

**ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПИРОЛИЗ
В БИОТОПЛИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**

А.В. Пивоваров

Пивоваров Александр Викторович, к.ф.-м.н.

ген. директор ООО «РИО» г. Саратов,

ведущий специалист ЗАО «ЭкоЗаводСтрой г.Москва,

В статье рассматривается проблема современной энергетики на основе биотоплива второго поколения, создаваемого из неиспользуемой биомассы методом высокоскоростного пиролиза. Использование биомассы может решать не только энергетические задачи, на основе возобновляемого энергетического сырья, но и оказывать положительный эффект на оздоровление окружающей среды от загрязнения промышленными и бытовыми отходами

Главной целью прогрессивной технологии является нахождение способа производства полезного из отбросов.

Д.И.Менделеев

На научной сессии, посвященной 250-летию Академии наук СССР, академик Петр Леонидович Капица сделал концептуальный доклад, который сводится к следующему: какой бы источник энергии ни рассматривался, его можно охарактеризовать двумя параметрами: плотностью энергии — то есть ее количеством в единице объема, — и скоростью ее передачи (распространения). Производство этих величин есть максимальная мощность, которую можно получить с единицы поверхности, используя энергию данного вида.

Например, солнечная энергия, имея небольшую плотность, распространяется со скоростью света, в результате создаваемый поток этой энергии больше киловатта на квадратный метр, что вполне достаточно для обеспечения жизни на Земле, однако недостаточно для обеспечения индустриальной макроэнергетики жизнедеятельности человечества. Чтобы покрыть только бытовые потребности одного современного домохозяйства, нужен преобразователь (с КПД в 15%) площадью не менее 40—50 квадратных метров, а для замены солнечной энергией источники ископаемого топлива, нужно построить вдоль всей сухопутной части экватора сплошную полосу солнечных батарей шириной 50—60 километров. Подобный проект в обозримом будущем не может быть реализован как по техническим, так и по финансовым возможностям.

Топливные элементы, создающие прямое превращение химической энергии окисления водорода в электроэнергию, имеющие большую плотность энергии и высокий коэффициент преобразования (70 и более процентов), характеризуются малой скоростью ее передачи, ограниченно низкой скоростью диффузии ионов в электролитах.

П.Л.Капица отмечал: «На практике плотность потока энергии очень мала, и с квадратного метра электрода можно снимать только 200 Вт. Для 100

мегаватт мощности рабочая площадь электродов достигает квадратного километра, и нет надежды, что капитальные затраты на построение такой электростанции оправдаются генерируемой ею энергией».

Последовательно оценивая ветровую энергетику, геотермальную энергетику, волновую энергетику, гидроэнергетику, П.Л.Капица доказывал, что все эти, на первый взгляд, вполне перспективные источники, никогда не смогут составить серьезную конкуренцию ископаемому топливу: низкая плотность ветровой энергии и энергии морских волн; низкая теплопроводность пород ограничивает скромными масштабами геотермальные станции.

Гидроэнергетика, эффективна, но нужны горные реки — когда уровень воды можно поднять на большую высоту и обеспечить тем самым высокую плотность гравитационной энергии воды, либо необходимо обеспечивать огромные площади водохранилищ и губить плодородные земли.

В области атомной энергетики Петр Леонидович Капица отметил три главные проблемы на пути ее становления в качестве главного источника энергии для человечества: проблему захоронения радиоактивных отходов, критическую опасность катастроф на атомных станциях и проблему неконтролируемого распространения плутония и ядерных технологий. Мировая энергетика не готова полностью перейти на ядерное топливо, хотя его доля в промышленном производстве электроэнергии возрастает.

Конкурентной альтернативой ископаемому топливу, по мнению П.Л.Капицы, является термоядерная энергетика. Тем не менее, за последние сорок с лишним лет, проблема управления термоядерным синтезом не только не была решена, а понимание сложности проблемы возросло.

Перспективы водородной энергетики и биотоплива в докладе не обсуждались. Биотопливо в виде дров человечество использует уже веками, а водородная энергетика сегодня кажется настолько перспективной, что едва ли не каждый день приходят сообщения о том, что крупнейшие автомобильные компании постоянно демонстрируют концепт-кары на водородном топливе.

Современные технологии промышленного производства водорода, к сожалению, имеют свои недостатки. Практически во всех случаях водород получают посредством парового риформинга: каталитического разложения метана при помощи водяного пара. Однако этот метод получения водорода потребляет много энергии и, к тому же, приводит к образованию углекислого газа в довольно большом количестве, который способен увеличить концентрацию парниковых газов в десятки, а то и в сотни раз. Например, для перевода на водородное топливо одного только автотранспорта в США потребовалось бы ежегодно около 150 млн. тонн водорода. Это в 15 раз больше объемов производства водорода в США.

Стоимость каждой калории тепловой энергии, извлеченной из полученного таким способом водорода, сегодня в 3-4 раза превышает стоимость калории, полученной при сгорании бензина. Более того получение больших объемов водорода из метана в настоящее время нерационально не по экономическим и не по экологическим критериям, поскольку природный метан сам по себе является высокоэкологичным топливом.

Водород можно также производить при газификации угля. Однако все эти операции очень энергоемки и тоже дают двуокись углерода в качестве побочного продукта, а экономические оценки показывают, что получение водорода на угольном обеспечении могла бы привести к истощению, например, всех угольных месторождений только Соединенных штатов всего лишь за 75 лет.

В последние годы в ряде стран разработаны экспериментальные технологии каталитического расщепления водяного пара в высокотемпературных химических реакторах. Сейчас известно свыше ста каталитических циклов такого рода. Однако все эти процессы требуют нагрева реагентов до температур порядка 800-1000 градусов и потому при массовом применении вызывают больше проблем, чем решают.

Известны более "чистые" методы производства - прежде всего, процесс электролиза воды. Однако эти технологии производства водородного топлива очень дорогостоящи и требуют большого количества электроэнергии.

Есть определенные успехи в применении микробиологических технологий, на которые отдельные специалисты возлагают самые серьезные надежды. Совсем недавно в Университете Пенсильвании использовали давнюю идею переработки пищевых отходов специальными бактериями, которые производят электроны, протоны и углекислый газ. При создании в

биореакторе маломощного электрического разряд электроны и протоны образуют молекулу водорода. В результате, реактор производит на 288% больше энергии, чем требуется для проведения реакции. Если КПД традиционного электролиза составляет 62%, то новый реактор обладает КПД в 82%. Подобные технологии, если их усовершенствовать до промышленных масштабов, могли бы не только производить кислород и водород, но и утилизировать углекислый газ. Однако исследования в этом направлении начались сравнительно недавно, и их практическая ценность пока остается под вопросом.

Некоторые учёные считают, что решение энергетических проблем за счёт водородного топлива — это тупиковый и опасный путь. Поскольку, освобождаясь от загрязнения среды обитания продуктами горения углеводородного топлива, человечество приобретает достаточно мощный и непредсказуемый "продукт", который может послужить источником глобальной катастрофы. Представьте себе мегаполис, в котором все автомобили выбрасывают на улицы водяной пар, особенно зимой.

Биоэнергетика в первоначальном ее понимании основывается на использовании растительных и животных жиров (биотоплива) для питания двигателей внутреннего сгорания (первый «дизель» Дизеля работал на арахисовом масле), либо об использовании этилового спирта, полученного путем брожения натуральных — зерна, кукурузы, рапса, тростника и т.д. — или подвергнутых гидролизу — агропродуктов.

Следует отметить, что в настоящее время под понятием «биотопливо», согласно терминам и определениям, утвержденным Директивой ЕС от 8 мая 2003 г. № 2003/30 ES следует понимать следующее:

Биотопливо — жидкое или газообразное топливо, производимое из биомассы.

Дизельное биотопливо — сложный метиловый эфир с качеством дизельного топлива, производимый из масла растительного или животного происхождения и используемый в качестве биотоплива (химическая формула — $C_{13}H_{24}$).

Биоэтанол — этиловый спирт, производимый из биомассы и/или биологически разлагаемых компонентов отходов и используемый в качестве биотоплива (химическая формула — C_2H_5OH).

Биогаз — топливный газ, производимый из биомассы и/или биологически разлагаемых компонентов отходов, который может подвергаться очистке для приобретения качества природного газа, используемый в качестве биотоплива или генераторного газа (химическая формула — CH_4).

Биотоплива второго поколения — это разнообразные топлива, которые полученные методами пиролиза биомассы, также это другие топлива, если они отличаются от этанола, метанола, биодизеля.

Мнения о производстве и использовании биотоплива пока что далеко не однозначны и сопротивление внедрению биотоплива в мире

растет. Во-первых, направление значительной части зерна (в США - 30% кукурузы) на производство биотоплива привело к стремительному росту цен на весь спектр продуктов питания. Во-вторых, прибыльность выращивания сырья для производства биотоплива привело к истреблению лесов в Бразилии и Индонезии, в результате чего выбросы двуокси углерода в атмосферу не только не уменьшились, но и выросли на 20%.

Кроме того, специалисты считают, что необходимо тщательно изучить влияние биотоплива на экологию, ибо пока что еще не ясны все последствия использования этого вида горючего. Надо также учитывать, что это производство стоит недешево, если речь идет об использовании сельскохозяйственного сырья. Изготовление его из сахарного тростника, например, обходится в 90 центов за галлон, из кукурузы - в 1,7 долл., если же его производить из масличных культур, то на это уйдет 4 долл.

Президент крупнейшей в мире компании по производству продуктов питания и напитков "Нестле" Петер Брабек-Летмат на экономическом форуме в Давосе сказал, что "время еще есть, но оно течет так же, как вода". Спрос на биотоплива является ошибочным, поскольку для производства одного литра биодизеля надо потратить 9000 литров воды. "Это возможно лишь потому, что вода не имеет цены. Если мы собираемся потратить 1950 кубических километров воды на производство биотоплива, тогда как наши водные запасы уже исчерпаны, то следует понять, что сегодняшняя стратегия, которую поддерживает большинство правительств развитых стран, является ошибочной.

Академик РАН И.И. Моисеев, известный специалист по проблемам альтернативного топлива, разделяет скептический подход зарубежных экспертов: «И хотя "зеленое топливо" сейчас получило во многих странах зеленую улицу, не все так уж гладко. Дело в том, что исходным сырьем для него служат продукты питания — зерно, кукуруза, рапс, соя. Раздаются голоса, что кощунственно пускать их в энергетику, когда на планете миллионы голодающих. Добавьте к этому, что выращивание зерновых требует больших затрат воды, что у рапса довольно низкая урожайность, а значит, для масштабной замены нефти нужны очень большие площади. В общем, таких "но" наберется немало. Впрочем, пока они тонут в общем хоре голосов сторонников биотоплива».

Вместе с тем, биомасса (БМ) - это энергетически ёмкий материал. Энергетическая плотность биомассы составляет 10...20 МДж/кг (муниципальных отходов – 10,5...11,5 МДж/кг) – это ниже, чем у ископаемых топлив, но существенно выше, чем у таких «зеленых» источников энергии, как ветер, волны и солнце. В отличие от нестабильности последних, биомасса транспортабельна и доступна для использования по первому требованию, то есть как стабильный энергетический ресурс. Оценка мирового энергетического потенциала биомассы [1-3] позволяет сделать вывод о том, что биомасса

должна рассматриваться как один из главных возобновляемых энергетических ресурсов ближайшего будущего. По прогнозам специалистов, к 2050 году человечество будет способно получить из биомассы до 38% потребляемого топлива и до 17% электроэнергии. Кроме того, успешная утилизация биомассы связана с решением ряда социальных проблем и охраной окружающей среды.

Применение человеком пиролитической конверсии биомассы имеет тысячелетнюю историю, поскольку древесный уголь, который применялся в примитивных технологиях переработки руды для выплавки железа, получали в результате медленного пиролиза древесины при температуре около 500°C. В настоящее время древесный уголь применяется в качестве бездымного топлива и адсорбента. Необходимо отметить, что именно пиролиз некоторых видов древесины издавна применяется с целью получения копильных газов, содержащих вещества, способные консервировать мясные и рыбные продукты.

На протяжении столетий в результате пиролиза получали только древесный уголь. Позднее усовершенствование технологий пиролиза позволило получать различные пропорции газовых, жидких и твердых продуктов, но для упрощения транспортировки, дозирования, хранения и использования большинство технологий нацелены на получение преимущественно жидкостей.

Мировая и национальная потребность в энергии, а также исполнение обязательств Киотского протокола и ограниченность ископаемых запасов топлива требует развития возобновляемой энергетики.

Производство энергии из возобновляемых источников динамично развивается в большинстве Европейских стран. В соответствии с программой развития ВИЭ (возобновляемые источники энергии) биомасса составляет наиболее поступательно возрастающий сектор в ЕС.

Ещё десятки лет назад учёным было известно, что горючее можно получить практически из любой органической массы (биотоплива второго поколения) - отходов растениеводства, животноводства и ТБО, которые не создают конкуренции пищевым растительным культурам.

Эксперты утверждают, что переход на биотопливо децентрализует, по крайней мере, часть топливно-энергетического комплекса, а значит, демонополизирует и снижает затраты на производство горючего.

Использование энергии биомассы может способствовать смягчению проблемы изменения климата, уменьшить количество кислотных дождей, эрозию почвы, загрязнение водоемов и нагрузку на полигоны ТБО.

Промышленные отходы, содержащие биомассу, могут быть использованы для производства энергии – это отходы производства спирта, отходы пищевой, текстильной, деревообрабатывающей, резинотехнической и полимерной промышленности и др.

Сельскохозяйственные отходы представляют собой огромный источник биомассы - солому, некондиционную продукцию и излишки производства, а также отходы животноводства в виде навоза.

Сельскохозяйственные отходы обеспечивают количество энергии, уступающее только древесине, которая является главным видом биотоплива на Земле.

В момент образования биомасса содержит большое количество воды, от 8 до 20% в пшеничной соломе, 30 - 60% в древесине, до 75 - 90% в навозе сельскохозяйственных животных и 95% в водном гиацинте.

Влажность каменного угля находится в диапазоне от 2 до 12%. Плотность энергии в биомассе на этапе образования ниже, чем у каменного угля, однако биомасса имеет преимущества по химическому составу.

Зольность биомассы значительно ниже, чем угля, в золе обычно не содержатся тяжелые металлы и другие загрязнители, поэтому она может вноситься в почву в качестве удобрения. Навоз или помет скапливается в каждом животноводческом или птицеводческом хозяйстве в больших количествах и утилизация его - огромная проблема для самого хозяйства и всего человечества. Навоз содержит массу патогенных микроорганизмов, опасных для человека и животных. Применение свежего навоза в качестве удобрения недопустимо и каждое хозяйство вынуждено организовывать его хранение и переработку. При компостировании навоза основная масса химических элементов необходимых растениям улетучивается в атмосферу и дренирует в грунт с водой, а энергия, выделяющаяся при брожении просто безвозвратно теряется. Переработка навоза в метантенках не решает проблему, поскольку полученный метан очень трудно хранить и транспортировать. При этом объемное количество навоза, обработанного в метантенке, не уменьшается, и проблема с его использованием или применением в качестве удобрения остается. Для того, чтобы вывезти его на поля нужны емкости для хранения, специальная техника, солярка, люди и т.п.

Перспективным методом переработки органических отходов человеческой жизнедеятельности, в том числе и навоза, в настоящее время является метод пиролиза. Количество канцерогенных и загрязняющих факторов, выделяемых в окружающую среду в процессе пиролиза этих отходов значительно меньше количества таких же факторов, выделяемых отходами в процессе естественного распада. Кроме того, в результате переработки отходов методом пиролиза получается ценные высококиквидные продукты — вторичное углеводородное сырье и топливо, значение которых в настоящее время все более возрастает в связи с истощением природных источников такого сырья.

Сжигание наиболее выгодно в газовой или в жидкой фазах. Наиболее сложным является сжигание твердой фазы. Поэтому для лучшего сжигания биомассы наряду с удалением влаги нужно разорвать полимерные соединения

(уменьшить их молекулярную массу вплоть до получения низкомолекулярных соединений), входящие в исходную биомассу, что может быть осуществлено частичным окислением или пиролизом.

СПРАВКА Количество энергии, которое теоретически возможно получить из возобновляемых отходов, составляет 54 ЭДж в развивающихся странах и 42 ЭДж в развитых регионах (1 ЭДж=10⁺¹⁸ Дж). Возобновляемые отходы включают три основных компонента: лес, продукты растениеводства и навоз. В расчетах предполагается, что только 25% отходов используется полезно. Развивающиеся страны теоретически могут покрыть 15% потребностей в энергии за счет отходов, промышленные страны - 4%.

Аналогичный подход должен осуществляться и при переработке для сжигания бедных полезных ископаемых. Любое частичное окисление веществ приводит к потере их энергетических характеристик. Поэтому для переработки биомассы и бедных полезных ископаемых с целью получения топлива был выбран процесс пиролиза, различные варианты которого и разрабатывается в ряде стран мира.

Пиролиз – процесс термической деструкции высокомолекулярных органических соединений в низкомолекулярные при температурах 400-700°С без доступа кислорода.

Современные технологии пиролиза ОМ могут быть разделены по таким характерным признакам: скорость нагрева (высокоскоростной или быстрый, медленный пиролиз); среда, в которой происходит пиролиз (вакуумный, гидропиролиз, метано-пиролиз).

Характеристики основных технологий пиролиза обобщены в таблице 1.

Одним из качественно новых процессов является высокоскоростной (быстрый) пиролиз [4-5]. Процесс обычного пиролиза известен по крайней мере два столетия. Процесс высокоскоростного пиролиза высокомолекулярных соединений был открыт профессорами Э.Ф. Вайнштейном и О.Ф. Шленским в середине 80 годов прошлого века [6].

Высокоскоростной пиролиз протекает при приближении параметров вещества к параметрам границы его существования в конденсированной фазе, т. е. в условиях практической потери межмолекулярного взаимодействия (реакции протекают в отдельных молекулах).

При обычном пиролизе в реакции участвуют ассоциированные и неассоциированные участки молекул. Это может приводить к дополнительным химическим реакциям и более сложному химическому составу, чем при высокоскоростном пиролизе (реагируют практически неассоциированные участки молекул). Поэтому для обеспечения экологически чистого процесса простого пиролиза потребуется более сложная обработка получаемого состава продуктов реакции.

Таблица 1.

Характеристики	Быстрый пиролиз, низкие температуры	Быстрый пиролиз, высокие температуры	Медленный пиролиз	Карбонизация
Время процесса	1с	1 с	5-30 мин	часы, дни
Размер сырья	малый	малый	средний	Большой
Влажность сырья	очень низкая	очень низкая	низкая	Низкая
Температура, °С	450-600	650-900	500-700	400-600
Давление, кПа	100	10-100	100	100
Газ:				
выход, % массы сухого сырья	до 30	до 70	до 40	до 40
теплота сгорания, МДж/нм ³	10-20	10-20	5-10	2-4
Жидкость:				
выход, % массы сухого сырья*	до 80	до 20	до 30	до 20
теплота сгорания, МДж/кг	23	23	23	10-20
Твердое вещество:				
выход, % массы сухого сырья	до 15	до 20	20-30	30-35
теплота сгорания, МДж/кг	30	30	30	30

* Количество жидкости с учетом воды реакции и влаги сырья

При изменении внешних параметров, например температуры процесса, с учетом констант скоростей протекающих химических реакций в системе возникает зависимость состава и выхода продуктов реакции от скорости достижения заданных параметров, что необходимо учитывать при разработке любого процесса. При отсутствии химических реакций в диапазоне изменения температуры зависимость выхода продуктов реакции от скорости изменения температуры отсутствует.

Поскольку реакции деструкции могут наблюдаться и при более низкой температуре, то скорость достижения температуры, при которой протекает высокоскоростной пиролиз, должна быть такова, чтобы за время ее достижения изменение химического состава смеси было минимальным (менее 5 %). В противном случае пиролизу будет подвергаться не исходная смесь, а химически модифицируемый в процессе продукт. Скорость подъема температуры образцов до достижения температуры высокоскоростного пиролиза составляет 10³—10⁵ град/с.

Энергия локальной межмолекулярной связи D связана с температурой достижимого перегрева T_n уравнением $D = \alpha R T_n$, где α – коэффициент, связывающий температуру достижимого перегрева и температуру границы существования вещества в конденсированной фазе T_r ($T_r = \alpha T_n$); R – универсальная газовая постоянная. Поскольку $T_n < T_r$, то $\alpha > 1$.

Различие значений температур обусловлено кинетическим характером процесса нагрева и процесса протекания химических реакций. В

условиях проводимых экспериментов значение α было не выше 1,05.

При потере межмолекулярного взаимодействия в условиях протекания высокоскоростного пиролиза каждое вещество смеси будет разлагаться независимо от других, а вследствие более высокой температуры процесс будет происходить за более короткое время. Процесс обычного пиролиза, характеризуемый наличием локального межмолекулярного взаимодействия, зависит от состава исходной смеси, а состав продуктов реакции будет более сложным, чем суммарный состав продуктов разложения каждого вещества в отдельности.

Таким образом, стадия высокоскоростного процесса включает мгновенный нагрев исходной смеси (отхода) и последующее разложение его, возникающее при достижении T_n с образованием газообразной и твердой фаз. При охлаждении газовая фаза может частично конденсироваться. В процессе наблюдаются разрыв цепи линейных высокомолекулярных соединений по закону "случая" и отрыв боковых групп цепи, "взрывное" вскипание низкомолекулярных соединений, например воды, или их химическая модификация; шитые полимеры подвергаются термической деструкции. Неорганические соединения в большинстве случаев остаются в зольном осадке – происходит разделение неорганических и органических соединений.

В настоящее время высокоскоростной (быстрый) пиролиз утвердился как технология термохимической конверсии биомассы (БМ) со значительным потенциалом, особенно для высокого выхода жидкого топлива и химических продуктов. Этот тип пиролиза используется для получения максимального количества либо газа, либо

жидкости в соответствии с установленной температурой процесса. Низкотемпературный высокоскоростной пиролиз позволяет максимизировать долю жидкого продукта.

Высокоскоростной пиролиз позволяет превратить БМ в жидкость, которую легче и дешевле транспортировать, хранить и использовать, чем саму БМ. Процесс пиролиза энергетически самообеспечен, т.к. использование газообразных и твердых продуктов дает тепло, необходимое для самого процесса и для сушки БМ. Основным продуктом пиролиза - синтетическое экологически безопасное топливо (пиротопливо). Пиролизная жидкость однофазная и не содержит тяжелых смол.

В составе продуктов пиролиза из биомассы (БМ) выявлено несколько сотен различных химических

соединений. Высокая ценность отдельных химических продуктов может оказаться не менее выгодным при их извлечении, даже при -небольших концентрациях. Получение топлива и химических продуктов из ОМ открывает широкие возможности в этом направлении.

Важным показателем сырья и продуктов пиролиза является энергетическая плотность 1 м^3 материала, что связано, прежде всего, с коммерческими преимуществами (транспортировка, хранение и др.), и в этом отношении пиролизное масло (30 ГДж/м^3) и смесь масла с углем (26 ГДж/м^3) явно опережают древесный уголь, щепу и т.д. Энергетическая емкость и плотность некоторых видов сырья и продуктов пиролиза показана в таблице 2.

Таблица 2.

Сырье/продукты	Плотность, кг/м^3	Энергетическая емкость, ГДж/т	Энергетическая плотность, ГДж/м^3
Солома	100	20	2
Щепа	400	20	8
Пиролизное масло	1200	25	30
Древесный уголь	300	30	9
Смесь уголь-вода (50/50)	1000	15	15
Смесь уголь-масло (20/80)	1150	23	26

Таблица 3 [9, 10].

Технология пиролиза	Компания/ Организация	Произв., кг/ч	Распределение газ/масло/уголь		Температура, $^{\circ}\text{C}$
			Основной продукт	%	
1	2	3	4	5	6
Неподвижный слой	Bio-Alternative	2000	Уголь	55/15/30	500...800
Псевдосжиженный слой	THEE	500	Газ	80/10/10	650...1000
С печью излучения	Univ. Zaragoza	100	Газ	90/8/2	1000...2000
Конвекция	Alten	500	Масло	–	–
Псевдосжиженный слой с циркуляцией	Ensyn Engineering	30	Мало	25/65/10	450...800
Быстрого потока	Georgia Tech Research Ins.	50	Масло	30/60/10	400...550
Вакуум	Laval University	30	Масло	15/65/20	250...450
Реактор с вращением	Solar Energy research Ins.	30	Масло	35/55/10	475...725
Флеш с псевдосжиженным слоем	Waterloo University	3	Масло	20/70/10	425...625
Реактор с конусом вращения	Univ. Twente	10	Масло	20/70/10	500...700

Следует иметь в виду, что приведенные данные являются усредненными величинами, так, например, энергетическая емкость пиролизного масла, по другим данным [7, 8] может изменяться от 17 ГДж/кг до 44 ГДж/кг.

Существующие технологические решения высокоскоростного пиролиза можно классифицировать следующим образом:

- пиролиз в кипящем слое;
- абляционный пиролиз;
- пиролиз в циркулярном кипящем слое (ЦКС);
- пиролиз в двух реакторах кипящего слоя (КС);
- пиролиз в потоке.

Кроме того, пиролизные реакторы можно разделить на две большие группы в зависимости от способа нагрева системы: не прямой и прямой. Наилучшие с коммерческой точки зрения результаты достигнуты на установках с двумя реакторами кипящего слоя, которые имеют хороший потенциал для увеличения масштаба. Сравнительный анализ нескольких известных технологий в соответствии с основным получаемым продуктом приведен в таблице 3.

Абляционный пиролиз является одним из видов быстрого пиролиза и широко исследуется в настоящее время для получения жидких продуктовое высоким выходом. Этот вид пиролиза имеет потенциал для создания реактора с высокой удельной производительностью, уменьшенными размерами, пониженными затратами и улучшенной возможностью управления процессом. Теплопередача происходит с помощью прямого контакта твердых частиц БМ с нагретой теплопередающей поверхностью реактора. Тепло передается поперек тонкой пленки пиролизной жидкости.

Абляционный пиролиз по сравнению с другими видами быстрого пиролиза имеет две особенности: высокую относительную скорость движения между частицами БМ и нагретой поверхностью реактора (более 1.2 м/с) и высокое давление, прилагаемое к частицам (более $5 \cdot 10^5$ Н/м²), что приводит к значительным скоростям абляции (более 1 мм/с). На рис.1 приведена принципиальная схема абляции частицы в реакторе. Абляционный эффект достигается с помощью четырех асимметрично расположенных лопаток, вращающихся со скоростью до 200 об/мин. Использование вращающихся лопаток является эффективным способом быстрой абляции относительно крупных частиц.

Абляционный конусный реактор представляет собой вращающийся конус, через стенки которого подводится тепло, необходимое для осуществления реакции пиролиза. Частицы БМ загружаются через нижнюю часть конуса вместе с горячим песком. Под действием центробежных сил смесь частиц БМ и песка продвигается по спиральной траектории вдоль стенок конуса.

Конструкция реактора не предусматривала использования несущего газа. Процесс пиролиза характеризовался коротким временем пребывания в

реакторе твердых частиц (0.5 с) и паров пиролиза (0.3 с).

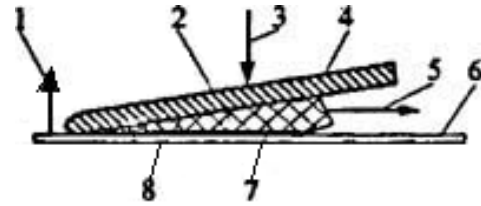


Рис.1. Принципиальная схема абляции частицы: 1 - пары пиролиза и газообразные продукты; 2 - частица биомассы (древесная щепа); 3 - направление давления на частицу биомассы. 4 - вращающаяся лопатка; 5 - направление перемещения частицы биомассы (относительная скорость 1.2 м/с); 6 - горячая поверхность реактора (625°C); 7 - пленка жидкого продукта; 8 - древесный уголь.

Следующим этапом развития конструкции реактора была установка неподвижного конуса внутри вращающегося. Блокировка внутреннего пространства вращающегося конуса была выполнена для уменьшения времени пребывания паров пиролиза в реакторе в целях предотвращения вторичного крекинга. В дальнейшем конструкция совершенствовалась. На рис.2 приведена схема одной из последних конструкций.

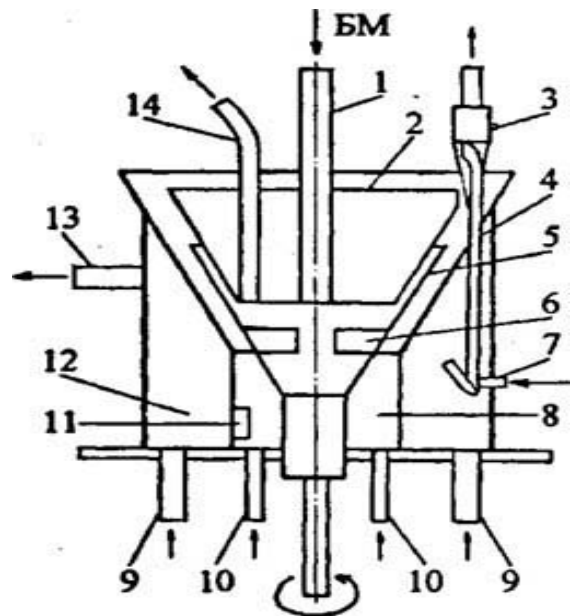


Рис.2. Схема абляционного конусного пиролизного реактора: 1 - трубка для загрузки биомассы, 2 - неподвижный конус; 3 - циклон; 4 - трубка для возврата песка в кипящий слой конуса; 5 - вращающийся конус; 6 - отверстия; 7 - подвод газа для возврата песка в кипящий слой конуса; 8 - кипящий слой конуса; 9 - канал для подвода воздуха в камеру сгорания; 10 - канал для подвода азота в кипящий слой конуса; 11 - отверстия; 12 - кипящий слой камеры сгорания; 13 - канал для выхода продуктов сгорания; 14 - канал для выхода паров пиролиза.

Реактор состоит из вращающегося конуса, внутри которого расположен неподвижный конус. Процесс быстрого пиролиза протекает в свободном пространстве между конусами. Нижняя часть конуса

погружена в кипящий слой, сформированный частицами песка и потоком азота. В отличие от прототипа данного реактора, в нижней части конуса имеется ряд больших отверстий. Под действием разрежения, возникающего при вращении конуса, частицы песка всасываются в конус через эти отверстия.

БМ в реактор подается через водоохлаждаемую трубку. В реакторе происходит тесный контакт частиц БМ и горячего песка. Поток, состоящий из смеси песка, БМ и углистого вещества, переходит через край конуса и попадает в кипящий слой. Далее одна часть потока через отверстия 11 направляется в кипящий слой камеры сгорания, а другая снова попадает в конус. Таким образом, осуществляется внутренняя рециркуляция, позволяющая частицам БМ несколько раз пройти через зону реакции.

Перемещение потока из первого кипящего слоя 8 во второй 12 происходит за счет разности давлений. В кипящем слое камеры сгорания происходит сжигание углистого вещества, за счет чего компенсируются потери тепла, и образуется тепловая энергия, необходимая для нагрева БМ и протекания эндотермической реакции пиролиза. Для возможности работы установки в автотермическом режиме в пиролизном реакторе поддерживается восстановительная атмосфера, а в кипящем слое камеры сгорания - окислительная. Возврат горячего песка из камеры сгорания в кипящий слой конуса происходит по вертикальной трубке, частично погруженной во второй кипящий слой. Пары пиролиза удаляются из реактора по каналу, который начинается у основания внутреннего неподвижного конуса.

Подобный реактор высокоскоростного пиролиза предложен компанией Dynamotive (Канада). Этот реактор имеет промышленную производительность и на нем вырабатывают около 20 тыс. т жидкого пиротоплива из древесных опилок, которое используется в качестве котельного топлива [11].

Автором статьи разработан, изготовлен и апробирован реактор высокоскоростного пиролиза без использования абляции и кипящего слоя песка, в качестве полезной модели (ноу-хау). Он имеет достаточно упрощенную конструкцию и не высокую себестоимость в отличие описанных в статье. Апробация его работы проводилась на отходах некондиционной резины с предприятия РТИ (Нижекамск) и древесных отходах.

Кроме того, предложено техническое решение и схема пиролизно - энергетического модуля для переработки органических отходов (Рис.3).

Его отличительными особенностями являются:

- способность построения непрерывного замкнутого технологического производственного процесса;
- минимальное содержание угарного газа, при практическом отсутствии углекислого газа в пиропродукте;
- относительная «чистота» выходных продуктов пиролиза, из-за отсутствия процесса бертиниования и осмоления;

- практически полное разделение органики с зольным остатком;

- минимальная энергоемкость процесса, по сравнению с другими видами пиролиза;

- управляемость температурными режимами процесса;

- высокоскоростным пиролизом могут быть разрушены многие органические токсиканты до горючих или инертных соединений.

Процесс высокоскоростного пиролиза предьявляет определенные требования к физико-химическим характеристикам исходного сырья:

- исходное вещество, с целью экономической целесообразности, должно содержать, в своем составе, не менее 12% углерода;

- эквивалентный диаметр или толщина частицы исходного вещества не должны превышать 5мм;

- относительная влажность исходного вещества не должна превышать 15%;

- объем выхода пиролизного продукта будет зависеть от соотношения твердого вещества и воды в общем объеме сырья, так же от содержания неорганической части (солей).

Все это должно учитываться при проведении технологического процесса и процесса подготовки сырья.

Узел приема и подготовки сырья для высокоскоростного пиролиза

Узел приема подготовки сырья состоит из: загрузочной весовой платформы (1); модуля сушки (2); узла измельчения и гранулирования (3); бункера подготовленного сырья (4); загрузочного модуля сырья в реактор(5). Объем бункера загрузки: 3.5 м³ - 4 м³, время работы (одна загрузка) 5-10 часов.

Реактор высокоскоростного пиролиза

Назначение. Нестандартный специализированный модуль для физико-химической деструкции твердых органических отходов и получения жидкого и газообразного топлива и водяного пара.

Структура и состав. Включает в себя собственно герметически обеспеченный реактор с системой отбора и подачи пиротоплива на поддержание процесса пиролиза в автономном режиме, с системой отбора, очистки (7) и подачи пиротоплива на электрогенерацию и шлюзового приемника золы (10). Излишки направляются на конденсацию через теплообменник в накопительную емкость (11) для дальнейшего использования в качестве котельного биотоплива или реализации на рынке. Жидкое топливо может быть модифицировано с целью получения других видов топлива, например, топлива для двигателей внутреннего сгорания или как добавка к дизтопливу.

Реактор высокоскоростного пиролиза работает в режиме термоудара, последовательно обеспечивая процесс отделения воды в форме перегретого пара (300-320⁰С) и процесс термодеструкции органических высокомолекулярных соединений до низкомолекулярных горючих продуктов.

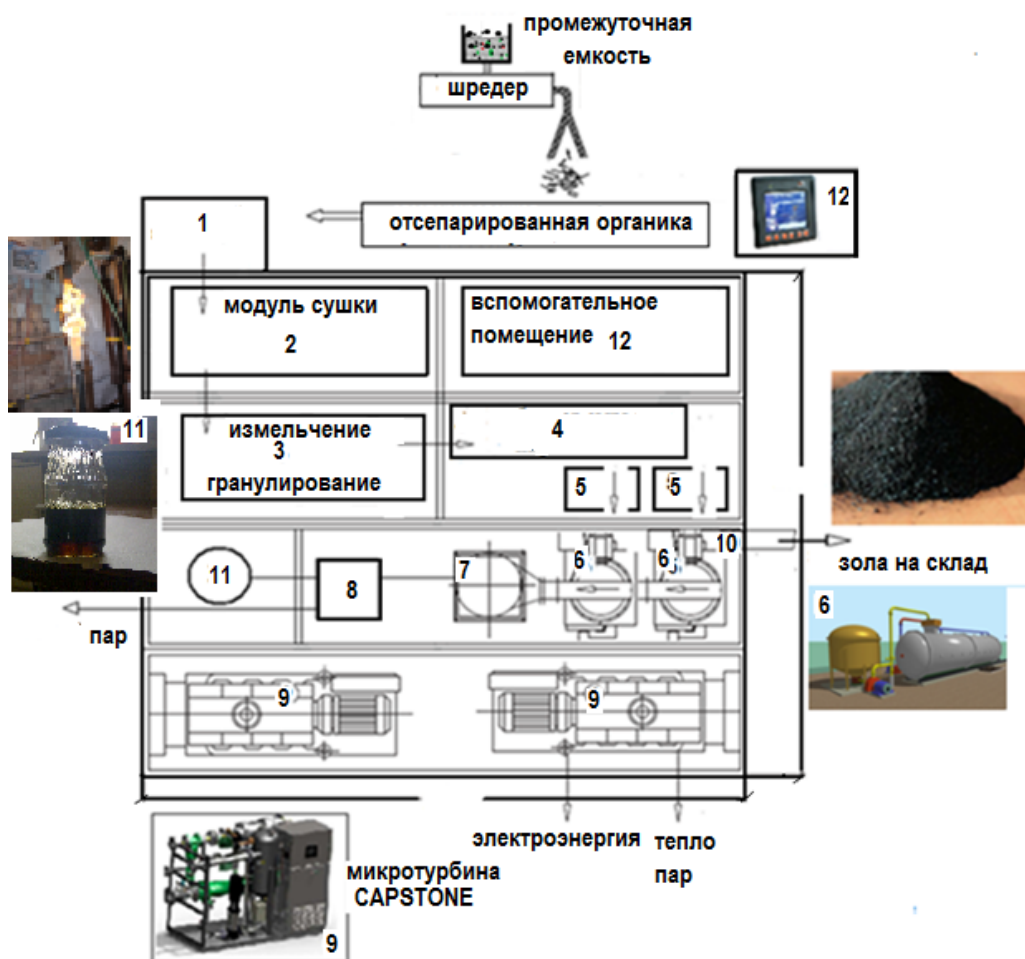


Рис.3. Схема пиролизно - энергетического модуля

1 – весовая платформа; 2 – модуль сушки; 3 – узел измельчения и гранулирования; 4 – бункер подготовленного сырья; 5 – загрузка сырья в реактор; 6 – реактор высокоскоростного пиролиза; 7 – система очистки пирогаза; 8 – теплообменный распределительный агрегат; 9 – электрогенератор; 10 – приемный бункер золы; 11 – емкость для конденсата жидкого пиролизного продукта; 12 – блок автоматизированного управления.

Принцип термоудара состоит в мгновенном (со скоростью порядка 10^4 град/сек) нагреве вещества до границ его существования в конденсированной фазе. При этом происходят следующие процессы:

- "взрывное" вскипание переход низкомолекулярных жидкостей, в т.ч. и воды, в газообразное состояние;
- газификация вследствие высокоскоростного пиролиза высокомолекулярных соединений с образованием газовой фазы пиролизного газа; при этом происходит разрыв длинных молекулярных связей и образование низкомолекулярных соединений типа C_nH_mR без образования окиси углерода, без балласта в виде содержания азота воздуха и его окислов.

При приближении параметров перерабатываемого вещества к параметрам границы существования его в конденсированной фазе межмолекулярное взаимодействие становится пренебрежимо малым. Газовая фаза образуется с существенным изменением энергетической составляющей процесса. Это дает ряд энергетических и технологических преимуществ: получение пара практически без затраты скрытой теплоты испарения; выделение пара на первом этапе процесса, что дает возможность отвода пара к

потребителю, в отличие от других известных способов, при которых пар не используется, а выбрасывается в атмосферу, отсутствие этапа предварительной многоступенчатой сушки сырья (экономия энергии до 30%).

Процесс непрерывен, а количество пиротоплива из «абсолютно» сухого вещества ограничено только наличием шлаков (в основном неорганическими примесями и соединениями).

Отсутствие окиси углерода (CO) отличает данный процесс от других процессов в газогенераторах, где происходит частичное окисление органического материала для создания необходимых температурных условий процесса пиролиза.

Высокоскоростным пиролизом могут быть разрушены многие органические токсиканты до горючих или инертных соединений.

Единичная мощность одного реактора высокоскоростного пиролиза может составлять от 2 до 10 т исходного продукта в сутки. Перерабатывающий комплекс на базе пиролизных реакторов может модульно наращиваться и производить переработку необходимого количества сырья.

Узел генерации электроэнергии

При выработке электроэнергии применяются паро- и газо турбинные и дизельные генераторы.

Предлагается использовать микротурбинные системы серии Capstone C1000, которые работают на принципе органического цикла Ренкина (ОРЦ).

Термодинамический цикл Ренкина преобразует тепло в работу. Тепло подается во внешне замкнутый цикл, который обычно использует воду в качестве рабочих жидкостей. Цикл Ренкина на водяной основе обеспечивает приблизительно 85% мирового производства электроэнергии. Атомные электростанции и ТЭЦ работают на цикле ОРЦ.

В Органическом Цикле Ренкина (ОРЦ) используются вместо пара органические соединения имеющие низкую температуру испарения. Это смесь различных органических масел (производители держат в секрете) с сокращенными названиями – R123, R245...

В таблице 4 помещены характеристики этих смесей в сравнении с водой.

Таблица 4.

Рабочая жидкость	Молекулярная масса (кг/кмол)	Критическая темпер. (°C)	Темпер. кипения (°C) при 1 атм.
H ₂ O	18.02	373,8	100.00
R123	152.9	186.7	27.84
R245fa	134	154.0	15.3

Принцип Органического цикла Ренкина основывается на работе турбогенератора для преобразования тепловой энергии в механическую и, наконец, в электрическую энергию с помощью электрического генератора. Использование органических жидкостей вместо водяного пара в системе ОРЦ не приводит к коррозионному разрушению металлических деталей и лопаток, что присуще паровым турбинам.

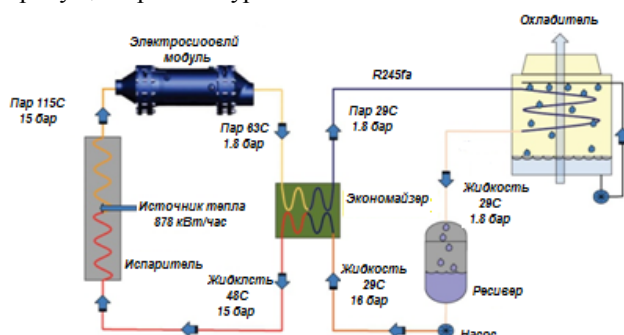


Рис. 4.

В оборудовании ОРЦ три контура (рис.4) Рабочее тело одного контура не соприкасается с рабочим телом другого контура. Источник тепла в замкнутой цепи первого контура нагревает диатермическое масло до высокой температуры, как правило, около 300 °C.

Извлечение тепла из масла происходит во втором закрытом контуре.

В ОРЦ тепло испаряется из рабочей жидкости в системе теплообменника (подогреватель и испаритель).

Органический пар, производя механическую энергию, расширяется в турбине и тем самым крутит ее лопасти. Турбина крутит генератор, в котором механическая энергия вращения преобразуется в электрическую энергию;

Пар затем охлаждается в третьем замкнутом контуре и конденсируется. Жидкая вода, прогретая до примерно 80 - 90°C может использоваться для различных приложений, требующих тепла; Конденсированные органические жидкости закачиваются обратно в регенератор, чтобы закрыть и перезапустить схему цикла.

Микротурбинные системы серии Capstone C1000 были специально спроектированы для размещения оборудования в едином компактном пространстве. Их основой стал микротурбинный двигатель C200. Основное преимущество заключается в уникальном решении всех коммуникаций энергоблока, за счет которого осуществляется внутреннее резервирование, позволяющее выводить/вводить отдельные двигатели в эксплуатацию, не прерывая работу всей энергосистемы. Это обеспечивает удобство и независимость обслуживания каждого модуля C200, входящего в состав системы. В результате достигается высокая степень надежности всего энергоблока, что позволяет избежать перебоев или полного прекращения подачи электроэнергии при остановке одного или нескольких двигателей. В зависимости от потребностей заказчика они могут комплектоваться энергоблоками C200 в количестве от 1 до 5. Выходную электрическую мощность любой из установок семейства C1000 можно оперативно увеличить до максимального значения в 1 МВт при сохранении исходных габаритных размеров. Блочно-модульная конструкция позволяет устанавливать энергосистемы C1000 друг на друга, что дает возможность оптимально разместить их на ограниченной площади.

Справка.

Электрическая мощность (кВт): Capstone 600 / 800 / 1000.

КПД по электричеству (%): 33 (± 2).

Общий КПД электростанции (в режиме когенерации), (%): до 92.

Диапазон рабочего напряжения (В): 380-480.

Максимальный ток в фазе (А): 930 / 1240 / 1550.

Частота тока (Гц): 50.

Вес (кг): 8142-9534 / 12600-14400 / 15875-18144.

Габариты (мм): 9144×2438×2896.

Вид топлива: природный газ высокого или низкого давления, биогаз (мусорный газ, газ получающийся при очистке сточных вод, анаэробный газ), попутный нефтяной газ в т.ч. с содержанием сероводорода до 7%, факельный газ, жидкие виды топлива (керосин, дизельное топливо, биодизельное топливо), сжиженный газ (метан, пропан-бутановые смеси), низкокалорийные газы, шахтный метан, метан угольных пластов, коксовые газы, сингаз (синтез-газ).

Рабочее давление топлива на входе (бар):

низкое давление — 0,02-1;

высокое давление — 5,2.

Расход топлива при номинальной нагрузке (нм³):

195 / 260 / 325.

Максимальная температура выхлопных газов

(°C): 280.

Выход тепловой энергии, кДж/час (Гкал/час):

4 260 000 (1,017) / 5 680 000 (1,356) / 7 100000 (1,696).

Выброс вредных веществ при 15% O₂

(ppmV NO_x): до 9.

Уровень шума на расстоянии 10 метров (дБ):

не более 60.

Скорость вращения турбины (об./мин): 60000.

Срок службы до капитального ремонта (часов):

60000

Стоимость оборудования 1200–1500 USD/кВт

Материально - энергетические возможности с предложенным модульным составом, пиролизно - энергетического модуля для переработки органических отходов демонстрируются в таблице 5. Из таблицы видно, что на одном модуле можно производить 3.5 тонны пиротоплива в день (с теплотой сгорания 67 ГДж) и 6 тонн перегретого пара (с энергосодержанием 18 ГДж).

Эффективность выхода пиротоплива зависит от исходной влажности сырья, чем меньше влажность тем больший объем можно переработать на одном модуле за одно и то же время. При влажности 60% годовой объем переработки составит порядка 3500 тонн, а при влажности 30% объем этой переработки практически удвоится.

Поэтому предварительное максимально возможное удаление влаги из отходов может значительно повысить эффективность переработки. Можно использовать для этого технологию сушки

вакуумным или инфракрасным импульсом, которые дают возможность получения практически абсолютно сухого продукта.

Вместе с тем, преимущество пиротоплива очевидно, поскольку удельная теплота выделяемая при его горения выше теплоты сгорания мусора.

Таким образом, органические массы, накапливаемые на Земле и постоянно выделяющие в окружающую среду парниковые газы в результате биоразложения и окисления, могут быть полезно использованы в энергетике на базе технологии высокоскоростного пиролиза, и хотя бы частично приостановить надвигающийся экологический коллапс.

Это достигается тем, что высокоскоростной пиролиз представляет почти безотходную технологию, при которой значительно сокращаются выбросы в атмосферу диоксинов, СО и оксидов азота. Происходит эффективная переработка отходов в энергетическую и химическую продукцию.

Зольный неорганический остаток совместно с другими не утилизируемыми отходами (например, боем стекла) может быть переработан в строительные пеноматериалы, типа пенобетона, теплоизоляционные и звуконепроницаемые композиты, которые могут быть изготовлены целиком из вторичных ресурсов.

Дополнительно можно отметить, что в случае наличия в хвостах дорогостоящих элементов (например, при переработке горючих сланцев или угля) можно отработать технологию их обогащения и извлечения. В результате этих дополнительных технологических схем можно проводить практически стопроцентную переработку органических твердых топлив.

Таблица 5.

Удельный выход пиротоплива из 1 т органики с влажностью 60% и его энергетические характеристики

№	Ед. Измерения	Энергосодержание продуктов пиролиза (теплотворная способность)	Потребление энергоресурсов для проведения пиролиза	Свободные энергоресурсы на реализацию
1.	ккал	16×10^5	3×10^5	13×10^5
2	кДж	67×10^5	13×10^5	54×10^5
3.	кВт ч	1860	348	1512
4.	Выход продукта, в кг	350	70	280

Библиографический список

1. Demirbas, A., Gullu, D. Acetic acid, methanol and acetone from lignocellulosics by pyrolysis. *Energ Edu Sci Technol* 1998; 2, 111 – 115.
2. Demirbas A. Biomass resources for energy and chemical industry. *Energ Edu Sci Technol* 2000; 5, 21 – 45.
3. Heermann, C., F.J. Schwager et al. *Pyrolysis & Gasification of Waste: A worldwide technology and business review*, Juniper Consultancy Services LTD. 2001.
4. Способ переработки органических веществ. Патент РФ № 201951, МПК C10B49/00, C10B53/02, C10B57/02, F23G5/00; Вайнштейн Э.Ф. и др.; Заявл. 16.01.2002; Опубл. 10.04.2003.
5. Вайнштейн Э. Ф., Фролов К. Э. Процессы переработки отходов с использованием явления "предспионального" разложения полимерных молекул//МНТС "Технология". Сер. Конструкции из композиционного материала, 1996. № 4. С. 26—31
6. Вайнштейн Э.Ф., Шлёнский О.Ф. Температурные зависимости скоростей терморазложения полимерных пленок в условиях кратковременного нагрева. // Доклады Академии наук. 1984. Т. 281. № 3. С. 660.
7. Bridgwater A.V., Peacocke G.V.C. Fast pyrolysis processes for Biomass/ *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4 (2000) 1 – 73.
8. Bridgwater A.V., Evans G.D. An assessment of thermochemical conversion systems for processing biomass and refuse. Report to UK DTI (ETSU B/T1/00207/REP), 1993.
9. Lu Nan, Gustavo Best, C. Coelho de Carvalho Neto Integrated energy systems in China - The cold Northeastern region experience. FAO UN, Rome, 1994.
10. Bridgwater A.V., Peacocke G.V.C. Fast pyrolysis processes for Biomass/ *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4 (2000) 1 – 73.
11. McAllister, R. PyNE Newsletter 1997;4 September, Aston University.

FAST PYROLYSIS IN POWER GENERATION OF ORGANIC FUEL

Alexander V. Pivovarov,

Ph.D in Physics and Mathematics

Gen. Director of "RIO", Saratov,

Leading Specialist Company "EkoZavodStroy", Moscow,

In article the problem of modern energetics on the basis of biofuel of the second generation created from not used biomass by a method of high-speed pyrolysis is considered. Biomass use can solve not only power problems, on the basis of renewed power raw materials, but also to render a positive effect on improvement of environment from pollution by an industrial and household waste.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ СПИРАЛЬНЫХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ТЕПЛОСЪЕМА
ЧАСТЬ 1. РЕЖИМЫ ДЛЯ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НАГРЕВА**

Д.В. Буланов, И.А. Корнев, М.А. Кобец, Ю.С. Мауль, В.Я. Явчуновский

Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского

Дмитрий Витальевич Буланов, начальник лаборатории ООО НПФ «Этна»

Игорь Александрович Корнев, студент 5 курса специалитета ФНБМТ СГУ

Мария Александровна Кобец, студент 2 курса магистратуры ФНБМТ СГУ

Юрий Сергеевич Мауль, студент 1 курса магистратуры ФНБМТ СГУ

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

Рассмотрены основные физические факторы, обуславливающие большую или меньшую надежность и долговечность спиральных нагревательных элементов в составе электронагревательного оборудования. Проведены расчеты и экспериментальное исследование температурных режимов спиральных нагревательных элементов при различных условиях теплосъема, построены зависимости рабочих температур спиралей в зависимости от величины тока в токопроводе, скорости потока воздуха (в том числе, и при отсутствии искусственного теплоотвода), диаметра проволоки спирали и ряда других факторов.

1. Введение.

При проектировании безынерционного электронагревательного оборудования [1,2] одной из наиболее серьезных проблем, требующей максимального объема труда разработчика, является проблема обеспечения наименее нагруженного температурного режима спиральных нагревательных элементов. Решение этой проблемы обеспечивает максимальные надежность и долговечность этого оборудования. Последнее, в свою очередь, зависит от величины плотности тока, протекающего по этим элементам, скорости потока снимающего с них тепло воздуха, степени турбулизации воздушного потока, а также целого ряда других факторов.

Причем возможности максимального снижения плотности тока, увеличения скорости движения воздуха, казалось бы, позволяющие в полном объеме решить указанные выше задачи, ограничены, как правило, другими требованиями,

предъявляемыми к электронагревательному оборудованию. К ним относятся задачи миниатюризации оборудования, обеспечения требуемой температуры выходящего из изделий воздуха, ограничения по скорости воздушного потока и другие.

Таким образом, в большинстве случаев указанная проблема формируется в виде компромиссной физической задачи [3], требующей выбора параметров спиральных нагревательных элементов и режимов теплосъема, удовлетворяющих всем предъявляемым к электронагревательному оборудованию требованиям.

В настоящей работе на основе проведенных расчетов и экспериментальных исследований установлены указанные выше взаимосвязи и создан блок данных, которые могут быть положены в основу решения компромиссных задач такого рода.

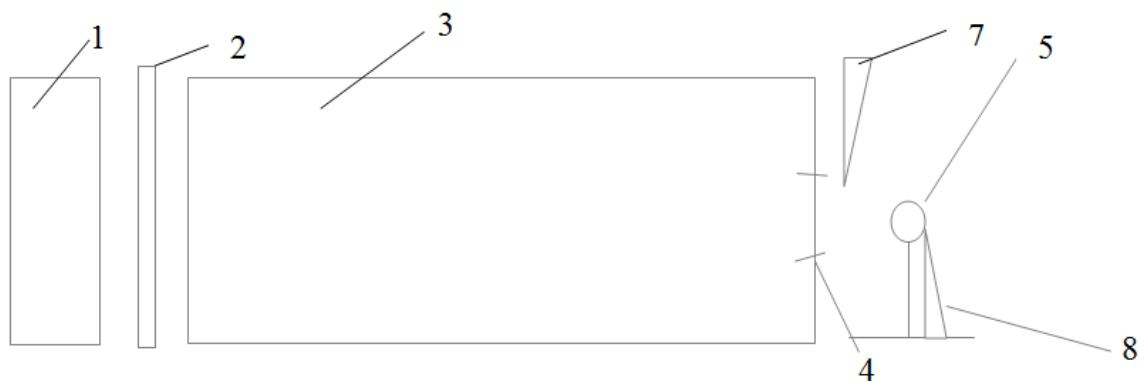


Рис. 1. Схема измерительной установки:

- 1 - осевой вентилятор с регулируемым расходом воздуха;
- 2 - шиберная заслонка с изменяемой степенью открытия;
- 3 - труба с сетками, выравнивающими распределение воздушного потока;
- 4 - отверстие в торце трубы (на 10-15% превосходящее по своим линейным размерам исследуемые спирали);
- 5 - исследуемая спираль, помещённая на двух стойках в просвете выходного отверстия;
- 6 - мультиметр, которым измерялось падение напряжения на исследуемой спирали;
- 7 - датчик скорости воздушного потока (точечный, практически не вносящий неоднородности в поток воздуха);
- 8 - термопара, подключенная к цифровому мультиметру.

2. Исходные данные и методика эксперимента.

Предварительные экспериментальные исследования проводились на измерительной установке (рис. 1), на которой можно было варьировать сопротивление нагревательных элементов, подаваемое на них напряжение (меняя, таким образом, протекающий по ним ток), а также расход воздуха через нагревательный блок.

В состав установки входило несколько сменных рамок со спиралью из используемого в современном электронагревательном оборудовании фехралевго сплава GS SY. Поток воздуха, снимающий тепло со спиралей, обеспечивался вентилятором с изменяющимися от величины подаваемого на него напряжения величинами расхода и скорости воздушного потока. Сам вентилятор был встроен в канал для формирования воздушного потока с постоянными по сечению скоростями движения воздуха. Подаваемое на вентилятор напряжение можно было варьировать в достаточно широких пределах с помощью низковольтного источника питания постоянного тока.

Специальные меры по изменению степени турбулизации воздушного потока (варьированию величины критерия Рейнольдса) на этом этапе исследования не предпринимались. В процессе проведения измерений, наоборот, добивались максимальной ламинарности потоков воздуха за счет использования упомянутого выше формирователя воздушного потока.

Измерения проводились на фехралевых спиральях с диаметрами проволоки соответственно 0,8; 0,9 и 1,0 мм путём пропускания через спираль заданного значения тока от источника питания постоянного тока.

Измерения температуры спиралей проводились с помощью градуированной термопары, приведенной в непосредственный контакт с исследуемой спиралью. Для исключения наводок от протекающего по спирали тока и связанным с этим снижением точности измерения температуры, измерения в каждом эксперименте проводились

непосредственно после отключения подаваемого на спираль напряжения в течение короткого промежутка времени, пока она не успевала остыть. При этом для повышения точности измерений вентилятор, снимающий тепло со спирали, отключался одновременно с отключением поданного на нее напряжения нагрева.

3. Экспериментальное исследование режимов естественного и принудительного конвективного теплообмена.

В первую очередь, проводились измерения температурно-токовой зависимости трех основных типов спиралей (с диаметрами проволоки соответственно 0,8; 0,9 и 1,0 мм) при естественном (конвективно-кондуктивном) теплообмене с окружающим воздухом. Изменение температуры спиралей обеспечивалось изменением величины их питающего напряжения – за счет его установки на источнике питания постоянного тока.

При этом ток в эксперименте изменялся в диапазоне от 1 А до величин, при которых наблюдалось оранжевое свечение спирали (что соответствует температуре фехралевой проволоки порядка 600°C). Из результатов, представленных на рис. 2 видно, что при изменении диаметра проволоки от 0,8 до 1 мм, ток, при котором достигается оранжевое свечение проволоки спирали, изменялся приблизительно от 4,5 А до 6 А.

Точками показаны экспериментально замеренные значения температур, линиями – аппроксимации результатов полиномиальными зависимостями. Окончание графиков свидетельствует о появлении оранжевого свечения проволоки. Далее аналогичные измерения проводились при наличии принудительного воздушного теплообмена со спирали при варьируемой скорости потока снимающего тепло со спирали воздуха. Сначала измерения проводились при малых скоростях движения воздуха, соответственно, 0,3; 0,5; 0,8; 1,0 м/с (рис. 4 а, б, в, г), а затем – при средних скоростях движения воздуха – соответственно, 1,5; 2,0 и 3,0 м/с (рис. 5 а, б, в).

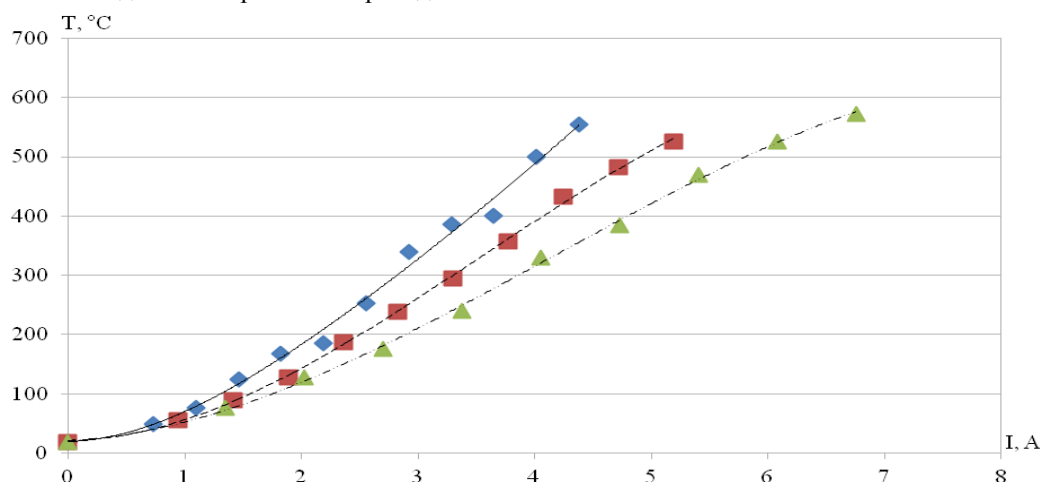
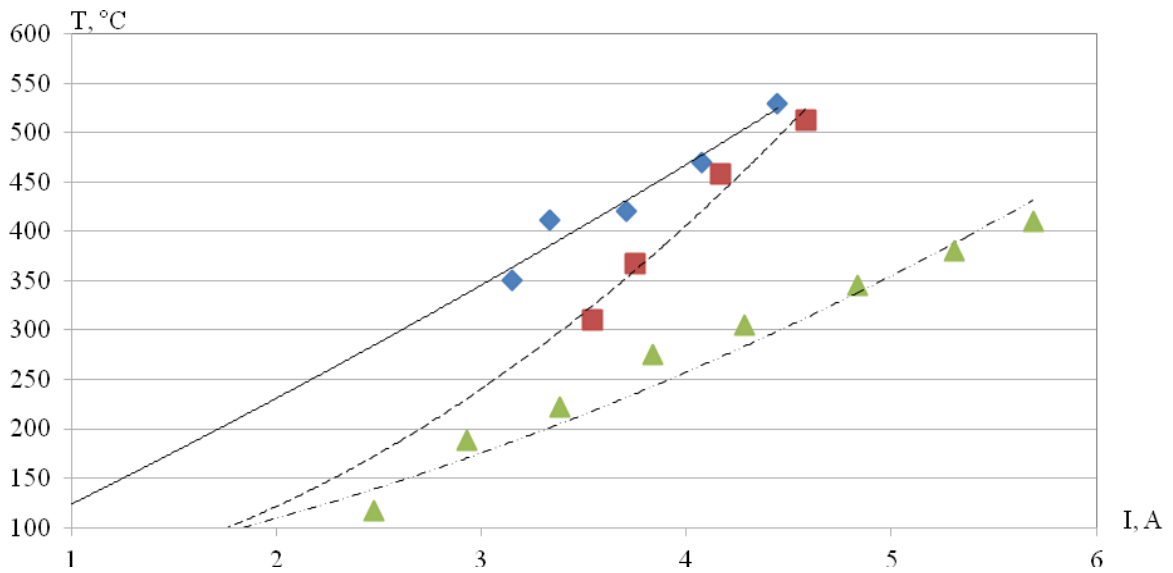
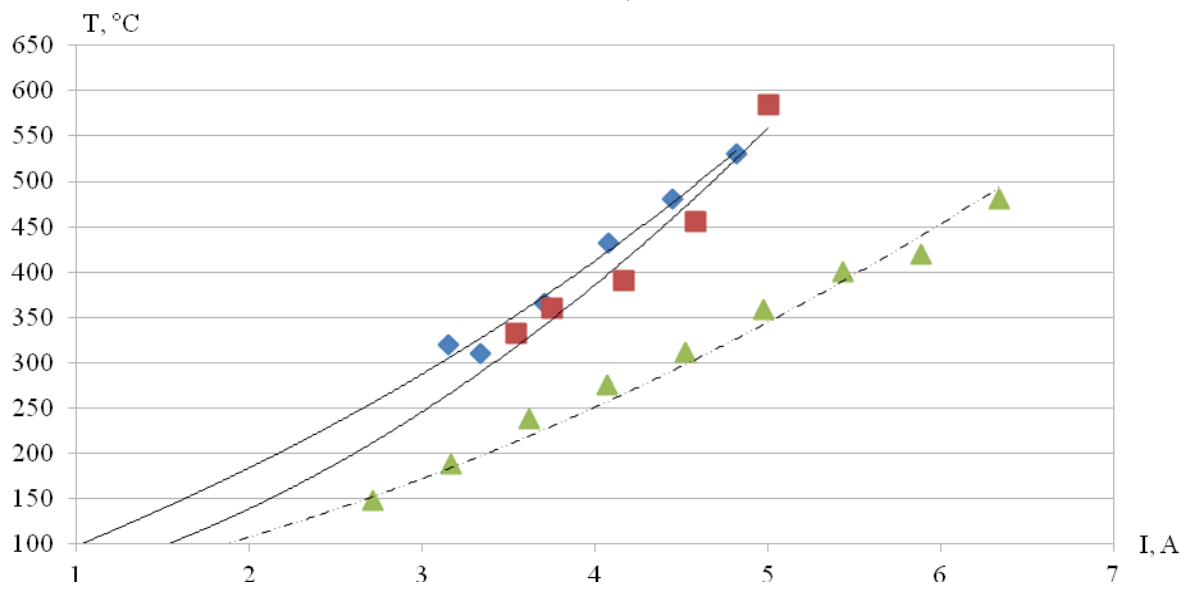


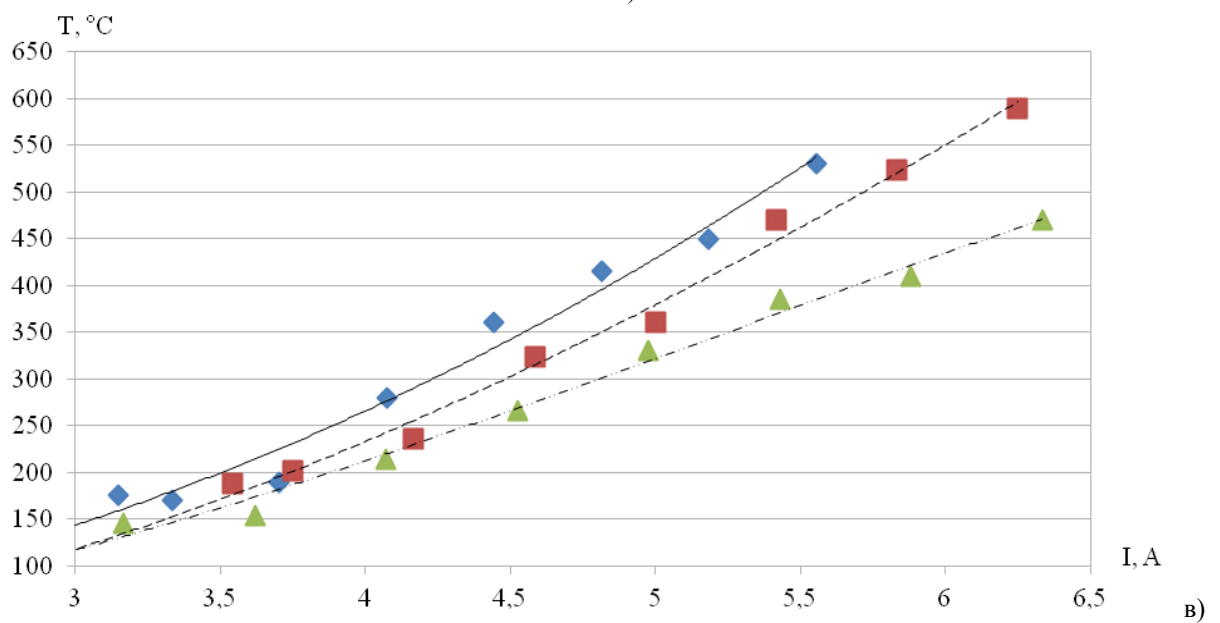
Рис. 2. Зависимости температуры спиралей из проволоки различного диаметра от протекающего по ней тока при естественном воздушном охлаждении:
 — диаметр проволоки спирали 0,8 мм; - - - - - 0,9 мм; — · — · — · — 1,0 мм.



a)



б)



в)

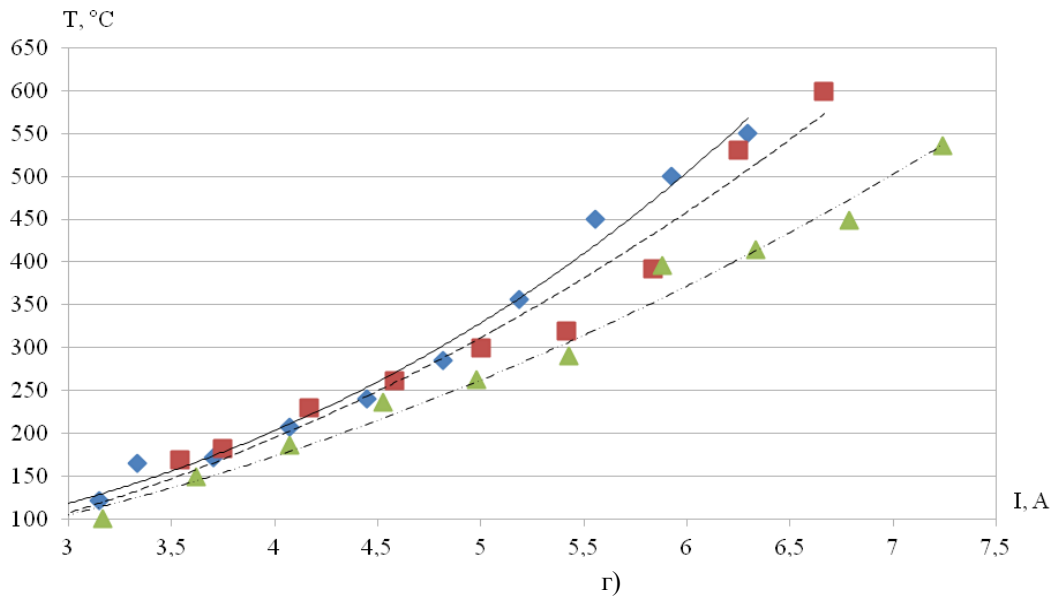
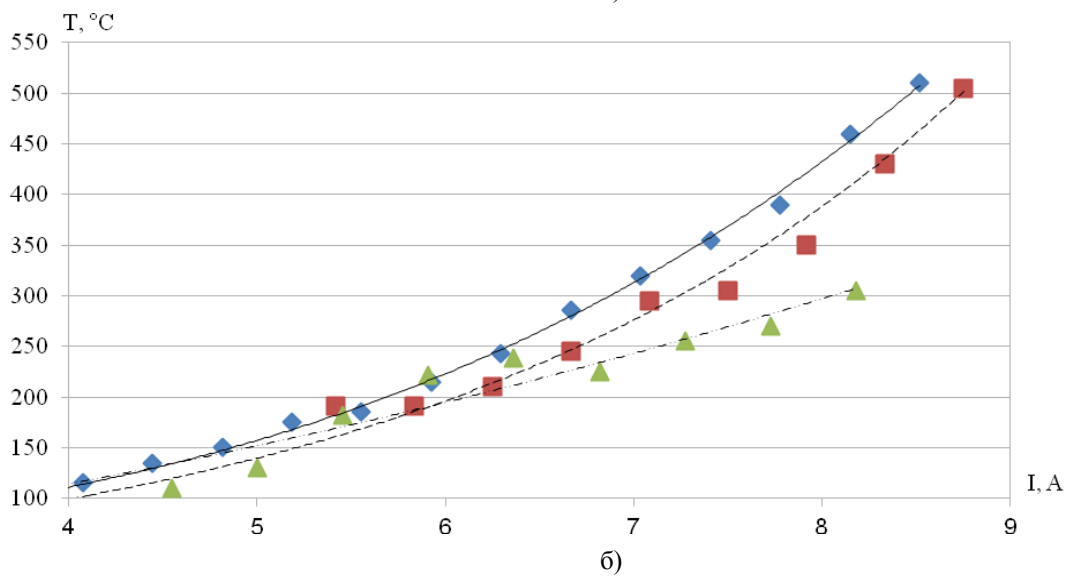
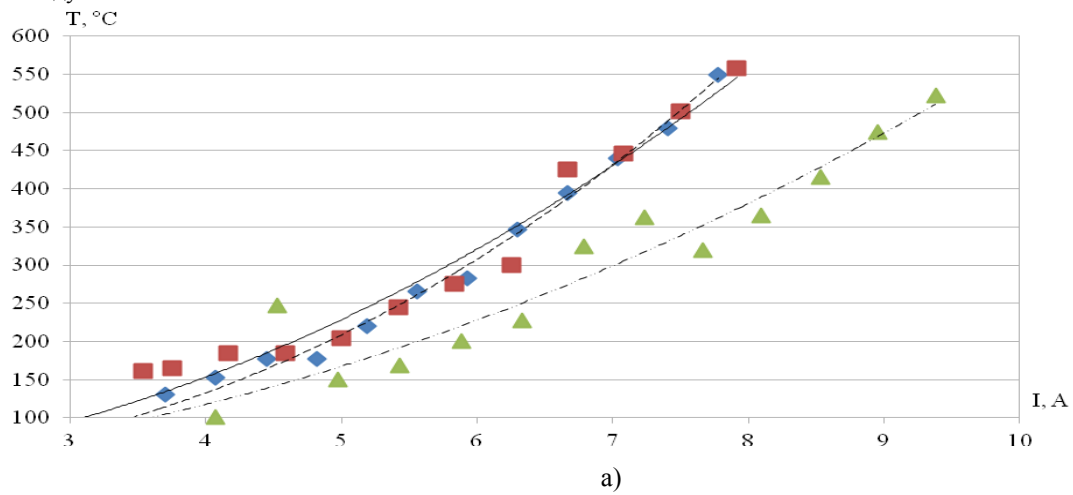


Рис. 4. Зависимости температуры спирали от протекающего по ней тока при принудительном воздушном охлаждении (а – скорость воздушного потока 0,3 м/с; б - 0,5 м/с; в - 0,8 м/с; г - 1,0 м/с); диаметр спирали 0,8 мм (——); 0,9 мм (-----); 1,0 мм (-.-.-). Точками показаны экспериментально измеренные значения температур, линиями – аппроксимации результатов полиномиальными зависимостями. Окончание графиков свидетельствует о появлении оранжевого свечения проволоки. Температура входящего в установку воздуха – 23°С.



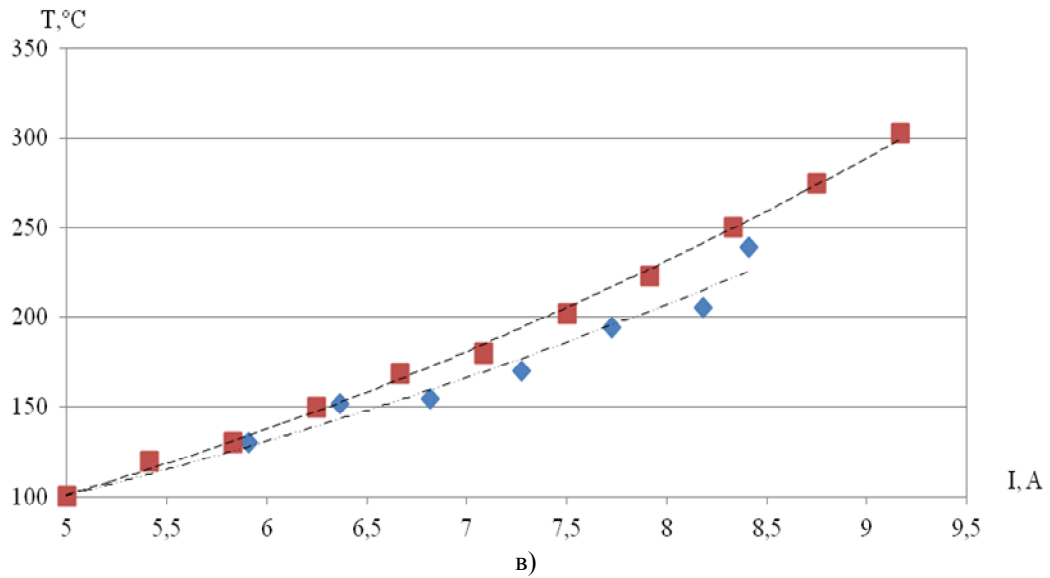
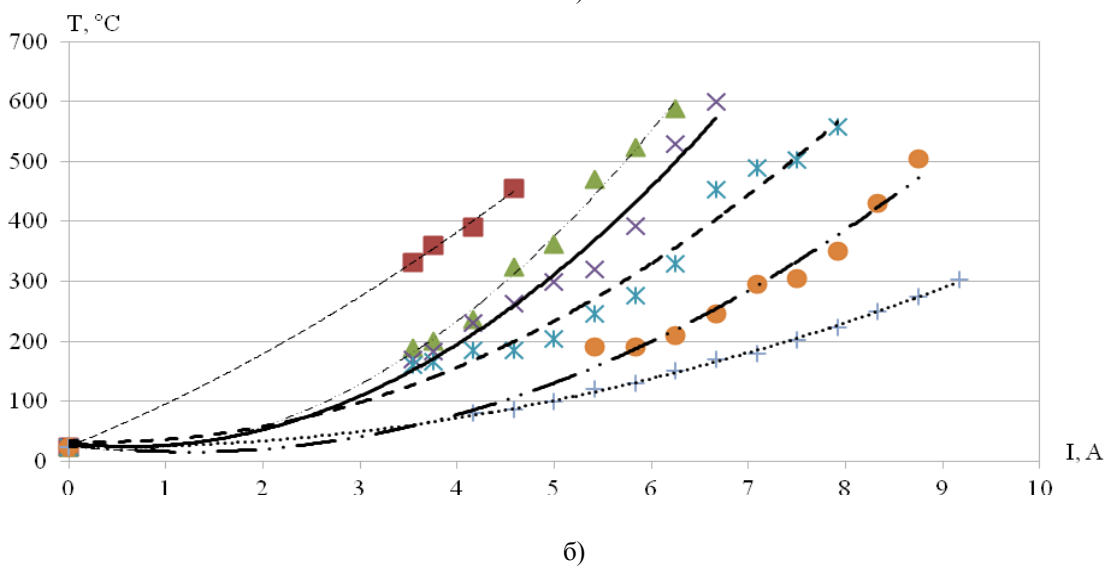
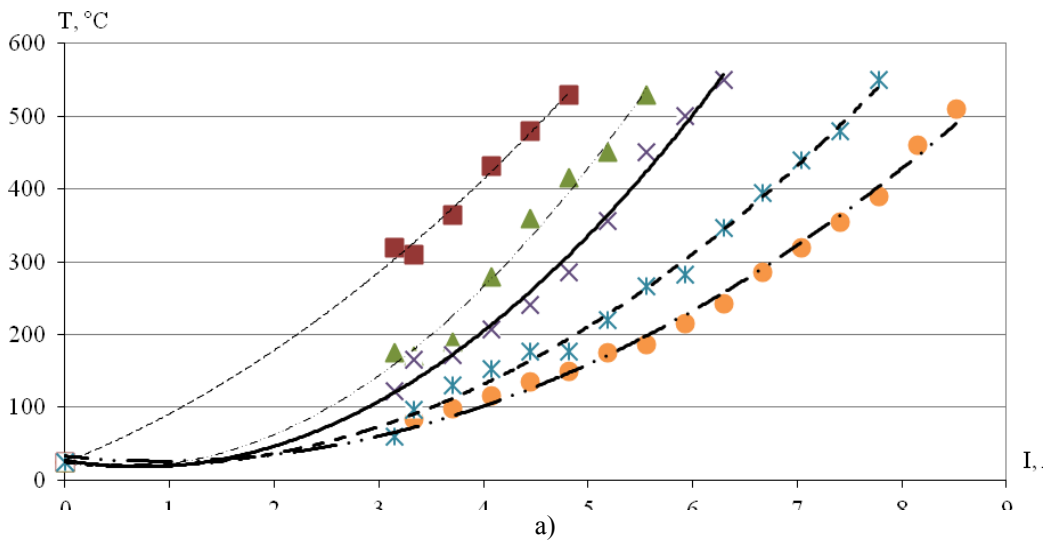


Рис. 5. Зависимости температуры спирали от протекающего по ней тока при принудительном воздушном охлаждении (а – скорость воздушного потока 1,5 м/с; б - 2,0 м/с; в - 3,0 м/с); диаметр спирали 0,8 мм (—); 0,9 мм (- - - - -); 1,0 мм (- · - · - ·). Точками показаны экспериментально замеренные значения температур, линиями – аппроксимации результатов полиномиальными зависимостями. Окончание графиков свидетельствует о появлении оранжевого свечения проволоки. Температура входящего в установку воздуха – 23°С.



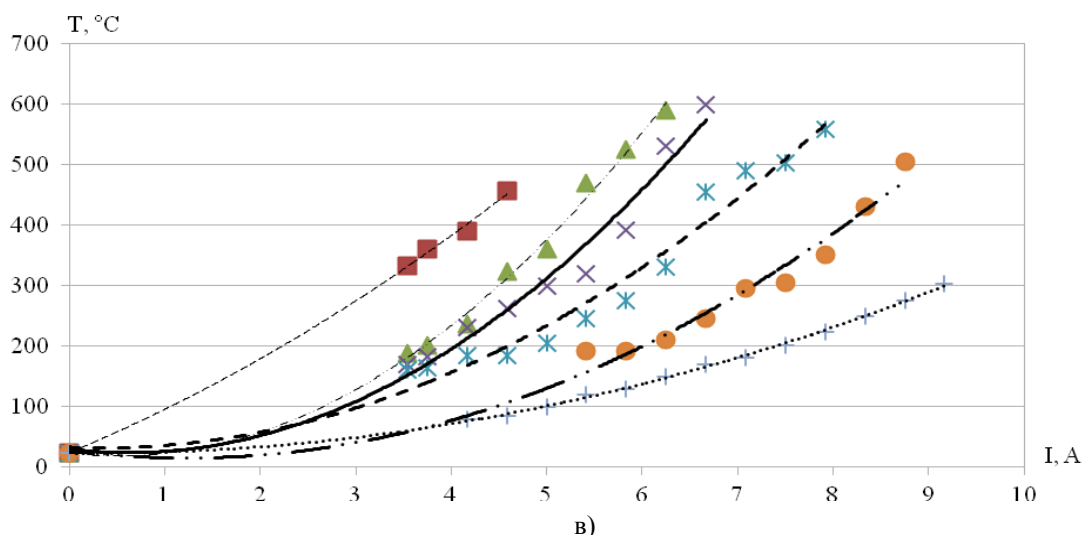


Рис. 6. Зависимости температуры спирали от протекающего по ней тока при принудительном воздушном охлаждении при скоростях воздушного потока соответственно: 0,5 м/с (—); 0,8 м/с (- - -); 1,0 м/с (- - - -); 1,5 м/с (— · · ·); 2 м/с (- · · ·) и 3 м/с (·······) (а - диаметр спирали 0,8 мм; б - 0,9 мм; в - 1,0 мм). Точками показаны экспериментально замеренные значения температур, линиями – аппроксимации результатов полиномиальными зависимостями. Окончание графиков свидетельствует о появлении оранжевого свечения проволоки. Температура входящего в установку воздуха – 23°С.

Задавшись относительно безопасной температурой нагревательного элемента (от 100 до 200°С), при которой расположенные в потоке воздуха спиральные элементы демонстрируют очень высокую надежность и долговечность ($3 \cdot 10^4 \div 10^5$ часов) при хорошей эффективности теплосъема, можно по полученным результатам измерений установить еще ряд важных закономерностей. В частности, для каждого значения расхода воздуха можно получить инженерные нормативы выбора зависимости требуемого диаметра спирали от величины протекающего по ней тока (рис. 6).

Как правило, допустимая температура спирали задается, как некое ограничение при разработке конкретных изделий, определяя тем самым параметры его надежности и долговечности. При заданной же температуре спирали полученные результаты позволяют получить взаимно-однозначное соответствие между тремя оставшимися величинами - протекающим по спирали током, скоростью потока воздуха и диаметром проволоки спирали. Задав диаметр проволоки спирали в качестве параметра можно установить взаимно-однозначное соответствие уже между двумя величинами – протекающим по спирали током и скоростью потока воздуха. На этом и можно построить инженерные методики выбора параметров электронагревательных приборов.

Следует отметить, что полученные результаты позволяют установить эти взаимосвязи исключительно для случая, когда спираль с протекающим по ней током находится вся целиком в равномерном по сечению потоке воздуха. Однако, в большинстве реальных случаев это не так. Причем среди проблем такого рода существуют задачи различного уровня сложности.

К наиболее простым из них можно отнести ситуации, когда имеет место небольшая неравномерность распределения скоростей потока

воздуха по сечению, в котором располагаются нагревательные элементы. В этом случае в рамках создаваемой инженерной методики можно просто ориентироваться на минимальную по рассматриваемому сечению скорость воздушного потока и именно для нее пользоваться полученными ранее зависимостями.

К наиболее же тяжелым инженерным задачам такого рода относятся такие, в которых часть нагревательного элемента находится вне потока воздуха (в тени) и тепло с нее хладагентом снимается в намного меньшей мере.

Причем воспользоваться при этом полученными выше зависимостями для естественного теплоотвода также представляется не совсем корректным. Такой подход можно использовать, скорее всего, как «оценку снизу».

Как правило, в таких системах всегда, кроме чисто конвективного теплоотвода, имеет место и теплоотвод посредством теплопроводности самого токопровода. На нагревательном элементе зачастую находится точка стока тепловой энергии – обычно в рассматриваемых системах эта точка крепления спирали к массивному арматурному электро - (но не тепло -) изолированному элементу.

4. Выбор параметров нагревательных элементов на основе измеренных аэродинамических и тепловых характеристик.

Полученные результаты позволяют без сложных вычислений и экспериментов осуществлять инженерный выбор диаметра проволоки спиралей для любой требуемой системы параметров. Упрощенная графическая методология выбора, вполне применимая для инженерных целей представлена на рис. 10. На нем показаны зоны использования спиралей из фехральной проволоки диаметром соответственно 0,8 мм, 0,9 мм и 1,0 мм.

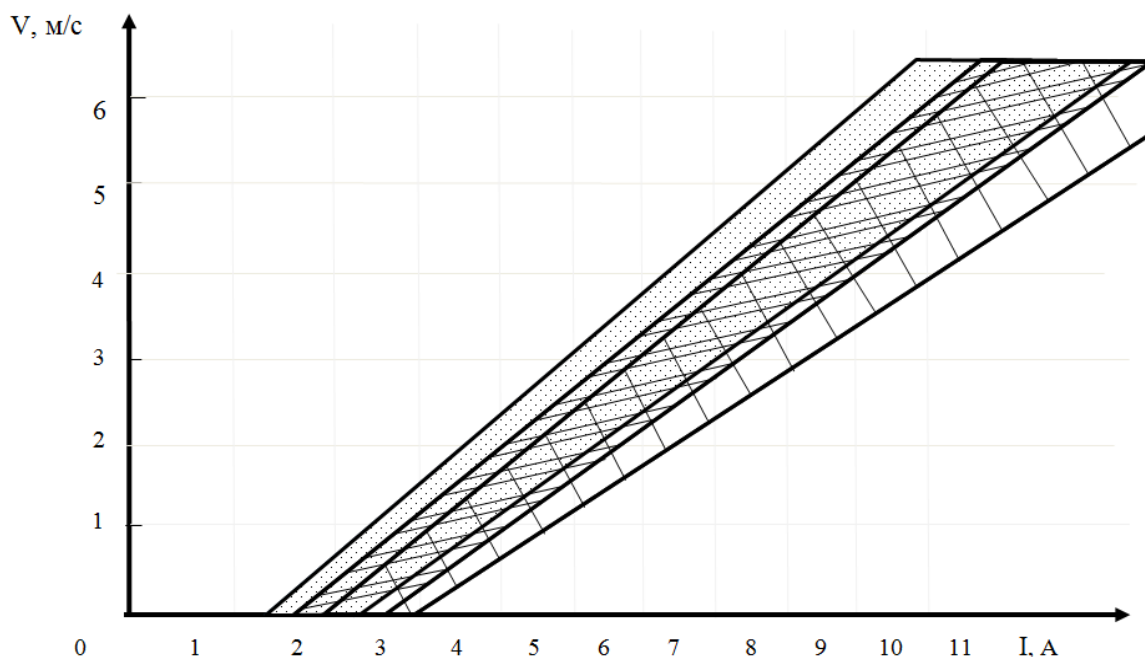





Рис. 10. Зоны выбора диаметра проволоки спиралей в зависимости от величины расхода воздуха (ось абсцисс) и силы протекающего по спирали тока (ось ординат). Верхняя граница каждой зоны соответствует температуре проволоки спирали 200°C, нижняя – температуре 100°C. Зона  соответствует диаметру проволоки спирали 0,8 мм, зона  0,9 мм, зона  1,0 мм. Температура входящего в установку воздуха – 23°C.

Показанные на рис. 10 зоны позволяют без сложных вычислений и экспериментов осуществлять инженерный выбор диаметра проволоки спиралей для любой требуемой системы параметров. Следует, правда, отметить, что эти результаты носят не абсолютно универсальный характер. Границы представленных на рисунке зон, безусловно, зависят от целого ряда неучтенных в проведенных экспериментах параметров: котангенса угла намотки спирали (в проведенных исследованиях спирали устанавливались согласно стандартам, так, что расстояние между витками составляло 1,3 от толщины витка спирали), степени турбулизации воздушного потока и целого ряда других. Однако, как показывает инженерная практика, влияние этих факторов относительно невелико, по крайней мере, в тех границах, в которых они изменяются в реальном электронагревательном оборудовании.

5. Общие выводы.

Проведены экспериментальные исследования температурных режимов спиральных нагревательных элементов безынерционного электронагревательного оборудования. Исследованы температурные режимы спиралей фехралевого сплава GS SY различной толщины при естественном и принудительном воздушном тепловоде.

После обобщения температурно-токовых зависимостей для спиралей разного диаметра, где параметром выступала скорость потока воздуха, были составлены карты выбора диаметра проволоки спиралей электронагревательного элемента, удовлетворяющей требованиям надежности и долговечности. По ним, основываясь на предъявляемым техническим заданием на прибор требованиям по величине тока и скорости воздушного потока, можно выбрать диаметр проволоки спирали и еще до стадии построения действующих образцов прибора судить о надежности используемых в нем нагревательных элементов.

На основании полученных данных был проведен анализ специфических режимов работы отдельных элементов спирали. Для этого был предпринят упрощенный инженерный расчет температурного режима отдельного элемента проволоки спирали, по каким-либо причинам исключенного из области с достаточной скоростью воздушного потока в конструкции нагревательного прибора. На основе него можно получить зависимость температуры локальных перегревов участков, которые в силу конструктивных особенностей прибора оказались в аэродинамической тени, от их геометрических параметров, силы тока, температурных режимов остальных элементов нагревательного прибора.

Библиографический список

1. Козлов А.В., Явчуновский В.Я. Сравнительный анализ характеристик откры-тых спиралей и ТЭНов в составе электронагревательных приборов. Ч. 1. Расчет тепловых полей в стационарных и нестационарных тепловых режимах. Вопросы прикладной физики: Межвуз. науч. сб. – Саратов: Изд-во Сар. ун-та, 2008г.
2. Козлов А.В., Явчуновский В.Я. Сравнительный анализ характеристик открытых спиралей и ТЭНов в составе электронагревательных приборов. Ч.2. Экспериментальное исследование стационарных и нестационарных режимов. Вопросы прикладной физики: Межвуз. науч. сб. – Саратов: Изд-во Сар. ун-та, 2008г.
3. Явчуновский В.Я., Явчуновский В.В., Козлов А.В. Воздухоподогреватель салона электротранспорта. Патент на изобретение 2008102712 от 29.01.08г.
4. Явчуновский В.Я., Явчуновский В.В., Козлов А.В. Воздухоподогреватель каби-ны водителя электротранспорта. Патент на изобретение 2008102711 от 29.01.08г.

**STUDY OF TEMPERATURE REGIMES OF THE HEATING COIL ELEMENTS IN DIFFERENT CONDITIONS OF HEAT SINK
PART 1. MODES FOR DIRECT AND ALTERNATING SINUSOIDAL VOLTAGE HEATING**

D.V. Bulanov, I.A. Kornev, M.A. Kobets, Y.S. Maul, V.Y. Yavchunovsky

Considered the main physical factors contributing to more or less reliability and durability of the heating coils elements in the composition of the heating devices. Calculations and experimental investigation of the temperature regimes of spiral heating elements in different conditions of heat sink, construct the dependence of working temperatures spirals on the value of current in the heating coil, speed of the air flow (including, and in the absence of compulsive heat sink), the diameter of the wire spiral and a number of other factors.

УДК 62-712.8

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ СПИРАЛЬНЫХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ТЕПЛОСЪЁМА
ЧАСТЬ 2. РЕЖИМЫ, РЕАЛИЗУЕМЫЕ ПРИ ПОСТОЯННОМ И ПЕРЕМЕННОМ СИНУСОИДАЛЬНОМ НАПРЯЖЕНИИ НАГРЕВА**

И.А. Корнев, М.А. Кобец, В.Я. Явчуновский

Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского

Игорь Александрович Корнев, студент 5 курса специалитета ФНБМТ СГУ

Мария Александровна Кобец, студент 2 курса магистратуры ФНБМТ СГУ

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

Проведено теоретическое и экспериментальное исследование температурных режимов участков спиральных нагревательных элементов, находящихся вне снимающего со спирали тепло воздушного потока (в аэродинамической тени). На основе аппроксимации экспериментальных данных получены простые инженер-ные соотношения, позволяющие в широком диапазоне изменения параметров на-грева и теплосъема (величины тока в токопроводе, скорости потока воздуха, диаметра проволоки спирали и ряда других факторов) анализировать локальные перегревы этих участков.

1.Введение.

В работе [1] проведено теоретическое и экспериментальное исследование температурных режимов спиральных нагревательных элементов, используемых в безынерционном в тепловом отношении электронагревательном оборудовании [2-5]. В рамках этой работы исследованы температурные режимы спиралей из современного фехралевого сплава GSSYразличной толщины при естественном и принудительном воздушном теплоотводе.

По итогам этого исследования составлены карты выбора диаметра проволоки спиралей электронагревательных элементов, удовлетворяющего требованиям надежности и долговечности

нагревательных систем. Полученные результаты позволяют еще на стадии предварительного проектирования (до изготовления первых опытных образцов электронагревательных приборов) судить о надежности используемых в нем нагревательных элементов.

Однако следует отметить, что полученные в части 1 настоящей работы результаты позволяют установить эти взаимосвязи исключительно для случая, когда спираль с протекающим по ней током находится вся целиком в равномерном по сечению потоке воздуха. В большинстве же реальных случаев это не так. Причем среди проблем такого рода существуют задачи различного уровня сложности.

К наиболее простым из них можно отнести

ситуации, когда имеет место небольшая неравномерность распределения скоростей потока воздуха по сечению, в котором располагаются нагревательные элементы. В этом случае в рамках представленной в части 1 инженерной методики можно просто ориентироваться на минимальную по рассматриваемому сечению скорость воздушного потока и именно для нее пользоваться полученными зависимостями.

К наиболее же тяжелым инженерным задачам такого рода относятся такие, в которых часть нагревательного элемента находится вне потока воздуха (в аэродинамической тени) и тепло с нее хладагентом снимается в намного меньшей мере.

Причем воспользоваться при этом полученными в части 1 зависимостями для естественного теплоотвода также представляется не совсем корректным. Такой подход можно использовать, скорее всего, как «оценку снизу». Поэтому для относительно корректного подхода к задачам такого рода следует рассмотреть ситуации, в которых отдельные элементы спирали, по которым (также как и по ее основной части) проходит ток нагрева, находятся вне области со значимой скоростью воздушного потока (в аэродинамической тени).

В этой связи в данной, второй части настоящей работы проводится упрощенный инженерный расчет и экспериментальное исследование температурных режимов таких элементов спирали. Основной задачей этого исследования является получение соответствующих зависимостей температуры в зонах локального перегрева, находящихся в аэродинамической тени участков от основных влияющих на эти режимы параметров (их геометрических размеров, силы тока, температурных режимов остальных элементов электронагревательного прибора и пр.).

Как правило, в таких системах всегда, кроме чисто конвективного теплоотвода, имеет место и теплоотвод посредством теплопроводности самого токопроводящего нагревательного элемента. На нагревательном элементе зачастую находится точка стока тепловой энергии – обычно в рассматриваемых системах эта точка крепления спирали к массивному арматурному электро - (но не тепло -) изолированному элементу.

Предположим, участок спирали от точки крепления до точки, в которой имеется значимая скорость воздушного потока, находится в тени (заслонен от потока воздуха другими элементами электронагревательного прибора). Ниже приводится попытка теоретического анализа температурных режимов нагревательных элементов при подобных условиях теплосъема.

2. Приближенный расчет тепловых режимов участков спирали, находящихся вне потока хладагента.

Провести достаточно корректный расчет температурных режимов частично находящихся в аэродинамической тени нагревательных элементов представляется достаточно сложной задачей. Фактически это самосогласованная задача, в которой

необходимо учитывать:

- внутренние источники тепла находящегося в тени участка спирали и теплопередачу от этих источников к точке крепления спирали и к точке перехода с этого участка спирали на соседний участок, охлаждаемый потоком воздуха;

- для корректности расчета необходимо учитывать не только теплопередачу по самой проволоке спирали, но и учитывать ее термодинамическое равновесие с окружающим ее воздухом, как за счет кондуктивно-конвективных механизмов теплопередачи, так и за счет теплового излучения (из предварительных расчетов следует, что температура проволоки достаточно для этого высока);

- кроме того следует учитывать различие температур в точке крепления спирали и в точке перехода с находящегося в аэродинамической тени участка спирали на соседний участок, охлаждаемый потоком движущегося воздуха, что предопределяет дополнительную передачу тепловой энергии по исследуемому участку.

Покажем указанные проблемы, связанные с теоретическим расчетом, на конкретном примере и рассмотрим с теоретических позиций описанные выше процессы, постаравшись при этом максимально упростить решение этой задачи.

Прежде всего, из полученных в ч.1 экспериментальных данных с учетом диаметра проволоки спирали, величины протекающего по ней тока, скорости потока воздуха на границе тени можно определить температуру спирали на этой границе. Задаввшись близкой к температуре входящего в электронагревательный прибор воздуха температурой спирали в точке ее крепления, несложно рассчитать реальный тепловой поток, протекающий по этому участку при заданном температурном градиенте и параметрах теплопроводности проволоки спирали. А отсюда определить и распределение температур по этому участку.

Ниже приводится пример такого расчета. В нем, как уже упоминалось ранее, учтены и конвективная, и кондуктивная компоненты теплопередачи. Передача тепловой энергии через механизмы излучения не учитывалась, поскольку при температурах, при которых она вносит весомый вклад в теплопередачу, обеспечить надежное функционирование нагревательных элементов не удастся. Да и определить сколь либо точно тепловое сопротивление на границе материал спирали – неподвижный воздух не представляется возможным (разве что – из экспериментальных данных). А рассчитывать уровень излучения, не имея сколь либо точных значений температуры излучающей поверхности, с учетом четвертой степени в соответствующей зависимости мощности теплового потока от этой температуры, вряд ли имеет смысл. Поэтому этой зоной температур и передачей тепла через излучение в предлагаемом расчете решили пренебречь.

Рассмотрим конкретный подход к такому расчету. Основная сложность его заключается в том, что по

рассматриваемому участку спирали так же протекает электрический ток и выделяется тепловая мощность, добавляющаяся к тепловой нагрузке, обусловленной кондуктивной передачей тепла по этому участку. В наиболее упрощенном варианте подхода можно предположить, что эта дополнительная тепловая нагрузка распределяется равномерно (температурное изменение удельного сопротивления материала спирали по длине рассматриваемого участка не учитывается). Тогда задачу можно решать пошаговым методом, разделив этот участок на некоторое количество одинаковых по геометрическим параметрам и прочим физическим свойствам элементарных участков, каждый из которых является источником дополнительной тепловой энергии.

Теоретический инженерный расчёт теплового режима спирали, помещённой в аэродинамическую тень, проводился следующим образом:

1). На первом этапе определяются условия задачи:

- значения температуры на концах помещённого в аэродинамическую тень участка спирали – соответственно, T_1 и T_2 , которые будут оставаться неизменными при решении задачи (далее в расчете выбраны значения $T_1 = 40^\circ\text{C}$ и $T_2 = 240^\circ\text{C}$, взятые из полученных ранее экспериментальных данных);
- коэффициент теплопроводности проволоки спирали из выбранного материала (в данной работе использовался фехралевый сплав GSSY – $\lambda = 19 \text{ Вт/м}^\circ\text{K}$);
- площадь её поперечного сечения ($S = 0,785 \text{ мм}^2$) и длина проволоки в той части спирали, которая помещена в аэродинамическую тень ($D = 0,5 \text{ м}$);

- значение протекающего по спирали тока (которое затем пересчитывается в удельную мощность - ватты на погонный метр проволоки). В данном случае по спирали протекал ток $I = 7 \text{ А}$, и удельная мощность составляла примерно $123,4 \text{ Вт/м}$.

2). Следующий шаг - решение стационарного уравнения теплопроводности:

$$d^2T/dx^2 = q_v/\lambda, \quad (1)$$

где q_v - удельная плотность внутренних источников теплоты в спирали;

λ - коэффициент теплопроводности.

При интегрировании (1) получаем выражение вида

$$T^2/2 = q_v \cdot x^2/2\lambda + C_1 \cdot x + C_2, \quad (2)$$

при подстановке в которое граничных условий (значений температуры в нулевой точке - контакте и в крайней точке участка, не охлаждаемого воздухом) получаем значения коэффициентов $C_1 = -9558025$ и $C_2 = 48984$.

Подставляя в (2) эти значения коэффициентов, получим простое выражение для расчета зависимости температуры по длине проволоки спирали на всем находящемся в аэродинамической тени ее участке:

$$T(x) = [2(38562500x^2 - 9558025x + 48984)]^{1/2}, \quad (3)$$

из которого можно расчетным путем получить уже конкретное распределение температуры по длине проволоки в наших заданных условиях.

Пример такой зависимости (теплоотвод только через концы проволоки) показан на рисунке 1.

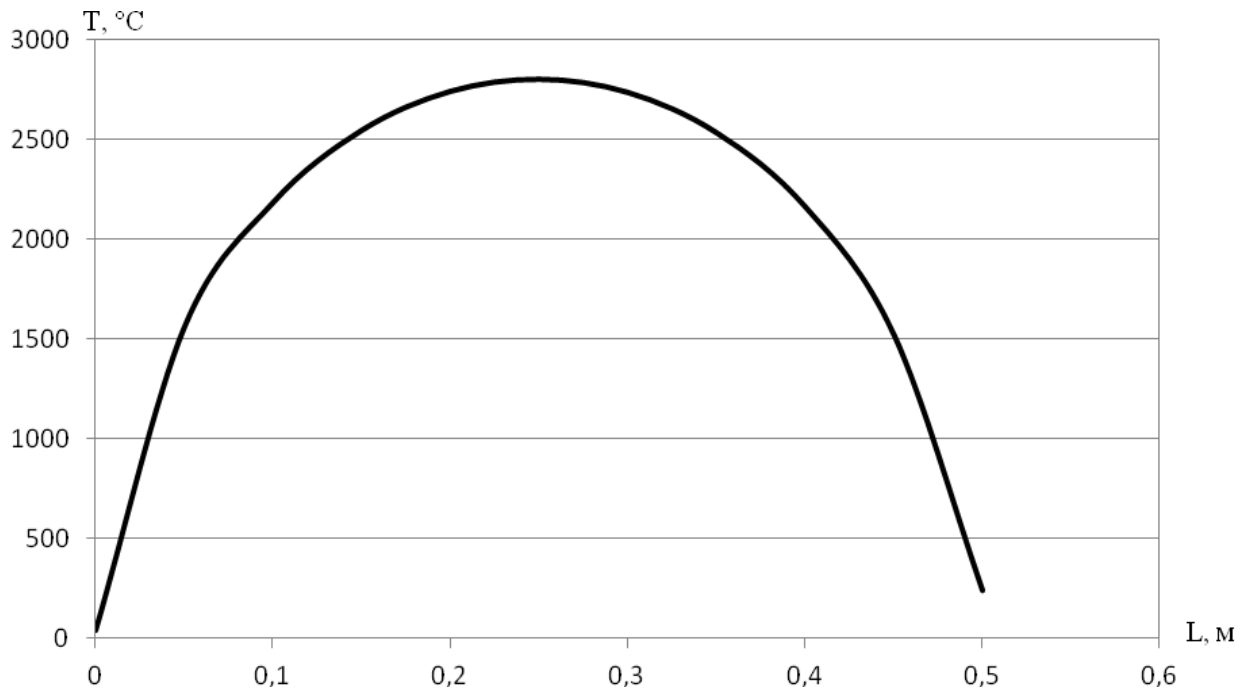


Рис. 1. Результаты расчета распределения температуры по длине участка спирали, не охлаждаемого движущимся воздушным потоком (без учета механизма теплоотвода неподвижным воздухом вокруг спирали).

Здесь ток, протекающий по проволоке длиной 0,5 м и диаметром 1 мм (13 витков спирали со стандартным углом намотки и керном 10 мм), равен 7 А. Значения температуры T_1 и T_2 были заданы, соответственно, 40 и 240°C.

3). Очевидно, что нужно учитывать и естественный воздушный теплоотвод с поверхности спирали, так как она находится не в вакууме, а в воздухе, который присутствует и в аэродинамической тени элементов конструкции нагревательного прибора. Для этого использовалась полученная ранее экспериментальная зависимость температуры спирали от протекающего по ней тока.

Исходя из тех соображений, что вся выделяемая в спирали электрическая мощность рассеивается при данной измеренной экспериментально температуре, зависимость на рис. 2 пересчитывается в зависимость рассеиваемой мощности от температуры.

4). Далее, исходя из линейности соотношения тепловых потоков через спираль к её краям и используя кривую, описывающую распределение температур по длине при кондуктивном теплоотводе, нетрудно соотнести реальную выделяемую в данном элементе спирали мощность с мощностью, которая бы рассеивалась при температуре спирали в этой точке зависимости.

Из этого отношения получаем некий приближённый коэффициент корректировки для кривой температурной зависимости на рис. 1. Он определяется из разницы температуры в каждой данной точке спирали на этой кривой и температуры, которая была бы в этой точке при

простом переносе тепла от одного конца спирали к другому (линейная зависимость температуры от координаты), умноженной на отношение рассеиваемой мощности к реально выделяемой.

Это корректировочное значение вычитается из значения температуры в данной точке спирали, полученного в результате решения уравнения теплопроводности.

Полученная кривая распределения температуры по длине спирали (рис. 2) и позволяет оценить распределение температуры по длине спирали и возможные температурные перегрузки не охлаждаемых движущимся воздухом элементов спирали при проектировании электронагревательного прибора.

К преимуществам данного метода следует отнести то, что он позволяет избежать усложнения дифференциального уравнения теплопроводности до уравнения второго порядка с непостоянными коэффициентами (функциями температуры), а значит, применения численных методов и математических программных пакетов для его решения.

Для проверки полученных расчетным путем данных был проведен эксперимент, в котором были максимально учтены принятые при расчете предположения. На рис. 3 точками помечены измеренные в нескольких точках по длине этого участка значения температуры проволоки спирали, достаточно хорошо совпадающие с расчетными результатами.

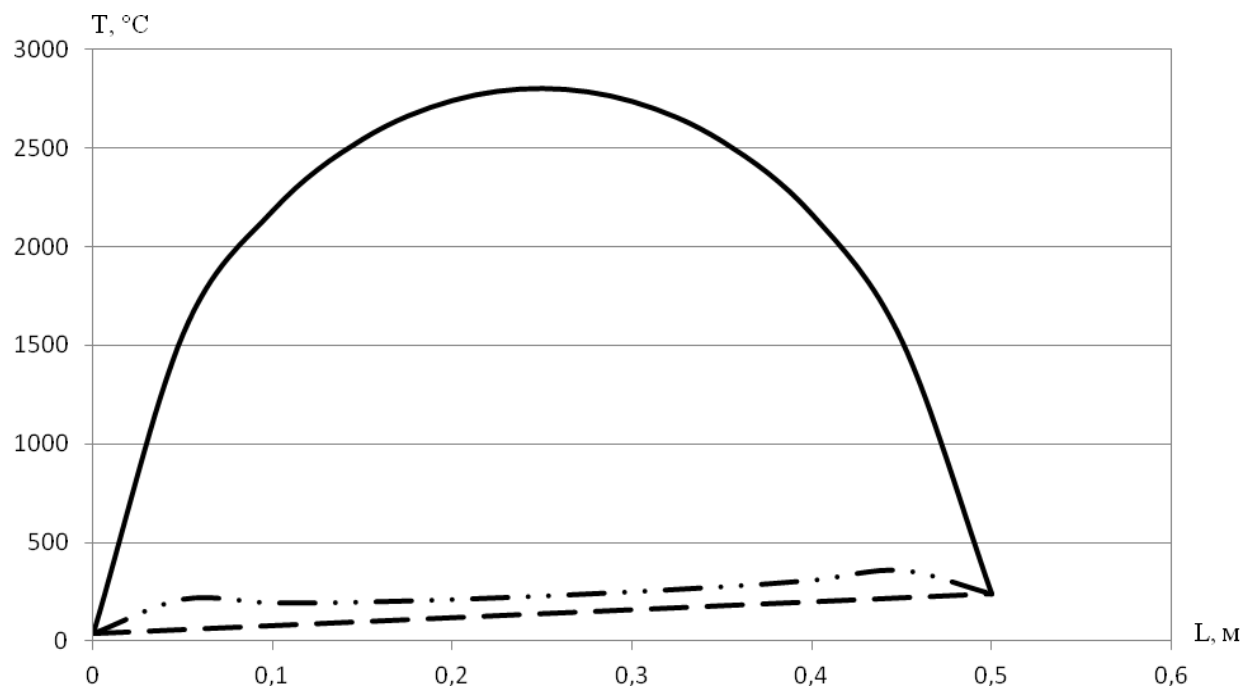


Рис.2. Распределение температуры по длине находящегося в аэродинамической тени участка спирали: — в отсутствие механизма теплосъема неподвижным воздухом вокруг спирали; - - - в отсутствие выделения тепла на спирали (простой перенос тепла от одного конца спирали к другому); — · · — полученная скорректированная зависимость температуры помещенного в тень участка от координаты.

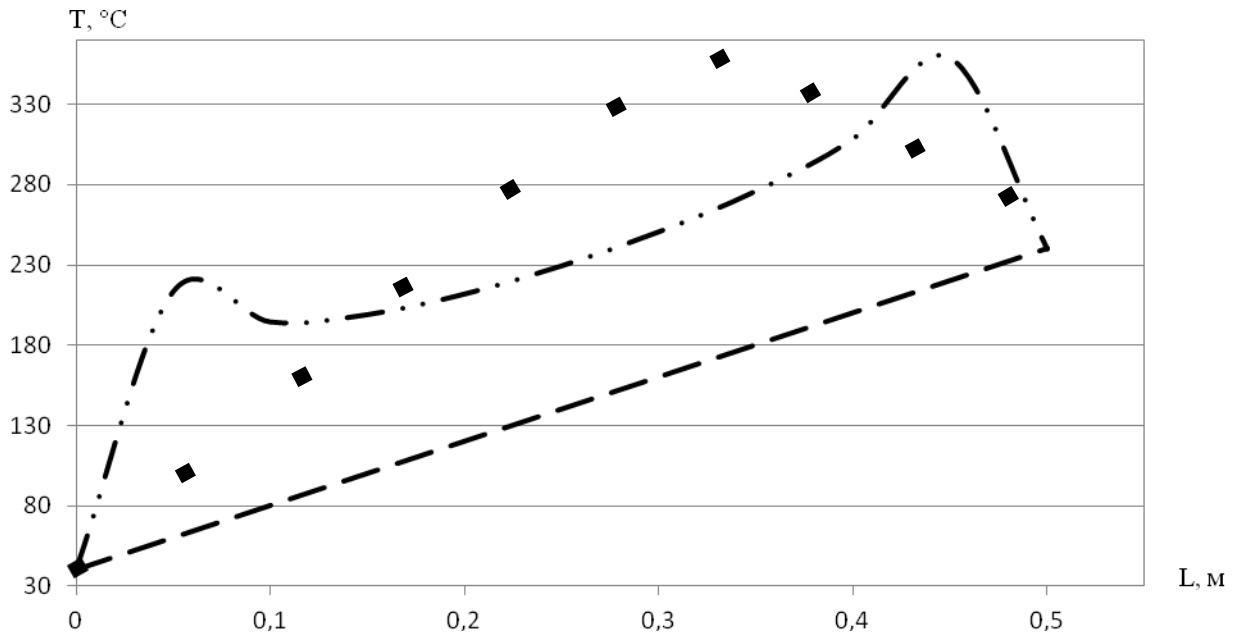


Рис. 3. Распределение температуры по длине находящегося в аэродинамической тени участка спирали: ———— - полученное расчетным путем; ◆◆◆◆ - полученное экспериментальным путем.

Отсюда можно сделать вывод, что предложенная схема расчета позволяет получать удовлетворительные инженерные оценки в поставленных условиях теплосъема от участка спирали, расположенного в аэродинамической тени. Полученные в результате расчёта данные согласуются с результатами эксперимента с приемлемой точностью (для практических целей значение температуры в наиболее теплонагруженной точке важнее, чем её координата).

Однако, данный подход, требующий обязательного использования экспериментальных данных при каждом задании новой системы параметров, не позволяющий точно определить локализацию тепловых нагрузок, требует серьезного уточнения.

В этой связи, с целью получения более простых и надежных инженерных методов расчета, была предпринята попытка экспериментального нахождения соответствующих зависимостей температуры от координаты и от всех основных

изменяющихся в этой задаче параметров (размеров находящегося в аэродинамической тени участка, его граничных температур, внешних и внутренних тепловых нагрузок) с последующей их аппроксимацией.

3. Экспериментальное оборудование и методика эксперимента.

Экспериментальные исследования проводились на измерительной установке (рис. 4), почти идентичной той, на которой проводились исследования в первой части настоящей работы. На ней можно было варьировать сопротивление нагревательных элементов, подаваемое на них напряжение (меняя, таким образом, протекающий по ним ток), а также расход воздуха через нагревательный блок.

Единственное отличие заключалось в наличии в ней второй регулируемой шиберной заслонки, с помощью которой можно было закрывать требуемой длины участок спирали от движущегося воздушного потока.

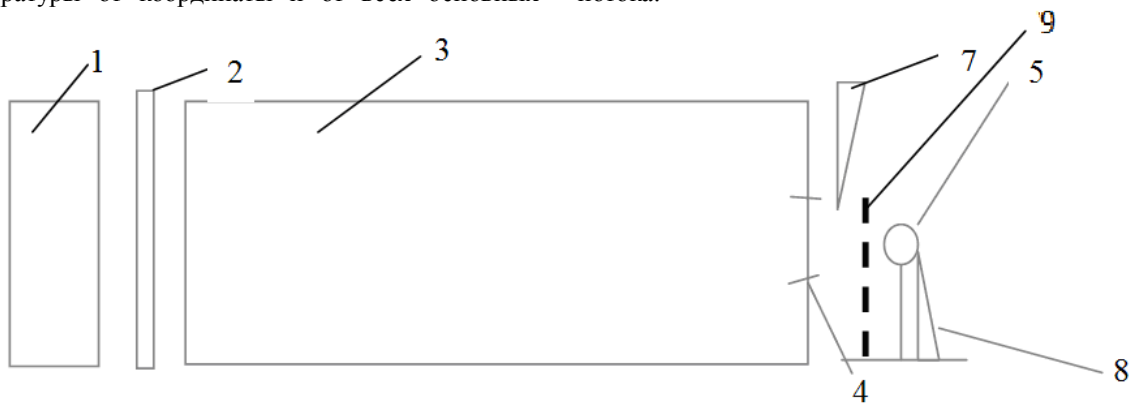


Рис. 4. Схема измерительной установки:

1 - осевой вентилятор с регулируемым расходом воздуха; 2 - шиберная заслонка с изменяемой степенью открытия; 3 - труба с сетками, выравнивающими распределение воздушного потока; 4 - отверстие в торце трубы (на 10-15% превосходящее по своим линейным размерам исследуемые спирали); 5 - исследуемая спираль, помещённая на двух стойках в просвете выходного отверстия; 6 - мультиметр, которым измерялось падение напряжения на исследуемой спирали; 7 - датчик скорости воздушного потока (точечный, практически не вносящий неоднородности в поток воздуха); 8 - термопара, подключенная к цифровому мультиметру; 9 - шиберная заслонка для создания требуемых размеров аэродинамической тени.

В состав установки входила рамка со спиралью из используемого в современном электронагревательном оборудовании фехралевого сплава GSSY. Поток воздуха, снимающий тепло со спиралей, обеспечивался встроенным в канал для формирования воздушного потока вентилятором. Величинами расхода и скорости воздушного потока от вентилятора можно было управлять за счет изменения (с помощью низковольтного источника питания постоянного тока) величины подаваемого на него и варьировемого в достаточно широких пределах напряжения.

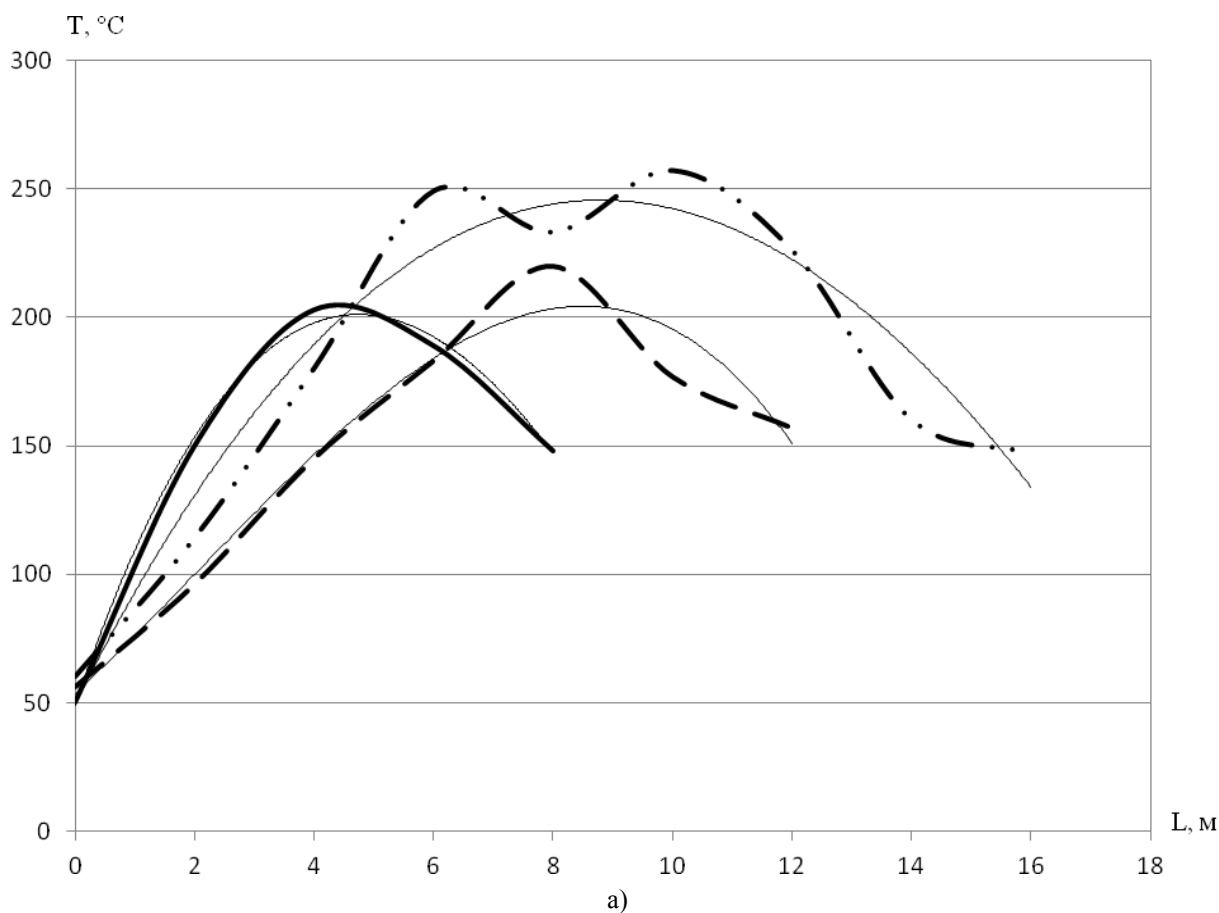
Измерения проводились на фехральной спирали с диаметром проволоки 1,0 мм путём пропускания через спираль заданного значения тока от источника питания постоянного тока. Измерения температуры спиралей проводились с помощью градуированной термопары, приведенной в непосредственный контакт с исследуемой спиралью. Для исключения наводок от протекающего по спирали тока и связанным с этим снижением точности измерения температуры, измерения в каждом эксперименте проводились непосредственно после отключения подаваемого на спираль напряжения в течение

короткого промежутка времени, пока она не успевала остыть. При этом для повышения точности измерений вентилятор, снимающий тепло со спирали, отключался одновременно с отключением поданного на нее напряжения нагрева.

4. Экспериментальные данные и их аппроксимация.

В рамках проводимого исследования сначала строились экспериментальные зависимости при неизменной длине находящегося в аэродинамической тени участка, граничной температуры в месте крепления спирали к стационарному теплоотводу (T_1), и меняющихся одновременно внешних и внутренних тепловых нагрузках (токе, протекающем по спирали – соответственно, 4,16А и 7А).

Кривые на рис. 5 а, б получены при различных токах, протекающих через исследуемую спираль: соответственно, 4,16А (рис. 5 а) и 7А (рис. 5 б). Здесь одному витку соответствовало 34,4 мм проволоки спирали. Скорость снимающего тепло воздушного потока составляла 3,5 м/с при измерениях на токе 4,16А и 4,2 м/с при токе, текущем через спираль, равном 7А.



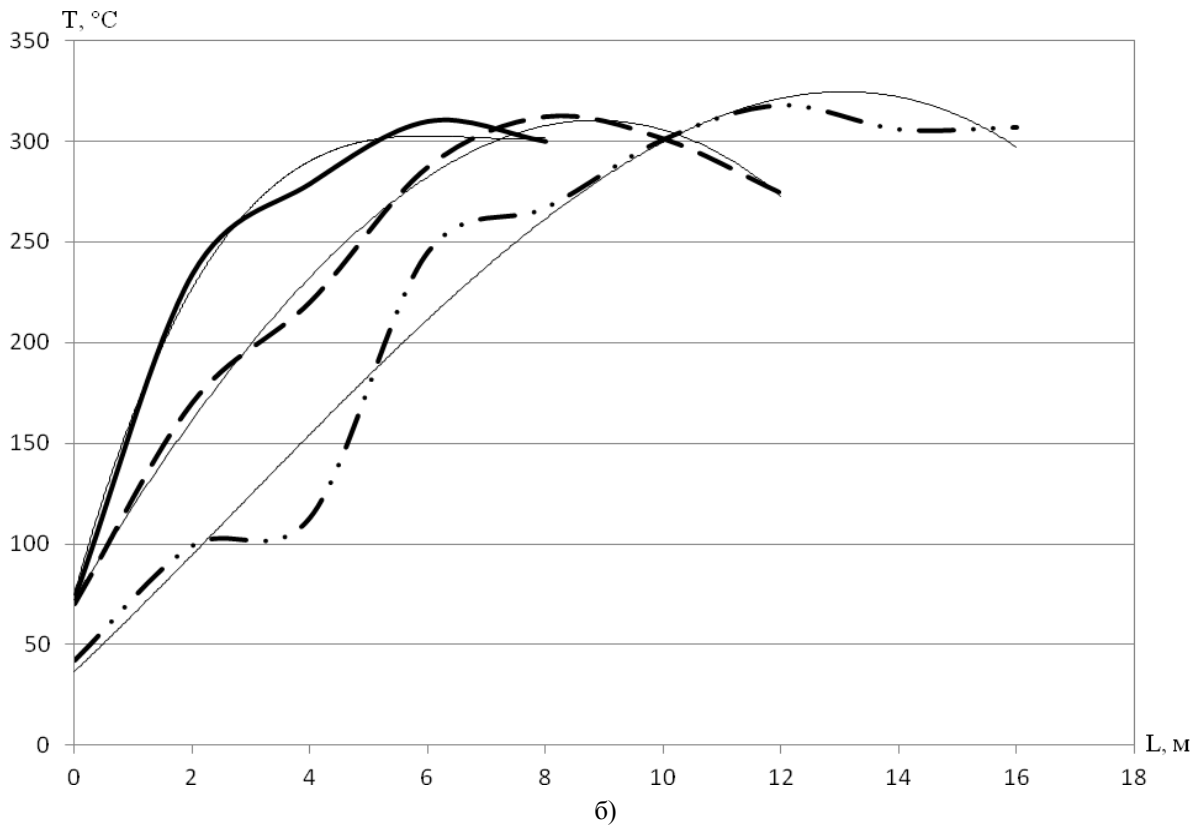


Рис.5. Экспериментально определенные температурные зависимости (распределение температуры по длине находящегося в аэродинамической тени участка спирали) для разных значений протекающего по спирали тока и длины участка, не обдуваемого воздушным потоком: а $I=4,16A$, б $I=7A$, (—) - $N = 8$; (---) - $N = 12$; (- · - ·) - $N = 16$). Диаметр проволоки спирали 1,0 мм. Скорости воздушного потока 3,5 и 4,2 м/с соответственно.

Далее была предпринята попытка аппроксимации полученных и представленных на рис. 5 а, б, в и 6 а, б, в экспериментальных результатов. Полученные путем аппроксимации с помощью полиномов 2÷3 степени соотношения представлены выражениями (4÷21) на табл. 1:

Таблица 1. Результаты аппроксимации данных эксперимента

Ток, А	Скорость воздуха, м/с	Длина затененного участка (количество витков)	Аппроксимация
4,16	3,5	16	$y = 0,0238x^3 - 2,9506x^2 + 46,405x + 49,556$ (4)
4,16	3,5	12	$y = -0,191x^3 + 1,1696x^2 + 21,579x + 53,667$ (5)
4,16	3,5	8	$y = 0,2083x^3 - 8,7321x^2 + 68,774x + 49,143$ (6)
7	4,2	16	$y = -0,0955x^3 + 0,8148x^2 + 27,707x + 36,525$ (7)
7	4,2	12	$y = -0,066x^3 - 1,8601x^2 + 48,544x + 72,143$ (8)
7	4,2	8	$y = 0,7813x^3 - 15,732x^2 + 104,23x + 74,843$ (9)

По итогам проведенного сравнения видно, что наибольшие различия имеются между кривыми, относящимися к участкам различной длины, причем на первой половине участка (от точки гарантированного теплоотвода в месте крепления спирали до точки максимального ее перегрева) различия относительно невелики. Гораздо большие различия наблюдаются в другой части температурной зависимости (от точки максимального перегрева спирали до границы аэродинамической тени).

Это, очевидно обусловлено различием распределения температур в различных режимах работы системы в точке границы аэродинамической

тени, очень различающихся в зависимости от протекающего по спирали тока и скорости охлаждающего ее воздушного потока.

Для различных же условий (токов, расходов воздуха) при каждой неизменной длине неизменной длине находящегося в аэродинамической тени участка использование различных, полученных для этой длины полиномиальных выражений весьма невелико. Расчет для самых различных условий (токов, расходов воздуха) для длины затененного участка 16 витков по выражениям (4) и (7) дал максимальное различие в 21°C, для длины этого участка 12 витков по выражениям (5) и (8) - 17°C, для длины затененного участка 8 витков по

выражениям (6) и (9) - 12°C . Такой погрешностью для практических целей вполне можно пренебречь.

Поэтому было решено для каждого варианта длины затененного участка пользоваться своим полиномом полученным для максимального в эксперименте тока – соответственно, выражениями (7), (8) и (9).

Проведенный по ним расчет (см. рис. 9) распределений температур по длине находящихся в тени участков спирали в любом из исследуемых

режимов показал максимальное отличие от соответствующих экспериментальных данных не более 15°C , причем именно в точке максимального локального разогрева затененного участка спирали.

Как правило, на практике оказывается важным знать не точное распределение температуры по длине проволоки перекрытого от воздуха участка спирали, а значение температуры в одной точке – точке максимального перегрева спирали.

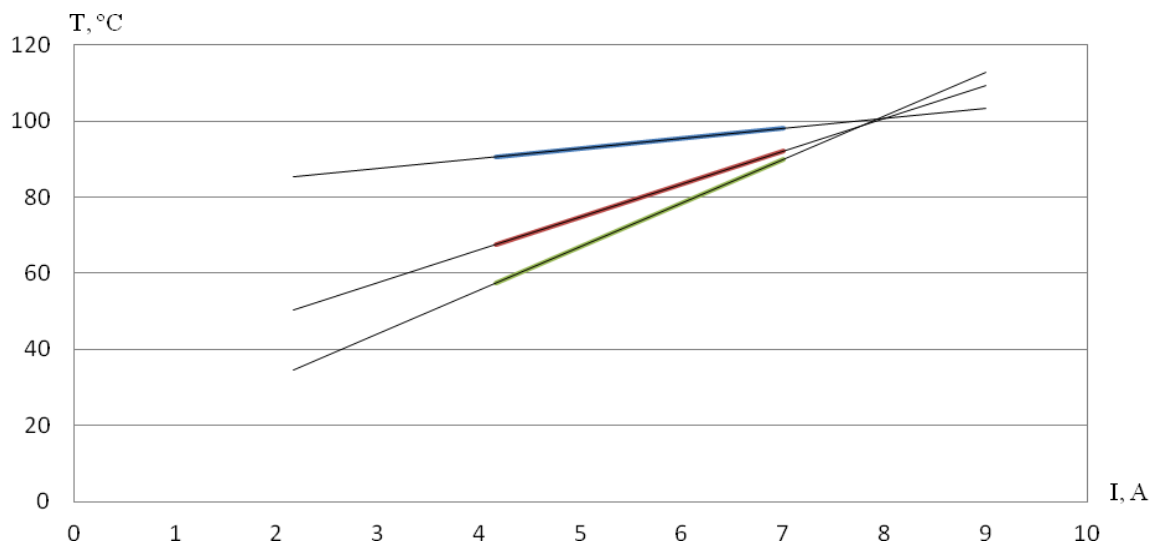


Рис. 9. Зависимость превышения температуры затененного участка спирали от тока, рассчитанная по выбранным полиномиальным выражениям (верхняя- для длины этого участка 16 витков, средняя – для длины 12 витков, нижняя – для длины 8 витков).

Именно эта точка будет самым теплонагруженным элементом конструкции, и именно в этом месте спираль, в первую очередь, потеряет свои свойства (вплоть до перегорания). На практике не слишком важно знать, на каком расстоянии от теплового контакта это случится. Для того, чтобы судить о надёжности конструкции нагревательного элемента, достаточно знать максимально возможные значения температур на всей его протяженности.

Определив же точки экстремумов для упомянутых выше полиномиальных выражений, можно определить и наиболее опасные в плане локальных перегревов места на этих участках.

6. Общие выводы.

В рамках настоящей работы проведены экспериментальные исследования температурных режимов спиральных нагревательных элементов, частично находящихся в потоке снимающего с ним тепло воздуха, а частично в аэродинамической тени. В рамках проводимых экспериментов варьировались величины протекающего по спиральным нагревательным элементам тока, скорости воздушного потока, снимающего тепло с находящегося вне аэродинамической тени участка спирали, длины находящихся в аэродинамической тени участков спирали.

На основе проведенных экспериментальных исследований получены и аппроксимированы полиномами третьей степени распределения

температуры по находящимся в аэродинамической тени участкам спирали, выбраны соотношения, наиболее удовлетворяющие основной массе полученных экспериментальных данных.

В результате сравнения полученных путем аппроксимации различных экспериментальных зависимостей установлено, что качественно они достаточно близки, а наибольшее влияние на изменение количественных данных от одной экспериментальной кривой к любой другой оказывает значение длины находящегося в тени участка, а также значение температуры в граничной точке (на границе аэродинамической тени). Последняя же величина, в свою очередь, зависит от протекающего по спирали тока и от скорости воздушного потока, снимающего тепло с участков, находящихся вне аэродинамической тени.

Сравнение результатов расчета для различных параметров рассматриваемых систем позволило всем выбрать для каждой длины затененного участка полиномиальные выражения, всем исследуемым для этой длины режимам, всем полученным для них экспериментальным данным.

С помощью них удастся рассчитать распределение температур по длине этого участка спирали в любом из исследуемых режимов с погрешностью в любой точке его длины не более 15°C (относительно соответствующих экспериментальных данных). Таким образом, представляется возможным на основе полученных выражений проводить упрощенный инженерный

расчет температуры локальных перегревов участков, которые в силу конструктивных особенностей прибора оказались в аэродинамической тени, определять их зависимость от геометрических параметров спиралей, силы тока, температурных режимов остальных элементов нагревательного прибора. А при необходимости и определять и наиболее опасные в плане локальных перегревов

места на этих участках.

Полученные результаты позволяют достаточно просто в процессе проектирования прибора провести расчетным путем анализ его конструкции на предмет определения ее надежности в части температурных режимов спиральных нагревательных элементов, находящихся в сильно неоднородном воздушном потоке.

Библиографический список.

1. Исследование температурных режимов спиральных нагревательных элементов при различных условиях теплосъема. Ч.1. Режимы, реализуемые при постоянном и переменном синусоидальном напряжениях нагрева и фиксированных условиях теплосъема/Д. В. Буланов, И. А. Корнев, М. А. Кузьмичева и др.
2. Козлов А.В., Явчуновский В.Я. Сравнительный анализ характеристик открытых спиралей и ТЭНов в составе электронагревательных приборов. Ч. 1. Расчет тепловых полей в стационарных и нестационарных тепловых режимах. Вопросы прикладной физики: Межвуз. науч. сб. – Саратов: Изд-во Сар. ун-та, 2008г.
3. Козлов А.В., Явчуновский В.Я. Сравнительный анализ характеристик открытых спиралей и ТЭНов в составе электронагревательных приборов. Ч.2. Экспериментальное исследование стационарных и нестационарных режимов. Вопросы прикладной физики: Межвуз. науч. сб. – Саратов: Изд-во Сар. ун-та, 2008г.
4. Явчуновский В.Я., Явчуновский В.В., Козлов А.В. Воздухоподогреватель салона электротранспорта. Патент на изобретение 2008102712 от 29.01.08г.
5. Явчуновский В.Я., Явчуновский В.В., Козлов А.В. Воздухоподогреватель кабины водителя электротранспорта. Патент на изобретение 2008102711 от 29.01.08г.

STUDY OF TEMPERATURE REGIMES OF THE HEATING COIL ELEMENTS IN DIFFERENT CONDITIONS OF HEAT SINK PART 2. CASES WITH DC AND AC VOLTAGE HEATING AND VARIABLE CONDITIONS OF HEAT SINK ALONG THE LENGTH OF HEATING ELEMENT

I.A. Kornev, M.A. Kobets, V.Y. Yavchunovsky

A theoretical and experimental study of the temperature regimes spiral heating elements situated outside air flow (in the “wind shadow”). Based on the approximation of the experimental data, a simple engineering relations is obtained, allowing a wide range of parameters of the heating and heat sink (the value of current, air flow rate, the diameter of the wire and a number of other factors) to analyze local overheating of such parts of heating elements.

УДК 621.1

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗА, ПРОХОДЯЩЕГО ЧЕРЕЗ ГАЗОВЫЙ СЧЕТЧИК, В ЕЕ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУР ПОВЕРХНОСТИ СЧЕТЧИКА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, А ТАКЖЕ РАСХОДА ГАЗА

В.В. Новоселов, С.В. Овчинников

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского
Новоселов Владимир Владимирович, к.ф.-м.н., доцент кафедры прикладной физики,
Овчинников Сергей Владимирович, к.ф.-м.н., доцент кафедры общей физики.
email omf@sgu.ru

На основе метода тепловой схемы выполнен расчет температуры газа, проходящего через газовый счетчик, в ее зависимости от температур поверхности счетчика и окружающей среды, а также расхода газа. Получено хорошее совпадение данных теоретического расчета с экспериментом.

Расчет температуры газа, проходящего через счетчик, выполнен с помощью метода тепловых схем [1]. Он основан на электротепловой аналогии и оперирует такими понятиями как изотермическая область, идеальная тепловая связь, ветви и узлы тепловой схемы (ТС), источники тепла с заданной мощностью P или температурой, а также тепловыми сопротивлениями или проводимостями. Для расчета

ТС используются методы и приемы, известные из электротехники, в частности, «тепловой закон Ома»:

$$t_1 - t_2 = PR_{12} \quad (1)$$

где t_1 и t_2 - температуры изотермических областей 1 и 2 или точек, соответственно; P (Вт) – мощность теплового потока; R (град/Вт) – тепловое сопротивление между областями 1 и 2. Из (1) видна аналогия между температурой и потенциалом,

тепловым потоком и силой электрического тока, а также между тепловым и электрическим сопротивлениями. Из «теплого закона Ома» следует, что для определения теплового сопротивления нужно исследовать теплопередачу между изотермическими областями. В общем случае она имеет сложный характер, т.е. включает в себя одновременно теплопроводность, конвекцию и тепловое излучение. Но иногда отдельными составляющими можно пренебречь. Так, в нашей задаче, при характерных для нее температурах, на отдельных участках счетчика нужно учитывать только конвекцию или теплопроводность.

Анализируя разогрев холодного газа средой, окружающей счетчик, можно представить, что последняя играет для газа роль источника с заданной температурой (t_0). Тепловой поток (P) от среды поступает к газу минуя три последовательно соединенных тепловых сопротивления, показанные на рис. 1.

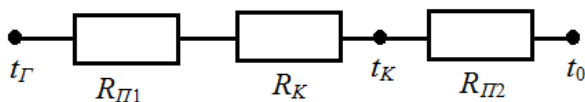


Рис. 1. Тепловая схема газового счетчика

На данной тепловой схеме обозначено: t_G – температура газа; t_K – температура поверхности корпуса счетчика; t_0 – температура окружающей среды; $R_{П1}=(\alpha_{П1}S_1)^{-1}$ – тепловое сопротивление конвективной теплоотдаче на внутренней поверхности выходной трубы счетчика, $\alpha_{П1}$ – коэффициент конвективной теплоотдачи на этой поверхности, S_1 – величина ее площади; $R_{П2}=(\alpha_{П2}S_2)^{-1}$ – тепловое сопротивление конвективной теплоотдаче на внешней поверхности выходной трубы счетчика с площадью S_2 и коэффициентом конвективной теплоотдачи $\alpha_{П2}$, $R_K = \frac{1}{2\lambda\pi l} \ln \frac{d_2}{d_1}$ – кондуктивное тепловое сопротивление металла выходной трубы, λ – коэффициент теплопроводности материала трубы, d_1 и d_2 – внутренний и наружный диаметры трубы, l – ее длина.

Использование в ТС на рис.1 температуры, измеряемой на корпусе прибора (t_K), и характеристик выходной трубы определено совместно двумя обстоятельствами. Во-первых, это технологическая возможность измерения температур. Во-вторых, конвективный теплообмен на поверхностях тел правильной формы (труб, в частности) хорошо изучен. Для оправдания объединения разноместных теплофизических характеристик в единой ТС сделано предположение о том, что счетчик с газом можно условно разбить на две части (см. рис.2) – область стока (ОС) тепла и остальную область (ОО).

В ОС температура газа и кожуха сильно зависят от «уличных» – входных условий. Там велики температурные перепады, и газ быстро нагревается. В ОО, включающей и механизм счетчика, температуры газа, кожуха и исполнительного механизма уже близки к своим средним значениям –

температурные перепады в этих элементах счетчика уже малы, а по металлу кожуха вплоть до места крепления выходной трубы практически отсутствуют. По той же причине средняя температура газа в ОО (t_G) практически равна температуре газа на выходе из счетчика, а температура корпуса (t_K) – температуре выходной трубы в ее начале.

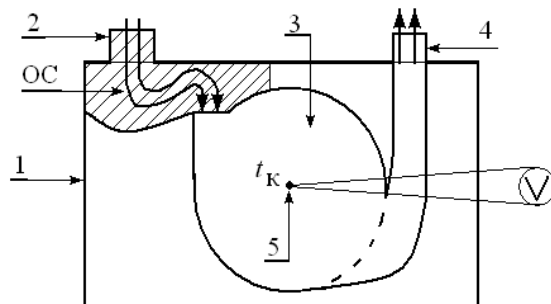


Рис. 2. Схематический разрез газового счетчика. 1-кожух, 2-входная труба, 3-исполнительный механизм, 4-выходная труба, 5-место измерения температуры t_K на внешней поверхности корпуса. Область стока тепла заштрихована.

Выделение в счетчике ОС и ОО можно объяснить принципом местного влияния, согласно которому «любое местное возмущение температурного поля является локальным и не распространяется на его отдаленные участки» [2]. «Оно локализовано в области, которая не дальше от центра теплового стока, чем его максимальный линейный размер» [3]. Для нас это означает, что ОС ограничена радиусом, равным диаметру входной трубы (см. рис. 2).

Согласно [3], граница ОС не зависит от температурных факторов. Влияние на нее расхода газа двояко. С ростом расхода газа увеличивается эффективная теплопроводность газа в направлении его движения, но одновременно интенсифицируется теплообмен с окружающей средой. Два этих фактора имеют противоположенное влияние на положение границы ОС.

Границу ОС можно визуализовать, подавая в счетчик очень холодный газ ($t_G < 20^\circ\text{C}$). На поверхности корпуса она будет выглядеть как граница его «заиндевания».

С помощью ТС счетчика (рис. 1) получим формулу для определения температуры t_G в ОО в ее зависимости от расхода газа G и температур t_K и t_0 . Для этого учтем, что мощность теплового потока через стенку выходной трубы можно по аналогии с (1) определить как

$$P = \frac{t_K - t_0}{R_{П2}} \quad (2)$$

Этот же тепловой поток через все последовательно соединенные тепловые сопротивления стенки трубы, поступает в газ с температурой t_G . Поэтому $t_G - t_0 = P(R_{П1} + R_K + R_{П2})$

Решая уравнения (2) и (3) совместно для средней температуры газа, разогретого в счетчике окружающей средой, после небольших преобразований получим:

$$t_{\Gamma} = t_0 + (t_K - t_0) \frac{R_{\Pi 1} + R_K + R_{\Pi 2}}{R_{\Pi 2}} =$$

$$= t_0 + (t_K - t_0) \frac{\alpha_{\Pi 2}^{-1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{d_2}{d_1} \alpha_{\Pi 1}^{-1}}{\alpha_{\Pi 2}^{-1}}. \quad (4)$$

В счетчике, рассматриваемом в настоящей работе, выходная труба выполнена из стали и имеет следующие параметры:

$\lambda = 52 \text{ Вт/(м}\cdot\text{град)}$, $d_1 = 27 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $d_2 = 32 \cdot 10^{-3} \text{ м}$
Поэтому для нее

$$t_{\Gamma} = t_0 + (t_K - t_0) \frac{\alpha_{\Pi 2}^{-1} + 1,18\alpha_{\Pi 1}^{-1} + 0,00005}{\alpha_{\Pi 2}^{-1}} \text{ (}^{\circ}\text{C)}.$$

По формуле (5) и были проведены расчеты температуры газа с учетом ее зависимости от объемного расхода газа G .

Указанная зависимость проявляется в том, что от скорости течения газа в трубе (u) зависит величина коэффициента поверхностной теплоотдачи $\alpha_{\Pi 1}$. При этом в расчетах использовано соотношение $u = \frac{G}{S}$,

где S – площадь поперечного сечения трубы.
Величины коэффициентов поверхностной теплоотдачи при расчетах оценивались по методике, изложенной в [1]. В этой работе она выражается критериальными соотношениями. Такая особенность расчетных формул позволяет дать единое обобщенное описание различных конвективных явлений [4] в разных жидкостях и газах с разными линейными размерами и при разных температурах. Безразмерными критериями, определяющими конвективную теплопередачу, являются:

– критерий Нуссельта $Nu \equiv \frac{\alpha L}{\lambda_{CP}}$, где α – коэффициент конвективной теплоотдачи с поверхности, имеющей определяющий размер L , λ_{CP} – коэффициент теплопроводности теплоносителя, омывающего эту поверхность;

– критерий (число) Рейнольдса $Re = \frac{uL}{\nu}$, где u – скорость движения теплоносителя относительно поверхности твердого тела, имеющей характерный размер L , ν – кинематическая вязкость теплоносителя;

– число Прандтля $Pr \equiv \frac{\nu}{a_{CP}}$, где a_{CP} – коэффициент температуропроводности теплоносителя;

– число Грасгофа $Gr \equiv \frac{g\beta\Delta t L^3}{\nu^2}$, где g – ускорение свободного падения, $\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p$ – коэффициент объемного расширения теплоносителя, Δt – температурный перепад между поверхностью твердого тела и теплоносителем, а параметры L и ν

имеют прежний смысл.

имеют прежний смысл.

Коэффициент конвективного теплообмена $\alpha_{\Pi 1}$ рассчитывается по разным формулам, в зависимости от характера движения газа в трубе. В диапазоне изменения G от 6 до 0,4 м³/час, скорость u течения газа в трубе изменялась от 2,9 до 0,19 м/с. Соответственно Re оказывается в диапазоне $340 < Re < 5100$, что соответствует частью ламинарному ($Re < 2200$), а частью переходному режиму течения метана. В общем случае $Re = G \cdot 3,072 \cdot 10^6$ если измерить G в м/с, $d_1 = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, а $\nu = 15,38 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Таким образом, при оценке $\alpha_{\Pi 1}$ нужно по заданному G определить Re и уже потом выбрать формулу для ламинарного или переходного режима течения метана в трубе. (5)

Для ламинарного режима течения газа в трубе

$$Nu = 0,15 \cdot \sqrt[3]{Re_m} \cdot Gr_m^{0,1} \cdot Pr_m^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_m}{Pr_s} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_L \cdot \varepsilon_R.$$

В формуле (6) индексы m и s показывают, что физические параметры газа берутся либо при средней температуре газа в трубе (m), либо при средней температуре стенки трубы (s), ε_L – поправочный коэффициент на ограниченность трубы, табулированный в [1], $\varepsilon_R = 1 + 1,8d_1/R$ – поправочный коэффициент на изогнутость трубы с внутренним диаметром d_1 и радиусом закругления R .

В случае переходного режима течения газа монографии [1] и [3] рекомендуют следующую формулу для вычисления коэффициента конвективной теплоотдачи:

$$Nu = \frac{\alpha_{\Pi 1}}{\lambda_m} d_1 = K(Re_m) \cdot Pr_m^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_m}{Pr_s} \right)^{0,25},$$

где $K(Re_m)$ – функция числа Рейнольдса, табулированная в [1, 3], а индексы m и s имеют прежний смысл.

Приведем пример конкретного вычисления $\alpha_{\Pi 1}$. Пусть $G = 0,4 \text{ м}^3/\text{час} = 0,11 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$. Тогда $Re = G \cdot 3,072 \cdot 10^6 = 340$ – ламинарный режим течения газа. Применяя (6), получим: $Nu = 2,69$. Следовательно

$$\alpha_{\Pi 1} = \frac{\lambda_m}{d_1} Nu = \frac{2,69 \cdot 0,033}{27 \cdot 10^{-3}} = 3,28 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}.$$

Естественная конвекция на внешней стороне выходной трубы определяется своей зависимостью от формы теплопередающей поверхности, ее ориентации и величины пространства, где происходит конвекция, а также температурного перепада, который ее вызывает. Выбор той или иной расчетной формулы для коэффициента конвективной теплоотдачи $\alpha_{\Pi 2}$ здесь определяется

$$\text{неравенством [1, 3]} \quad (t_K - t_0) \leq \left(\frac{840}{d_2} \right)^3,$$

где d_2 измеряется в мм.

У нас $d_2 = 32 \text{ мм}$, и очевидно, что во всех реальных случаях $t_K - t_0 \ll 18000$.

Поэтому, как следует из [1, 3],

$$\alpha_{П2} = \Phi \cdot \left(\frac{t_K - t_0}{d_2} \right)^{1/4} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right], \quad (8)$$

где коэффициент Φ зависит от физических параметров омывающей трубу среды и для воздуха в диапазоне определяющих температур от 0°C до 150°C может быть рассчитан по аппроксимирующей формуле:

$$\Phi(t_m) = 1,4201 - 0,00221 \cdot t_m + 7,093 \cdot 10^{-6} \cdot t_m^2,$$

где $t_m = 0,5(t_K + t_0)$ – определяющая температура.

Из (8) следует, что для $t_K=23,2^\circ\text{C}$, $t_0=24,6^\circ\text{C}$ и $d_2=32\text{мм}$ $\alpha_{П2}=3,53\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

Подставляя найденные значения коэффициентов конвективной теплоотдачи в (5), получим, что для данных t_K и t_0 $t_r=21,4^\circ\text{C}$.

Из проведенного расчета следует, в частности, что теплопроводность металла трубы на температуре газа практически не сказывается.

Расчеты температуры газа по представленной выше методике были сопоставлены с данными экспериментального исследования по определению этой температуры, проведенного ранее в ПО «Сигнал». Это сопоставление приведено в таблице 1.

Рассматривая значения температуры газа в двух последних колонках таблицы, нужно отметить очень хорошее совпадение теории с экспериментом в пределах точности последнего. Для наглядности, эти значения показаны на графике (рисунок 3), причем температуры даны по шкале Кельвина, что иллюстративнее в том смысле, что коэффициент объемного расширения метана обратно пропорционален его температуре по шкале Кельвина.

Таблица 1. Сопоставление теоретических и экспериментальных результатов определения температуры газа

Расход G, м³/час	№ п/п	Температура °C (в камере)	Температура корпуса t _к , °C	Температура среды t ₀ , °C	Температура газа t _r , °C	
					Эксперимент	Теория
6	1	-25	7,7	23,3	-2,2	-2,2
	2	-15	12,2	23,6	4,7	5,0
	3	-6	14,7	24,7	9,1	8,4
	4	4	18,4	25,5	15,0	13,9
	5	13	20,0	23,9	18,1	17,5
0,4	1	-27	23,2	24,6	23,0	21,5
	2	-17	23,2	24,6	23,0	21,5
	3	-6	23,5	25,3	21,5	21,2
	4	4	23,6	26,0	20,5	20,2
	5	14	25,8	26,9	23,3	24,5

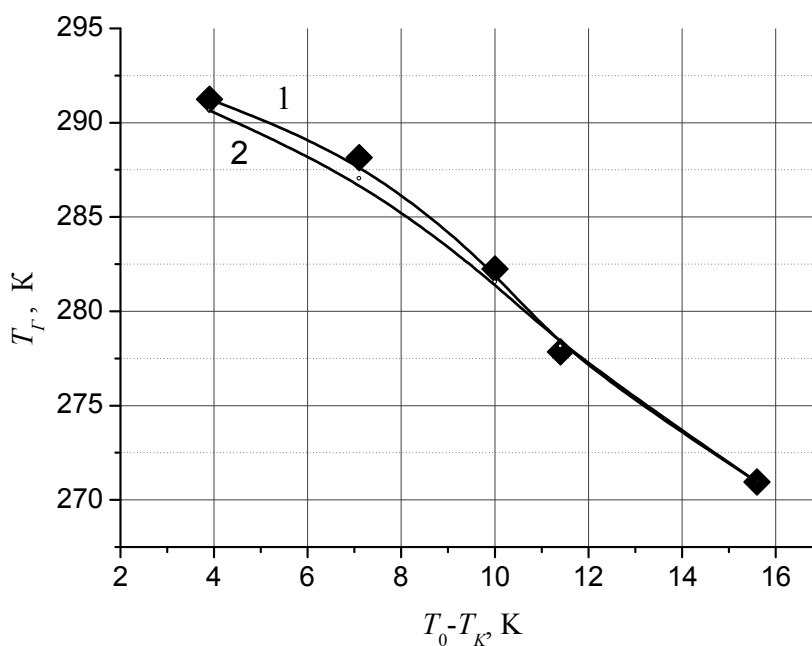


Рис. 3. Экспериментальная (1) и теоретическая (2) зависимости температуры газа T_r от разности температур $T_0 - T_K$ для расхода газа $G = 6 \text{ м}^3/\text{час}$. Квадратиками обозначены экспериментальные значения (таблица 1)

Библиографический список

1. Дульнев Г.Н. Теплообмен в радиоэлектронных устройствах. Госэнергоиздат. М. 1963.
2. Лыков А.В. Теория теплопроводности. Госэнергоиздат. М. 1952.
3. Дульнев Г.Н., Семяшкин Э.М. Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах. Л. «Энергия» 1968.
4. Михеев М.А. Основы теплопередачи. М. Госэнергоиздат. 1949.

**CALCULATION OF THE TEMPERATURE OF GAS,
PASSING THROUGH A GAS METER, DEPENDING OF THE AMBIENT TEMPERATURE AND THE
TEMPERATURE OF THE SURFACE OF THE COUNTER, AS WELL AS OF GAS FLOW**

Vladimir Novoselov, Sergey Ovchinnikov

Saratov State University named after N.G. Chernyshevsky, Email: omf@sgu.ru

The temperature of gas, passing over the gas flow meter, was calculated. Taken into account its dependence on the counter surface temperature, ambient temperature and gas flow rate. Noted good agreement with the experimental data.

**ОБ ОДНОМ КОЭФФИЦИЕНТЕ КОЛЛЕКТИВНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ШУМОВ
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 коэффициента коллективной трансформации основной составляющей спектра частотных флуктуаций, которая не зависит от корреляции квадратурных компонент собственных шумов многодиодного генератора СВЧ. Исследуется зависимость указанного коэффициента от стратегии настройки многодиодного генератора, числа диодов, свойств электродинамической системы, частоты флуктуаций.

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 десять коэффициентов коллективной трансформации (ККТ) флуктуаций. Каждый коэффициент характеризует степень подавления или усиления соответствующих компонент спектра флуктуаций сигналов генерирующих диодных модулей в процессе их трансформации в шумы выходного сигнала многодиодного генератора.

Величина ККТ шумов зависит, прежде всего, от стратегии настройки генератора в процессе увеличения числа диодов. В [1] рассмотрены два способа настройки. Первым (наиболее простым) способом является подстройка за счёт изменения связи суммирующего резонатора с нагрузкой. Второй способ – это настройка генератора путём изменения связи диодных модулей с суммирующим резонатором.

Если генератор в процессе увеличения числа диодов подстраивается вторым способом, то все ККТ шумов оказываются одинаковыми и равными $1/N$, где N – число диодов. Если генератор настраивается первым способом, то коэффициенты коллективной трансформации в общем случае зависят не только от числа диодов, но и от круговой частоты отстройки Ω шума от несущей, прочности предельного цикла p_1 , неизохронности q_1 , амплитудной K_{am1} и частотной K_{vml} модуляционной чувствительности однодиодного генератора, параметра фиксирующей способности контура $q_{\phi} = X'_p / X'_1$, равно отношению фиксирующей способности суммирующего резонатора X'_p к внесённой фиксирующей способности диодного модуля X'_1 в однодиодном генераторе [1] (здесь 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)). В этом случае система ККТ распадается на четыре отличающихся друг от друга группы [1], каждая из которых характеризуется единым значе-

нием ККТ. Достаточно подробный анализ коэффициентов первой и второй групп приведён в работе [2]. Аналогичный анализ ККТ третьей группы представлен в [3].

Данная работа посвящена анализу ККТ четвёртой группы. В эту группу входит только один, но очень важный коэффициент $G_{vhf}^{ind}(\Omega)$. Он характеризует трансформацию той составляющей спектра флуктуаций частоты сигнала, которая обуславливается высокочастотными источниками собственных шумов и не зависит от корреляции квадратурных компонент шума. Величина этого коэффициента равна

$$G_{vhf}^{ind}(\Omega) = \frac{S_{vhfN}^{ind}(\Omega)}{S_{vhf1}^{ind}(\Omega)},$$

где $S_{vhfN}^{ind}(\Omega)$ – независимая от корреляции квадратурных компонент шума составляющая спектра флуктуаций частоты сигнала N -диодного генератора, $S_{vhf1}^{ind}(\Omega)$ – аналогичная величина для однодиодного генератора. Индексы hf означают высокочастотное происхождение спектров

Трансформацию той составляющей спектра флуктуаций частоты сигнала, которая обуславливается высокочастотными источниками собственных шумов и зависит от корреляции квадратурных компонент шума, описывает коэффициент коллективной трансформации

$$G_{vhf}^{cor}(\Omega) = S_{vhfN}^{cor}(\Omega) / S_{vhf1}^{cor}(\Omega). \quad (\text{Здесь}$$

$S_{vhfN}^{cor}(\Omega)$ – зависящая от корреляции квадратурных компонент шума составляющая спектра флуктуаций частоты сигнала N -диодного генератора,

$S_{vhf1}^{cor}(\Omega)$ – аналогичная величина для однодиодного генератора). Этот коэффициент относится к ККТ второй группы и проанализирован в [2]. Таким образом, для полного исследования трансформации частотных флуктуаций в многодиодном генераторе

анализ коэффициента $G_{vhf}^{ind}(\Omega)$ совершенно необ-
ходим.

Для коэффициента $G_{vhf}^{ind}(\Omega)$ в работе [1] полу-
чено следующее выражение

$$G_{vhf}^{ind}(\Omega) = \frac{a^2}{N} \frac{(p_1^2 + q_1^2)a^2 + \Omega^2}{p_1^2 a^2 + \Omega^2} \times \quad (1)$$

$$\times \frac{p_1^2 + \Omega^2}{p_1^2 + q_1^2 + \Omega^2},$$

где

$$\frac{a^2}{N} = \frac{N(q_\phi + 1)^2}{(q_\phi + N)^2}, \quad (2)$$

Величины a^2/N и $a=N(q_\phi+1)/(q_\phi+N)$ определяются числом диодов и параметром фиксирующей способности контура q_ϕ . Таким образом, в общем случае, когда $\Omega \neq 0$, $q_1 \neq 0$, множитель a^2/N отражает влияние на $G_{vhf}^{ind}(\Omega)$ электродинамического фактора многодиодного генератора. Вторая и третья дроби в выражении (1) при заданном a^2/N определяют зависимость G_{vhf}^{ind} от частоты и отражают влияние частотного фактора. Для изохронного генератора ($q_1=0$) они равны 1, зависимость ККТ от частоты отсутствует.

Анализ коэффициента $G_{vhf}^{ind}(\Omega)$ в общем случае довольно сложен, так как последний зависит от большого числа (пяти) параметров. В связи с этим представляется целесообразным записать его в виде двух множителей, имеющих ясный физический

смысл, и проанализировать каждый из этих сомножителей в отдельности

$$G_{vhf}^{ind}(0) = \frac{a^2}{N},$$

$$\frac{G_{vhf}^{ind}(\Omega)}{G_{vhf}^{ind}(0)} = \frac{(p_1^2 + q_1^2)a^2 + \Omega^2}{p_1^2 a^2 + \Omega^2} \times \quad (3)$$

$$\vdots \times \frac{p_1^2 + \Omega^2}{p_1^2 + q_1^2 + \Omega^2}.$$

Обозначив для краткости множитель $G_{vhf}^{ind}(\Omega)/G_{vhf}^{ind}(0) = M(\Omega)$, выражение для $G_{vhf}^{ind}(\Omega)$ можно представить так:

$$G_{vhf}^{ind}(\Omega) = \frac{a^2}{N} M(\Omega). \quad (4)$$

Сомножители a^2/N и $M(\Omega)$ в равенстве (4) отражают влияние на $G_{vhf}^{ind}(\Omega)$ соответственно электродинамического и частотного факторов.

Проанализируем первый множитель в выражении для $G_{vhf}^{ind}(\Omega)$. Предварительно величина a^2/N уже исследовалась ранее. В работе [4] для небольшого диапазона изменения величины $N(1 \leq N \leq 6)$ приведены кривые зависимости a^2/N от числа диодов N при различных значениях параметра q_ϕ . В широкой полосе изменений $N(1 \leq N \leq 17)$ аналогичные кривые представлены на рис. 1.

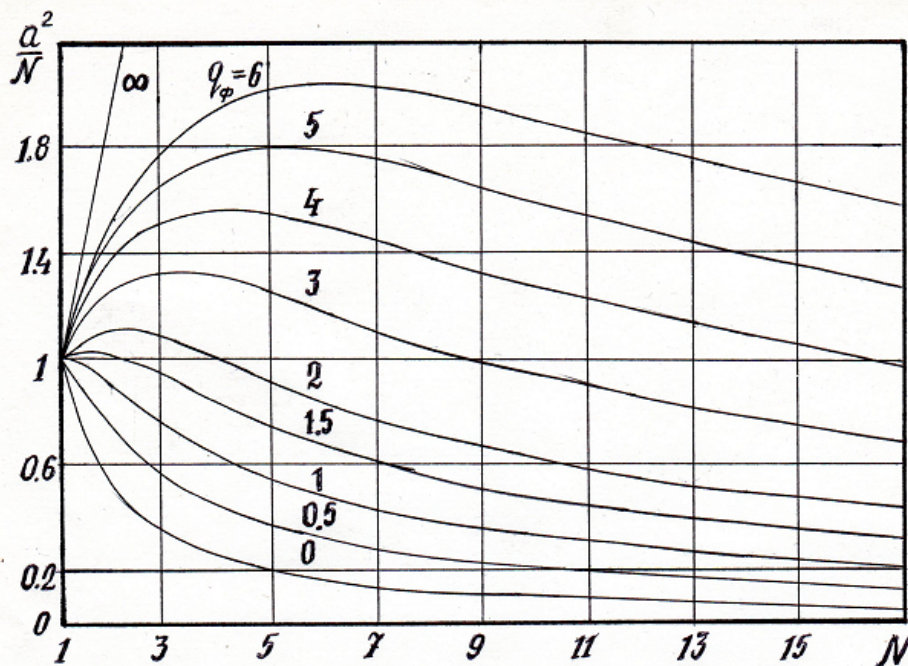


Рис. 1.

Как следует из рисунка и элементарного анализа выражения (2) для a^2/N , при $N=1$ и любом значении q_ϕ величина a^2/N равна 1. При $q_\phi \leq 1$ множитель a^2/N по мере увеличения числа диодов монотонно падает. При $q_\phi > 1$ зависимость a^2/N от числа диодов носит более сложный характер: вначале с увеличением N коэффициент a^2/N возрастает над уровнем, равным 1, при $N=q_\phi$ он достигает максимального значения, равного $(N+1)^2/4N$, а затем начинает монотонно убывать. При $N=q_\phi^2$ величина a^2/N снижается до уровня, равного 1. При $N > q_\phi^2$ величина $a^2/N < 1$.

Приведённое выражение и графики для a^2/N показывают, что выбором величин N и q_ϕ можно добиться реализации значений $a^2/N < 1$. Следовательно величина a^2/N является сомножителем ККТ, ответственным за возможное подавление частотных шумов сигнала многодиодного генератора.

При отстройке от несущей ККТ шумов неизохронного генератора существенно изменяется. Это изменение, как уже говорилось, характеризует величина $M(\Omega)$. Нетрудно показать, что $M(\Omega)$ – это сомножитель ККТ, ответственный за увеличение частотных шумов в процессе их трансформации в многодиодном генераторе. Действительно, выражение (3) для $M(\Omega)$ можно представить таким образом:

$$M(\Omega) = 1 + \frac{(a^2 - 1)q_1^2\Omega^2}{p_1^2 a^2 + \Omega^2} \times \frac{1}{p_1^2 + q_1^2 + \Omega^2} \quad (5)$$

Учитывая, что $a \geq 1$, на основе выражения (5) можно сделать вывод, что $M(\Omega) \geq 1$.

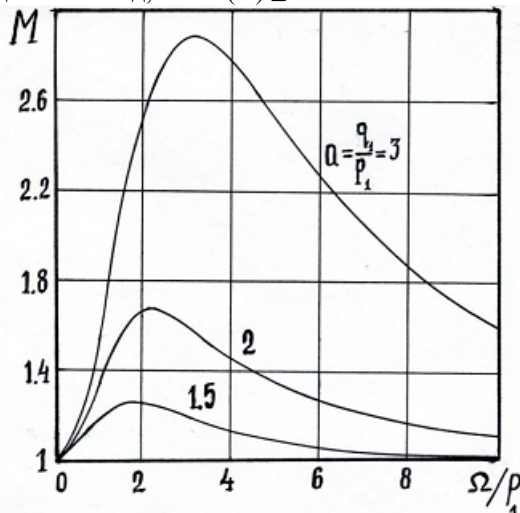


Рис. 2.

Рассмотрим зависимость величины $M(\Omega)$ от частоты для неизохронного генератора подробнее. Из выражения (3) следует, что значения $M(0)$ и $M(\Omega \rightarrow \infty)$ равны 1. Следовательно, между указанными точками кривая зависимости $M=M(\Omega)$ имеет максимум, то есть существует неблагоприятная частота отстройки, на которой уровень частотных шумов (при прочих равных условиях) будет наиболее высоким. Для иллюстрации этого вывода на рис. 2 представлены кривые зависимости величины M от приведённой частоты отстройки Ω/p_1 при условии, что параметры q_1/p_1 и a между собою равны и принимают значения соответственно 1,5; 2; 3.

Значение частоты отстройки Ω_{max} , при котором зависимость $M=M(\Omega)$ имеет максимум, можно найти в общем случае. При $q_1 \neq 0$ из условия равенства нулю производной от выражения (3) по частоте следует

$$\Omega_{max} = \sqrt{p_1 a \sqrt{p_1^2 + q_1^2}}$$

Подстановка полученного значения частоты в соотношение (3) даёт следующее выражение для максимального значения $M_{max}=M(\Omega_{max})$ исследуемого сомножителя

$$M_{max} = \left(\frac{p_1 + a \sqrt{p_1^2 + q_1^2}}{p_1 a + \sqrt{p_1^2 + q_1^2}} \right)^2$$

Если предполагаемое практическое использование многодиодного генератора требует низкого уровня частотных шумов вблизи несущей частоты, то величину Ω_{max} целесообразно сделать максимально большой. Для этого необходимо максимально возможное увеличение параметров a и p_1 .

Сопоставление числовых характеристик влияния на величину исследованного ККТ шумов электродинамического и частотного факторов показывает, что за счёт подбора динамических параметров многодиодного генератора возможна реализация режима подавления частотных шумов.

Полученные данные о факторах подавления и усиления частотных флуктуаций в процессе трансформации шумов генерирующих диодных модулей в шумы выходного сигнала многодиодного генератора могут быть использованы при минимизации уровня шумов и интерпретации экспериментальных результатов.

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. С. 29-33.
3. Шаповалов А.С., Минкин Л.М., Шаповалов С.А. // Вопросы прикладной физики. Саратов, 2012. Вып. 19. С. 44-48.
4. Кудряшов С.А., Шаповалов А.С., Шаповалов С.А. // Вопросы прикладной физики. Саратов, 1997. Вып. 3. С. 67-70.

**ABOUT ONE COEFFICIENT OF THE COLLECTIVE TRANSFORMATION OF NOISES OF THE
MULTIDIODE MICROWAVE OSCILLATOR**

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

¹Saratov State University,

²Portland State University, USA

³Saratov Electric Aggregate Production Firm

It is analysed the peculiarities of coefficient of the collective transformation of the basic constituent of frequency fluctuations spectrum, that does not depend on correlation of quadrature components of own noises of multidiode microwave oscillator. It is investigated the dependence of the indicated coefficient on the strategy of tuning of multidiode generator, number of diodes, properties of the electrodynamic system, frequency of fluctuations.

О ТЕПЛОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА В ЖИДКОСТИ

С.А. Герасимов, В.С. Лысенко

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Герасимов Сергей Анатольевич, к.ф.-м.н., доцент

Лысенко Владимир Сергеевич, к.б.н., доцент

Темновой электрический ток, текущий в жидкости, находящейся в контакте с углеродными электродами, при освещении медленно возрастает, а после окончания экспозиции медленно спадает. Работа посвящена выяснению влияния нагрева жидкости на величину фототока.

Введение

Вопрос о происхождении так называемого темнового тока в жидкости [1] вызывает вполне понятный интерес. Под темновым током в жидкости понимается электрический ток, возникающий и продолжающийся сравнительно долго при контакте той или иной жидкости с несимметричными (неодинаковыми) электродами, как правило, – металлическими. При обычном фотоэлектрическом эффекте темновой ток даже если и есть, то пренебрежимо слаб [2,3]. При этом самым серьезным аргументом критического отношения к явлению можно признать лишь отождествление процесса с химическими реакциями, полностью или частично вызванными нагревом жидкости процессе экспозиции.

Эксперимент

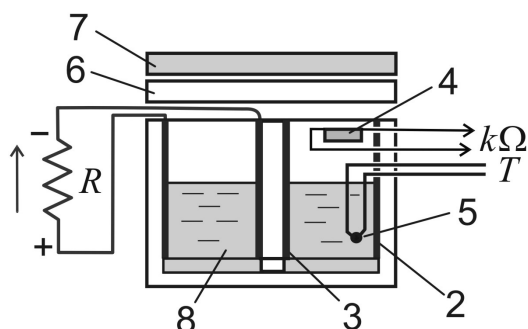


Рис. 1. Схема эксперимента.

Экспериментальная установка, показанная на рис. 1, отличается от уже известной [4] отсутствием экранов, не допускающих попадание света от источника оптического излучения 1 на поверхности электродов: внешнего 2 диаметром 50 мм и высотой 50 мм и внутреннего 3 диаметром 10 мм и высотой 50 мм. В этом нет необходимости, поскольку материалом электродов является не металл [4,5], а углерод. Внешний электрод находится внутри пластиковой непрозрачной кюветы высотой 55 мм, внутренний – на пластиковом стержне высотой 55 мм. Внутри кюветы установлен датчик освещенности 4 и датчик температуры 5. Датчик освещенности установлен таким образом, чтобы его показания однозначно соответствовали средней освещенности E на открытой поверхности жидкости, находящейся в кювете. Сверху кювета закрыта прозрачным окном 6 (органическое стекло толщиной 3 мм). Поглотитель 7 позволяет изменять

освещенность поверхности жидкости без изменения спектрального состава излучения. Электроды 2 и 3 зашунтированы резистором R , сопротивление которого 15 кОм. Источником света служила лампа E27/9W/C:4000K, характеризующаяся чрезвычайно малым выделением тепловой энергии. И самое основное: рабочим веществом такого фотоэлемента служила дистиллированная вода 8. Это позволяет надеяться на пренебрежимо низкую интенсивность химических реакций воды с углеродом.

Электрический ток и освещенность

Время экспозиции 1 час выбрано не случайно. С одной стороны, это вполне достаточно, чтобы зарегистрировать эффект, обусловленный оптическим облучением; с другой – позволяет не перепутать эффект с непредсказуемым дрейфом темнового тока. Есть еще одна причина, почему время экспозиции является таким продолжительным. Под величиной фототока здесь понимается разность между силой электрического тока, текущего в определенный момент времени i , как предполагается, обусловленного оптическим излучением, и силой темнового тока в момент времени непосредственно перед включением источника света, то есть при $t=0$.

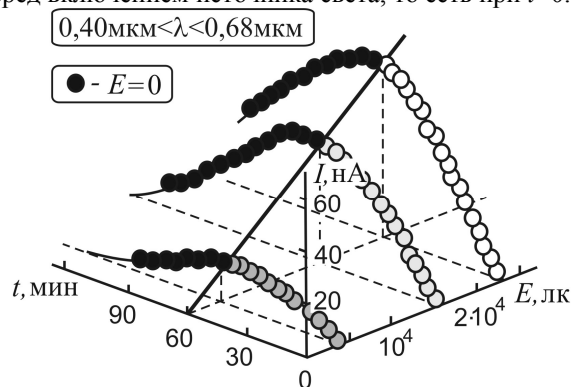


Рис. 2. Фототок I как функция времени t и освещенности E во время экспозиции (o) и после нее (●).

Основное отличие настоящих экспериментальных результатов (рис. 2) от уже известных [1,4] заключается в том, что заметная величина тока появляется не сразу, а спустя как минимум несколько минут. Если бы возрастание фототока прекращалось сразу же после прекращения экспозиции, вопросов бы не было. На самом деле еще в течение достаточно продолжительного времени ток в цепи остается практически неизменным, а только затем начинается очень

медленный и плавный спад, длительность которого всегда превышает время экспозиции.

Рис. 2 демонстрирует не только зависимость фототока от времени, но и линейность так называемой люкс-амперной характеристики, другими словами, зависимости фототока I от освещенности E (сплошная прямая на рис. 2). У нас нет оснований сомневаться в линейности этой зависимости, а значит внешнее воздействие на жидкость, находящуюся в контакте с проводящими электродами, в том числе и слабое оптическое, может внести заметный вклад в величину темнового тока.

Фототок и тепловой нагрев

Хотим мы того или нет, но нагрев экспериментальной установки даже при использовании такого источника света, чем является лампа E27/9W/C:4000K, все-таки происходит. Разумеется, возрастание температуры какого-либо тела не может быть причиной термоэлектричества. Считается, что электрический ток, обусловленный нагревом, может возникать лишь при разности температур. Обратное противоречит хотя бы второму началу термодинамики, поэтому речь может идти лишь о влиянии нагрева на интенсивность протекания химических реакций, что уже сомнительно для контакта углерода с дистиллированной водой. На первый взгляд может показаться, что именно это и происходит (рис. 3).

Следует обратить внимание, что возрастание температуры жидкости отстает от возрастания электрического тока, обусловленного оптическим облучением. Например, через 40 минут, когда фототок достиг половины значения, соответствующего окончанию экспозиции, температура жидкости практически не изменилась (рис. 3). Более того, начало спада электрического тока в цепи после окончания экспозиции вовсе не совпадает с началом уменьшения температуры жидкости. Формально похоже на то, что изменение температуры является следствием, а не причиной. Первому и второму началам термодинамики это не противоречит, однако кажется достаточно надуманным.

То, что представлено на рис.4, может показаться достаточно странным. При освещенности, вчетверо меньшей по сравнению с предыдущими результатами (рис. 2), максимальное значение фототока при использовании синего светофильтра с полосой пропускания $0,40\text{мкм} < \lambda < 0,45\text{мкм}$ на половине высоты оказалось существенно большим, чем без фильтра. Здесь нет ничего необычного. Освещенность, приходящаяся на весь диапазон длин волн $0,40\text{мкм} < \lambda < 0,68\text{мкм}$, теперь соответствует только достаточно узкому диапазону. На самом деле сравнивать нужно последние два результата (рис. 3 и рис. 4), относящиеся примерно к одному и тому же изменению температуры жидкости во время экспозиции и после нее. Результат сравнения очевиден: при одинаковом нагреве жидкости электрический ток, обусловленный облучением синим светом, существенно больше, чем белым.

Объяснить этот экспериментальный факт нагревом жидкости невозможно.

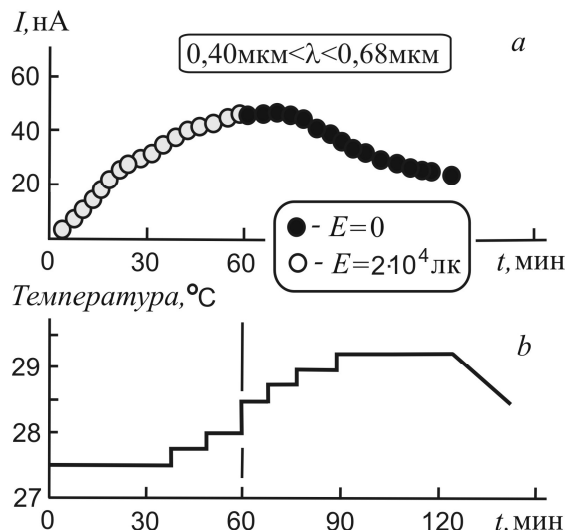


Рис. 3. Фототок в белом свете (а) и зависимость температуры жидкости от времени (б).

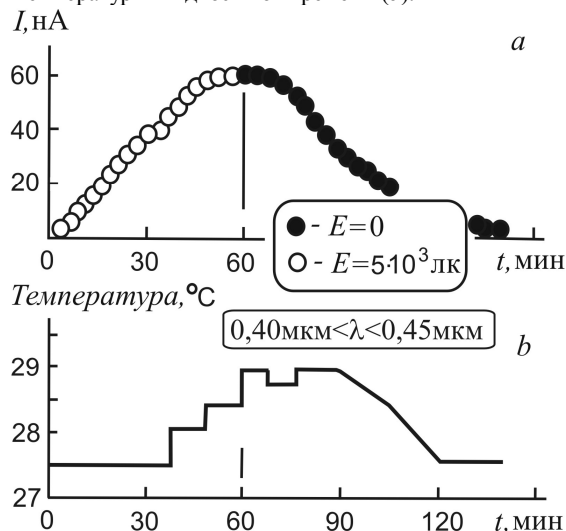


Рис. 4. “Синий” фотоэффект (а) и нагрев жидкости источником света во время экспозиции и после нее (б).

Заключение

Определенный смысл есть у любой работы, в которой подвергается изучению то или иное вещество, находящееся в потоке оптического излучения. Тем более неожиданными оказались результаты, свидетельствующие о фотоэлектрической природе тока, возникающего в воде, в контакте с которой находится углерод. Линейность люкс-амперной характеристики позволяет ожидать, что фототок должен возникать практически при любых освещенностях. Фототок, текущий в цепи, достаточно слаб. Увеличение силы фототока не было целью настоящей работы. Уже сам по себе факт, что фотоэлектрический эффект возникает даже при облучении дистиллированной воды в контакте с угольными электродами, является существенным результатом.

Библиографический список

1. Герасимов С.А. Остаточный темновой фототок в жидкости.// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2012. № 5. С. 59-61.
2. Аут И., Генцов Д., Герман К. Фотоэлектрические явления. М.: Мир, 1980. 208 с.
3. Гуревич Ю.Я. Внешний фотоэффект. М.: Знание, 1983. 64 с.
4. Герасимов С.А. Фототок в жидкости: метод и попытка экспериментального исследования.// Инженерная физика. 2012. № 4. С. 31-33.
5. Герасимов С.А. Алюминиевый фотоэффект. // Инженер. 2012. № 10. С. 10-12.

ON HEAT CONTRIBUTION TO PHOTOELECTRIC CURRENT IN A LIQUID

S.A. Gerasimov, V.S. Lysenko

Southern Federal University, Rostov-on-Don

The darkling current flowing in a liquid which is in the contact with carbon electrodes increases slowly at the optical exposition and decreases slowly after that one. The work is devoted to the experimental study of influencing the supply heat on the magnitude of the photoelectric current.

УДК 536.7

О НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВАХ ФУНКЦИЙ МАССЬЕ-ПЛАНКА

Г.Н. Тен, А.Ф. Крылов

Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского

Тен Галина Николаевна, д.ф.-м.н., проф. СГУ, E-mail: TenGN@yandex.ru

Крылов Александр Фёдорович, к.ф.-м.н., доц. СГУ

Рассмотрены особенности характеристических функций Массье-Планка.

Как известно, существует две характеристические функции, впервые введенные в термодинамику Массье в 1865 г. Поскольку одна из них широко использовалась Планком, по предложению Гуггенгейма она получила название функции Планка.

Функция Массье определяется как

$$\Phi = -\frac{F}{T} \quad (1).$$

Учитывая, что выражение для свободной энергии Гельмгольца имеет вид

$$F = U - TS \quad (2),$$

выражение (1) можно представить в виде

$$\Phi = S - \frac{U}{T} \quad (3).$$

Для закрытой системы

$$\begin{aligned} d\Phi &= -d\left(\frac{F}{T}\right) = -\frac{1}{T}dF + \frac{F}{T^2}dT = \\ &= -\frac{1}{T}(-SdT - pdV) + \frac{U - TS}{T^2}dT = \quad (4) \end{aligned}$$

$$\frac{p}{T}dV + \frac{U}{T^2}dT = -Ud\left(\frac{1}{T}\right) + \frac{p}{T}dV$$

Для открытой системы

$$d\Phi = -Ud\left(\frac{1}{T}\right) + \frac{p}{T}dV - \sum_{i=1}^k \frac{\mu_i}{T}dN_i \quad (5).$$

Первые частные производные равны

$$\left(\frac{\partial\Phi}{\partial(1/T)}\right)_{V,N_i} = -U \quad (6a)$$

$$\left(\frac{\partial\Phi}{\partial V}\right)_{1/T,N_i} = \frac{p}{T} \quad (6b)$$

$$\left(\frac{\partial\Phi}{\partial N_i}\right)_{1/T,V,N_{j \neq i}} = -\frac{\mu_i}{T} \quad (6в)$$

Функция Планка определяется как

$$\Psi = -\frac{G}{T} \quad (7),$$

где G – термодинамический потенциал Гиббса

$$G = U - TS + pV \quad (8).$$

Т.е.
$$\Psi = S - \frac{U}{T} - \frac{p}{T}V \quad (9).$$

В дифференциальном виде для закрытой системы

$$\begin{aligned} d\Psi &= -\frac{1}{T}(-SdT + Vdp) + \frac{U - TS + pV}{T^2}dT = \\ &= \frac{U}{T^2}dT - \frac{V}{T}dP + \frac{pV}{T^2}dT = \\ &= -Ud\left(\frac{1}{T}\right) - Vd\left(\frac{p}{T}\right) \quad (10) \end{aligned}$$

Для открытой системы

$$d\Psi = -Ud\left(\frac{1}{T}\right) - Vd\left(\frac{p}{T}\right) - \sum_{i=1}^k \frac{\mu_i}{T}dN_i \quad (11).$$

Первые частные производные равны

$$\left(\frac{\partial\Psi}{\partial(1/T)}\right)_{p/T,N_i} = -U \quad (12a)$$

$$\left(\frac{\partial\Psi}{\partial(p/T)}\right)_{1/T,N_i} = -V \quad (12б)$$

$$\left(\frac{\partial\Psi}{\partial N_i}\right)_{1/T,p/T,N_{j \neq i}} = -\frac{\mu_i}{T} \quad (12в)$$

Рассматриваемые характеристические функции обладают важными особенностями, а именно:

1) В отличие от термодинамических потенциалов F , H и G первые производные функций Массье позволяют сразу найти калорические уравнения, как и в случае S .

2) Равенство вторых смешанных производных функций Массье позволяет получить уравнения, связывающие калорические и термические свойства макросистемы, а именно

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p = T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V \quad (13)$$

$$\left(\frac{\partial U}{\partial p}\right)_T + p\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T = -T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \quad (14)$$

3) В состоянии термодинамического равновесия функции Массье-Планка принимают максимальное значение

$$(\delta^2\Phi)_{1/T,V} < 0 \text{ и } (\delta^2\Psi)_{1/T,p/T} < 0 \quad (15)$$

Библиографический список

1. Мюнстер А. Химическая термодинамика. М., 1971.
2. Милвин-Хьюз Э.А. Физическая химия. М., 1962.

ABOUT SOME PROPERTIES OF FUNCTIONS MASSIE-PLANK

G.N. Ten, A.F. Krylov

Saratov State University

The peculiarities of characteristic function Massie-Plank are considered.

**ДОКАЗАТЕЛЬСТВО УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ ОРБИТ
В ОБОБЩЁННОЙ МОДЕЛИ АТОМА БОРА НА ОСНОВЕ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ**

Г.Е. Гарбер

Саратовский государственный университет

Гарбер Георгий Евгеньевич

Решается задача об устойчивости электронных орбит в планетарной модели атома Рёзерфорда с помощью законов электромагнитной индукции. Затем подтверждается закон Бора, что стационарные орбиты электронов могут принимать только ряд дискретных значений, - на основе квантовой теории Планка и Эйнштейна. Для оценки случайных отклонений реальных траекторий электронов от стационарных орбит Бора применяется электронная плотность вероятности. Обобщённая модель атома Бора по-прежнему остаётся единственной правильной физической моделью, достаточной для понимания законов движения электронов. Физические законы и понятные модели нельзя заменить уравнениями квантовой механики, которые используются только для оценки случайных отклонений, флуктуаций реальных электронных траекторий от регулярных орбит Бора.

Планетарная модель атома была предложена Н. Бором в 1913 году на основе опытов Э. Рёзерфорда. Однако, несмотря на прошедшие со дня этого великого открытия 100 лет, в курсах физики [1], [2] до сих пор содержится утверждение, что планетарная модель атома неустойчива. Для обоснования указывается, что движение электронов по криволинейным траекториям с ускорением должно приводить к излучению и потере энергии. При таком поверхностном, неконкретном и неточном подходе замалчивается направление излучения и игнорируется тот факт, что траектория электрона является замкнутой.

На самом деле, излучение происходит не извне, а внутрь контура, и сводится к изменению электромагнитного поля внутри атома. Вместо принятого неубедительного утверждения о неустойчивости атома следует не формально, а по существу рассмотреть реальные физические процессы. Требуется решить задачу об устойчивости движения электрона по замкнутой траектории вокруг заряженного ядра. При этом необходимо учесть, что электромагнитное излучение происходит в направлении вектора центростремительного ускорения, то - есть внутри круга, ограниченного орбитой электрона.

Решение задачи основано на уравнениях Максвелла. В соответствии с законом Био – Савара о возбуждении магнитного поля электрическим током, циркуляция магнитного поля равна сумме тока проводимости j и тока смещения $j_{см}$ [3]

$$c \oint_{L_1} H_{l1} dl = j + \frac{\partial E}{\partial t} \quad (1)$$

$$j_{см} = \frac{\partial E}{\partial t}$$

где H_{l1} - составляющая напряжённости \mathbf{H} вдоль контура L_1 .

В этом уравнении циркуляция - это интеграл от напряжённости магнитного поля \mathbf{H} вдоль контура интегрирования L_1 , перпендикулярного плоскости орбиты электрона. Второй член - это ток проводимости j , который создаётся движением электрона с зарядом e и скоростью v : $j = ev$. Третий член, ток смещения по Максвеллу, определяется как

изменение электрического поля вдоль направления движения.

При решении задачи следует учитывать, что векторы напряжённости магнитного поля, возбуждённого диаметрально противоположными интервалами электрического тока, складываются внутри электронной орбиты и вычитаются снаружи. Следовательно, суммарное магнитное поле в основном сосредоточено внутри электронной орбиты и очень быстро убывает за пределами этого контура. Тем самым подтверждается, что излучение энергии извне не происходит, и достаточно рассматривать только внутриатомные процессы. Для проверки устойчивости решения дифференциальных уравнений в смысле Ляпунова [4] предположим, что движение электрона испытывает возмущение и его скорость уменьшается на некоторую малую величину $\Delta v_1 < 0$. При этом изменяется ток проводимости $\Delta j_1 = e \Delta v_1$. Тогда изменение магнитного поля ΔH_l в соответствии с (1) даётся уравнением

$$c \oint_{L_1} \Delta H_{l1} dl = \Delta j_1 \quad (2)$$

Изменение магнитного поля возбуждает вихревое электрическое поле. Согласно закону электромагнитной индукции Фарадея изменение циркуляции электрического поля \mathbf{E} вдоль траектории электрона равно изменению потока магнитного поля \mathbf{H} через ограниченную этой траекторией площадку

$$\frac{1}{c} \frac{d\Phi}{dt} = - \oint_L \Delta E_l dl \quad (3)$$

$$\Phi = \iint_S \Delta H_n dS$$

Здесь Φ - поток магнитного поля через поверхность S ; L - контур интегрирования, совпадающий с траекторией электрона; S - ограниченная контуром поверхность, ΔH_n - нормальная составляющая магнитной напряжённости к поверхности S .

Индукцированное электрическое поле воздействует на электрон и создаёт вторичный электрический ток - ток самоиндукции. При этом интегральная электрическая напряжённость в

уравнении (3) представляет собой ЭДС самоиндукции $\Delta \tilde{E}_2$, созданную изменением магнитного поля. В соответствии с законом Ома, возникающий электрический ток пропорционален ЭДС, где в качестве сопротивления действует электромагнитное поле

$$\Delta \tilde{E}_2 = \oint_L \Delta E_l dl, \Delta j_2 = \frac{\Delta \tilde{E}_2}{R} \quad (4)$$

где R – коэффициент сопротивления.

Ток самоиндукции Δj_2 имеет противоположное направление по отношению к первичному току Δj_1 по закону индукции (3). Это утверждение полностью согласуется с правилом Ленца, - индукционный ток направлен так, чтобы противодействовать причине его возникновения. Наконец, в силу закона превращения и сохранения энергии, происходит такое увеличение скорости электрона, которое в точности компенсирует первичное уменьшение: $\Delta v_2 = -\Delta v_1$. Тем самым, в противоположность обычному утверждению, доказана устойчивость электронных орбит и стационарность модели атома Бора.

Затем рассмотрим найденную Бором закономерность, что электронные орбиты могут принимать только дискретный ряд значений. Действующее на электрон электромагнитное поле отличается от гравитационного поля тем, что имеет дискретную, квантовую структуру. Поэтому вычисление траекторий электронов должно быть основано на квантовой теории Планка и Эйнштейна. Наряду с регулярным движением по орбите электрон испытывает случайные возмущения из-за дискретного взаимодействия с электромагнитными квантами (EM - квантами). Наглядно, реальная траектория электрона имеет вид линии на экране осциллографа, где на основную функциональную зависимость накладываются хаотичные колебания, случайные помехи, белый шