРАМ

К публикации принимаются статьи по всем разделам физики

В редакцию представляются

- бумажный носитель (бумага белая А4) - 1 экз.;
- электронная копия;
- разрешительный документ на открытое опубликование.

Правила оформления(не оформленные статьи, не принимаются к рассмотрению):*Структура статьи.*

Заголовок; аннотация на русском (английском) языке; содержание статьи, включая таблицы, рисунки, на русском (английском) языке; библиографический список; название статьи, фамилия автора(ов), название организации(й), аннотация - все на английском (русском) языке.

Текст представляется в формате M. Word v.6.0 – 7.0; интервал - одинарный; шрифт - Times New Roman Cуг., 14 пт; размер полей: верхнего 2 см, нижнего 2 см, левого 2,5 см, правого 2 см; абзацы - отступом в 0,5 см.

Заголовок.

Первая строка – индекс УДК (для статей на русском языке), выровненный по **правому** краю текста; вторая строка – заголовок полужирными строчными буквами без переносов, размещенный по центру текста;

с третьей строки – перечень авторов (имя, отчество, фамилия полностью) с указанием уч. степени, должности, места работы, адреса эл. почты, дом. и раб. телефонов.

Обозначения и формулы

Латинские обозначения (P , I , W и т.д.) выполняются *курсивом*, названия функций (\sin , \cos , и т.д.), греческие буквы - обычным (прямым) шрифтом (β , λ , α); обозначения векторов полужирным шрифтом (без верхнего обозначения, W , a); номера кривых в рисунках даются *курсивом* (I , 2); русский текст и цифры в верхнем и нижнем индексах - прямым шрифтом ($W_{\text{вых}}$, L^2).

Формулы и греческие символы набираются только в редакторе формул Equation 2.0, 3.0.

Ширина строки формулы – до 8 см, в особых случаях – 16 см.

Ссылки.

Ссылки на формулы и таблицы даются в круглых скобках (*.*); формулы, на которые имеются ссылки в тексте, нумеруются в порядке их появления в тексте цифрой, заключенной в круглые скобки (*.*), по правому краю границы текста, выносятся отдельной строкой и располагаются по центру текста.

В тексте допустимо расположение только однострочных формул, не имеющих нумераций.

Ссылки на источники даются в квадратных скобках [*].

Рисунки.

Каждый рисунок содержится в отдельном файле формата bmp, jpg, wmf, psx (сохраненные в монохромном режиме). Размеры рисунков: простые ненасыщенные - ширина 8 см., сложные до 16 см. Рисунки даются только черно-белыми.

В оформлении рисунков применяются: латинские обозначения (P , I , W и т.д.) - *курсивом*; названия функций (\sin , \cos , и т.д.), греческие буквы - прямым шрифтом, номера кривых - *курсивом*; обозначения векторов полужирным шрифтом (без верхнего обозначения).

Фотографии

Фотографии - черно-белые, в отдельных файлах bmp, jpg, wmf, psx (сохраненные в монохромном или 16-цветном режиме). Размеры рисунков-фотографий: простые - шириной 8 см., сложные до 16 см.

Таблицы

Размеры таблиц - ширина 8 см., большие - до 16 см. Правила оформления обозначений те же, как и для формул.

Библиография

В библиографическом списке нумерация источников должна соответствовать очередности ссылок на них в тексте. Пример правильного оформления показан в образце на следующей странице.

Условия опубликования в сборнике:

- публикации платные;
- стоимость 1 м.п.стр. А4 - 3 у.е. по 25% ежемесячно или разом;
- оплата производится в течение недели со дня получения уведомления редколлегии о принятии статьи к опубликованию;
- редколлегия подтверждает факт оплаты в течение недели со дня получения перевода;
- материалы статьи направлять в адрес редколлегии: г. Саратов, ул. Астраханская, 83, Саратовский госуниверситет, физфак, каф. прикладной физики: отв. редактор сб. "Вопросы прикладной физики" проф. В.С Кошелев;
- или лично отв. секретарю редколлегии на кафедре прикладной физики (СГУ, 8 корпус, 4 этаж, 90 к.) ст.пр. Старшову М.А.

Телефоны: редколлегия - 7(8-452) 51-48-52,
отв. секр. - 7(8-452) 26-07-50.

E-mail: mastarshov@mail.ru

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 51.942.82:621.396.96

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ В БИОФИЗИКЕ

И.А.Иванов, А.И.Петров

Саратовский государственный университет,

Иванов Иван Алексеевич, канд. физ.-мат. н, доцент, e@mail, р.т. (8452) 11-12-13, д.т. (8452) 11-13-14*Петров Антон Иванович*, аспирант, e@mail, р.т. (8452) 15-17-13, д.т. (8452) 21-13-14

Показано, что в некоторых явлениях случайные отклонения от закономерностей настолько малы, что их можно не учитывать. Рассмотрены явления, в которых случайность играет основную роль.

Рассмотрим вероятностную модель биомолекулярной реакции:



Вероятность того, что за время Δt не образуется ни одной молекулы типа C , равна $1-N_1N_2\lambda\Delta t$ [1]. На рис.1 показано изменение скорости продуцирования энтропии около стационарной точки. Кривая 1 - зависимость от времени, кривая 2 - вблизи точки равновесия.

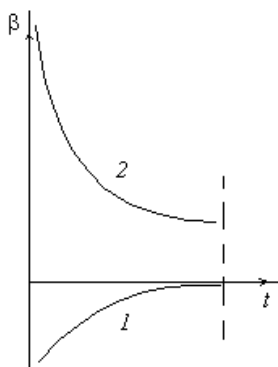


Рис.1

На рис.2 показано изменение скорости продуцирования энтропии около стационарной точки при образовании молекулы типа D .

Библиографический список

1. Рубин А.Б. Биофизика. М., 1987.
2. Иванов И.А. // Материалы междунар. науч.-техн. конф. "Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-98". Саратов, 1998. Т.1. С.234-235.
3. Бочаров Е.П. // Изв. Вузов. Радиофизика. 1987. Т.30, №1. С.96-103.
4. Rack A.I. // Bell System Tech. J. 1938. V.17, №3. P.123-124.
5. Van Duzer T. // IEEE Trans. 1963. V.ED-10, №6. P.370-378.
6. Петров П.И. // Вопросы электронной техники. Саратов, 1971. Вып.2. С.12-15.
7. Михайлов А.И., Лернер Д.М. // Письма в ЖТФ. 1998. Т.24, вып.21. С.16-22.

Probabilistic models in biophysics

I.A. Ivanov, A.I. Petrov

Saratov State University

Shown that in some phenomena casual detours from regularities far enough small that their possible not to take into account. Considered phenomena, in which accident plays a main role.

БИБЛИОТЕКИ,

получившие обязательный экземпляр научного сборника "Вопросы прикладной физики", 2011, №18

Россия

Библиотека Алтайского государственного университета (656099, Барнаул, пр. Социалистический, 68).

Библиотека Волгоградского государственного университета (400063, Волгоград, ул. 2-я Продольная, 20).

Научная библиотека Уральского государственного университета (620083, Екатеринбург, пр. Ленина, 510).

Научная библиотека Иркутского государственного университета (664000, Иркутск, Бульвар Ю. Гагарина, 24).

Научная библиотека Казанского государственного университета (420008, Казань, ул. Ленина, 18).

Библиотека Калининградского государственного университета (236040, Калининград, ул. Университетская, 2).

Научная библиотека Краснодарского государственного университета (350000, Краснодар, ул. К. Либкнехта, 149).

Российская государственная библиотека (101600, Москва, Воздвиженка, 8).

Библиотека Администрации Президента Российской Федерации (Москва).

Научная библиотека им. А.М. Горького Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (103031, Москва, ул. Моховая, 9).

Государственная публичная научно-техническая библиотека России (103031, Москва, Кузнецкий мост, 12).

Библиотека института научной информации по общественным наукам Российской академии наук (117417, Москва, ул. Красикова, 28/21).

Библиотека по естественным наукам РАН (119890, Москва, Знаменка, 11).

Государственная публичная историческая библиотека Российской Федерации (101000, Москва, Старосадский пер., 9).

Библиотека Всероссийского института научной и технической информации РАН (125219, Москва, ул. Балтийская, 14)

Государственная общественно-политическая библиотека (129256, Москва, ул. В. Пика, 4, корп. 2)

Центральная политехническая библиотека (101000, Москва, Политехнический пр., 2).

Государственная центральная научная медицинская библиотека (117418, Москва, ул. Красикова, 30).

Государственная публичная научно-техническая библиотека Сибирского отделения РАН (630200, Новосибирск, ул. Восход, 15).

Научная библиотека Новосибирского государственного университета (630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2).

Библиотека Пермского государственного университета (614022, Пермь, ул. Букирева, 15).

Научная библиотека Ростовского государственного университета (344006, Ростов-на-Дону, ул. Пушкинская, 148).

Библиотека Самарского государственного университета (443011, Самара, ул. Потапова, 64/163).

Российская национальная библиотека (191069, Санкт-Петербург, ул. Садовая, 18).

Библиотека РАН (199164, Санкт-Петербург, Биржевая линия, 1).

Научная библиотека Санкт-Петербургского государственного университета (Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7/9).

Научная библиотека Саратовского государственного университета (410026, Саратов, ул. Университетская, 42).

Научная библиотека Тверского государственного университета (170000, Тверь, ул. Трехсвятская, 16/31).

Научная библиотека Томского государственного университета (634010, Томск, пр. Ленина, 34 А).

Научная библиотека Ульяновского государственного университета (432700, Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42).

Библиотека Башкирского государственного университета (450074, Уфа, ул. Фрунзе, 32).

Хабаровская краевая научная библиотека (680671, Хабаровск, ул. К. Маркса, 1/72).

Библиотека Ярославского государственного университета (150000, Ярославль, ул. Советская, 14).

Научно-техническая библиотека Балаковского института техники, технологии и управления (413800, Балаково, ул. Чапаева, 140).

Библиотека Балаиовского педагогического института (412340, Балаиов, ул. К. Маркса, 29).

Германия

Немецкое исследовательское общество (Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG, Kennedyallee 40, 53175 Bonn).

Грузия

Библиотека Тбилисского государственного университета (320028, Тбилиси, пр. И. Чавчавадзе, 1).

Белоруссия

Фундаментальная библиотека Минского государственного университета (220080, Минск, Университетский городок).

Казахстан

Научная библиотека Казахского государственного университета (480121, Алма-Аты, ул. Тимирязева, 46).

Молдавия

Научная библиотека Молдавского государственного университета (277003, Кишинев, ул. Садовая, 60).

США

Библиотека Конгресса США (The Library of Congress European & Latin American Acquisition Division, 101 Independence Ave., S. E. Washington. D.C. 20540-4180. USA).

Украина

Научная библиотека Киевского государственного университета (252601, Киев, ул. Владимирская, 58).

Научная библиотека Львовского государственного университета (290601, Львов, ул. Драгоманова, 5).

Центральная научная библиотека Харьковского государственного университета (310077, Харьков, пл. Дзержинского, 4).

Эстония

Фундаментальная библиотека Тартуского государственного университета (202400, Тарту, ул. Струве, 1).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ф.И.О.	Место работы	Должность, степень, ученое звание	e-mail
Алексеев Игорь Геннадиевич	СГУ	студент	
Безрукавный Сергей Викторович	ОАО «Демиховский машиностроительный завод»	технический директор	
Гарбер Георгий Евгеньевич	СГУ		garber@mail.saratov.ru
Кадров Дмитрий Михайлович	СГУ	студент	
Козлов Андрей Владимирович	ООО НПФ «Этна»	к.ф.-м.н., ведущий специалист	
Кондрашов Борис Никанорович	СГУ	старший преподаватель	apd@sgu.ru
Кошелев Василий Сергеевич	СГУ	д.т.н., профессор	
Минкин Леонид Моисеевич	Portland State University, USA	профессор	
Сапрыгин Алексей Владимирович	СГУ	заведующий учебно-исследовательской лабораторией	apd@sgu.ru
Старшов Михаил Александрович	СГУ	доцент	mastarshov@mail.ru
Тен Галина Николаевна	СГУ	д.ф.-м.н., доцент	GN@info.sgu.ru
Шаповалов Александр Степанович	СГУ	д.ф.-м.н., профессор	apd@sgu.ru
Шаповалов Степан Александрович	Саратовское электроагрегатное производственное объединение	инженер	
Шаповалова Ирина Александровна	МОУ СОШ №31 Кировского района г.Саратова	учитель высшей категории	
Шатунов Денис Алексеевич	СГУ	студент	
Явчуновский Виктор Яковлевич	ООО НПФ «Этна»	д.ф.-м.н., директор	

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА		
С.В. Безрукавный, В.Я. Явчуновский	ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ САЛОНА ВАГОНОВ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ	3
С.В. Безрукавный, В.Я. Явчуновский	ПРОБЛЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ВАГОНАХ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ В РЕЖИМЕ СТАЦИОНАРНОГО ОБОГРЕВА. ЧАСТЬ 1. АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА И РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ	14
С.В. Безрукавный, В.Я. Явчуновский, А.В. Козлов	ПРОБЛЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ВАГОНАХ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ В РЕЖИМЕ СТАЦИОНАРНОГО ОБОГРЕВА. ЧАСТЬ 2. АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИИ РЕЖИМОВ СТАЦИОНАРНОГО ОБОГРЕВА	26
С.В. Безрукавный, В.Я. Явчуновский, А.В. Козлов, Д.А. Шатунов	ПРОБЛЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ВАГОНАХ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ В РЕЖИМЕ СТАЦИОНАРНОГО ОБОГРЕВА. ЧАСТЬ 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИИ РЕЖИМОВ СТАЦИОНАРНОГО ОБОГРЕВА	34
ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ		
А.С. Шаповалов, Л.М. Минкин, С.А. Шаповалов	АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТА КОЛЛЕКТИВНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ МОДУЛЯЦИОННЫХ СПЕКТРОВ ЧАСТОТНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ МНОГОДИОДНОГО ГЕНЕРАТОРА СВЧ	44
ОПТИКА		
Д.М. Кадров, И.Г. Алексеев, Г.Н. Ген	РАСЧЁТ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО СПЕКТРА ИЗОЛИРОВАННОГО N-ФОРМИЛМЕТИОНИНА	49
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА		
Г.Е. Гарбер	ВЫЧИСЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУННЕЛЬНОГО ЭФФЕКТА НА ОСНОВЕ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ	54
ОБРАЗОВАНИЕ		
М.А. Старшов	ОТ ЭКСПЕРИМЕНТА К ФИЗИЧЕСКОМУ ЗАКОНУ	59
И.А. Шаповалова	ПРИМЕНЕНИЕ РОЛЕВЫХ ИГР ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СОЦИОКУЛЬТУРНОЙ КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТОВ	62
А.С. Шаповалов, А.В. Сапрыгин, В.С. Кошелев	О ПРОГРАММЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ПРАКТИКИ СТУДЕНТОВ-ФИЗИКОВ БАКАЛАВРИАТА	65
А.С. Шаповалов, А.В. Сапрыгин, В.С. Кошелев	О ПРОГРАММЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ СТУДЕНТОВ-ФИЗИКОВ БАКАЛАВРИАТА	76
ПАМЯТКА АВТОРАМ		
БИБЛИОТЕКИ, ПОЛУЧИВШИЕ ЭКЗЕМПЛЯР "ВОПРОСЫ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ" (2011, ВЫП.18)		85
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ		87
СОДЕРЖАНИЕ		88
CONTENTS		89
В КОНЦЕ НОМЕРА. ИЗ КОЛЛЕКЦИИ М.А.СТАРШОВА		90
		91

CONTENTS

ENGINEERING

S. V. Bezrukavny, V.Y. Yavchunovsky	THE PHYSICAL BASIS OF MODERNIZATION OF THE ELECTRIC TRAIN CARRIAGES VENTILATION SYSTEM	3	
S. V. Bezrukavny, V.Y. Yavchunovsky	THE PROBLEMS OF AIR TEMPERATURE STABILIZING IN ELECTRIC TRAINS CARRIAGES IN A STATIONARY HEATING MODE. PART 1. THE ANALYSIS OF HEATING INSTABILITY SOURCES AND THE DEVELOPMENT OF APPROACHES TO SOLVING THE PROBLEM	14	
S. V. Bezrukavny, V.Y. Yavchunovsky, A.V. Kozlov	THE PROBLEMS OF AIR TEMPERATURE STABILIZING IN ELECTRIC TRAINS CARRIAGES IN A STATIONARY HEATING MODE. PART 2. THE ANALYSIS OF TRANSIENTS ARISING WITH SWITCHING STATIONARY HEATING	26	
S. V. Bezrukavny, V.Y. Yavchunovsky, A.V. Kozlov, D. A. Shatunov	THE PROBLEMS OF AIR TEMPERATURE STABILIZING IN ELECTRIC TRAIN CARRIAGES IN A STATIONARY HEATING MODE PART 3. THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TRANSIENTS ARISING WITH SWITCHING STATIONARY HEATING	34	
ELECTROMAGNETISM			
A.S.Shapovalov, L.M. Minkin, S.A. Shapovalov	AN ANALYSIS OF THE FACTOR OF COLLECTIVE TRANSFORMATION OF THE FREQUENCY FLUCTUATIONS MODULATION SPECTRUMS OF THE MULTIDIODE MICROWAVE GENERATOR	44	
OPTICS			
D.M. Kadrov , I.G. Alekseev, G.N. Ten	CALCULATION AND INTERPRETATION OF THE VIBRATIONAL SPECTRA OF ISOLATED N-FORMYLMETHIONINE	49	
THEORETICAL AND MATHEMATICAL PHYSICS			
G. E. Garber	CALCULATION OF THE PHYSICAL CHARACTERISTICS OF TUNNEL EFFECT ON THE BASIS OF QUANTUM THEORY	54	
EDUCATION: METHODOLOGICAL ISSUES			
M.A. Starshov	FROM THE EXPERIMENTAL DATA TO THE PHYSICAL LAW	59	
I.A. Shapovalova	THE USING OF ROLE PLAYS FOR FORMATION OF SOCIO CULTURAL COMPETENCE OF STUDENTS	62	
A.S. Shapovalov, A.V. Saprigin, V.S. Koshelev	ON THE PROGRAM OF THE RESEARCH PRACTICE FOR BACHELOR PHYSICS STUDENTS	65	
A.S. Shapovalov, A.V. Saprigin, V.S. Koshelev, B.N. Kondrashov	ON THE PROGRAM OF THE INDUSTRIAL PRACTICE FOR BACHELOR PHYSICS STUDENTS	76	
INFORMATION FOR THE AUTHORS			85
LIST OF LIBRARIES WHICH RECEIVED COPIES OF THE PREVIOUS ISSUE			87
LIST OF THE AUTHORS			88
CONTENTS IN RUSSIAN			89
CONTENTS IN ENGLISH			90
FROM THE COLLECTION OF M.A.STARSHOV			91

ИЗ КОЛЛЕКЦИИ М.СТАРШОВА

«Да и сами электроны были открыты *менее чем за десять лет* до опытов Герца и Столетова...».

ГУРЕВИЧ Юрий Яковлевич. Внешний фотоэффект. М., 1983. С.5

Эти опыты – примерно 1887-89 гг., а Дж. Дж. ТОМСОН измерил элементарный заряд в 1897-ом. Слово же «электрон» предложил Дж. Дж. СТОНИ в 1874-ом.

«Перековать мечи на орала. Это призывающее к миру выражение, известное всем как название скульптуры *И. ШАДРА*, восходит к ветхозаветной Книге пророка Исайи: “И будет Он судить народы, и обличит многие племена, и перекуют мечи свои на орала, и копыя свои на серпы: не поднимет народ на народ меча, и не будут более учиться воевать”».

БОБРОВА Т.А./Русский язык в школе и дома, 2007, №4, С.16.

Так как же тебя звать, мой мальчик?

Международная научная конференция «Густав *ШПЕТ* и современная философия гуманитарного знания»

«...принципиально новое видение трудов и деятельности Г.Г. *Шпека*...»

ЩЕДРИНА Т.Г., кандидат философских наук, Москва//

И четвёртый абзац повторяет:

«...В докладе Л.А. Микешинной “Густав *Шпек* и современная философия науки”...»

Вестник Российского Философского Общества 2004, №2, С.49.

Научный отчет за 1999-2000 годы Отдела теоретической физики Института Ганы *Майтнер* в Берлине.
Scientific report of the Department of Theoretical Physics of the *Hahn-Meitner* Institut Berlin.

Реферативный журнал Физика. 2005-4А39.

«...Активным участником *ОБЕИХ* мероприятий был Ландау...»

ДЖОЗЕФСОН П., ШЕВЧЕНКО О.С., РАНИЮК Ю.Н./ВИЕТ, 2007, №3, С.69.

«...Вообще *не нельзя* не обратить внимания на этические моменты...»

БАЖАНОВ В.А., дфн// ВИЕТ 2007, №3, с.184.

Список членов редакционного совета журнала «ФИЛОСОФИЯ И КУЛЬТУРА»:

...*ОЙЗЕРМАН* Теодор Ильич, академик *OYZRMAN* Teodor Iluch.

А в более ранних номерах был некий *OYZERAN* на том же месте.

«...Возможно ли понять сущность таких *АДЕПТОВ* человеческого существования как война, любовь или смерть?...»

И далее: «Одним из таких *адептов*, который выводит на понимание сути вышеозначенных (да и многих других) феноменов, выступает проблема смысла...»

ИВАНОВ С.Ю., кандидат философских наук, доцент
ФИЛОСОФИЯ И КУЛЬТУРА, 2011, №9, с.10.

ОКРУГЛЕНИЕ У ФИЗИКОВ

В каждом номере журнала «Физическое образование в вузах» на С.1-2 читателям и коллегам сообщается тираж: ОКОЛО 500 экз.

В конце номера – выходные данные, где значится цифра 330 экз.

Педагогический взгляд на шкалу плотности *ДЖИНА*.

A pedagogical look at JEANS' density scale. Chu K.-H.W.//Eur.J.Phys/2007, 28,№3.

We illustrate the derivations of Jeans' criteria for the gravitational instabilities in a static homogeneous Newtonian system for pedagogical objectives. The critical Jeans density surface is presented in terms of dimensionless sound speeds and (characteristic) length scales.

РжФ 08-10А76.

Рецензия на путеводитель по архивам Академии наук Франции, названный так: «Histoire et memoire de l'Academie des sciences». Перевод названия: «История и *ПАМЯТЬ* Академии наук»!

Первая глава названа «очень метко»: «ВЕХИ ИСТОРИИ АКАДЕМИИ НАУК», и «вообще, меткость и нестандартность заголовков надо отнести к несомненным достоинствам издания», хотя уже вторая глава охарактеризована без меткого заголовка. Третья часть путеводителя: «*РАССЕЯННАЯ память*» (“Une memoire emiettee”)

ВИЕТ 97, №4, С.141-144. (точно ли это память, а не МЕМУАР?)

«Как сказал один персонаж: «Нельзя ли для прогулок *ПОБЛИЖЕ* выбрать *ПЕРЕУЛОК*?»...»

профессор ЛУЧКОВ Б.И./ФИЗИКА, 2005, №19, С.18.

(помнится, некто *ФАМУСОВ* сказывал иначе: «Друг. Нельзя ли для прогулок *ПОДАЛЬШЕ* выбрать *ЗАКОУЛОК*?»).

«б-2. Найти *малярную* массу воздуха...»

ФИРГАНГ Е.В. Руководство к решению задач по курсу общей физики.
М., Высшая школа. 1977. С.62.

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

ВОПРОСЫ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ

Межвузовский научный сборник

Выпуск 19

Издательство Саратовского университета
2012

УДК [53 + 621.37/39](082)
ББК 22.3 я 43 + 32 я 43
В74

Вопросы прикладной физики: Межвуз. науч. сб.– Саратов: Изд-во Саратовского университета, 2012.
В74 – Вып.18– 91 с.: илл.

В сборнике представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований прикладных проблем в различных областях современной физики: математические методы в физике; статистическая физика и термодинамика; инструменты, аппаратура, компоненты и техника, общие для различных областей физики и астрономии; электромагнетизм, электронная и ионная оптика; оптика; конденсированные среды: структура, механические и тепловые свойства; геофизика гидросферы и атмосферы. Тематика разделов соответствует международной классификации по физике и астрономии (PACS 1996).

Для специалистов в области прикладной физики, а также для аспирантов и студентов-физиков старших курсов.

Редакционная коллегия:

В.С.Кошелев – ответственный редактор
А.С.Шаповалов – заместитель ответственного редактора
М.А.Старшов – научный редактор

Редакционный совет:

В.М. Аникин	Саратовский государственный университет
В.Б. Байбурин	Саратовский государственный технический университет
В.И.Березин	Саратовский государственный университет
О.Е. Глухова	Саратовский государственный университет
В.С. Кошелев	Саратовский государственный университет
О.Г. Мартыненко	Институт теплообмена Белорусской АН, Минск
Л.М. Минкин	Портландский государственный университет, США
В.В. Новоселов	Саратовский государственный университет
И.Н. Салий	Саратовский государственный университет
Н.И. Синицын	СО ИРЭ РАН, Саратов
М.А. Старшов	Саратовский государственный университет
Г.Н.Тен	Саратовский государственный университет
В.В. Тучин	Саратовский государственный университет
Д.А. Усанов	Саратовский государственный университет
А.С. Шаповалов	Саратовский государственный университет

[53 + 621.37/39](082)
ББК 22.3 я 43 + 32 я 43

ISSN 0868-6238

© Саратовский
государственный
университет, 2012

Научное издание

ВОПРОСЫ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ

Межвузовский научный сборник

Выпуск 19

Группа подготовки номера и компьютерная верстка
М.А. Старшов, А.М. Старшов

Изд.лиц. ЛР № 020305 от 19.02.97.
Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Усл.печ.л. 16,27(17,5). Уч.-изд.л. 16,4.

Подписано в печать 12.04.2012.
Гарнитура Times. Печать офсетная.
Тираж 450 экз. Заказ

Издательство Саратовского университета. 410026, Саратов, ул. Астраханская, 83.
Отпечатано с оригинал-макета в РОУ "Народный дом". 410600, Саратов, ул. Горького, 30.



ИЗДАТЕЛЬСТВО
САРАТОВСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА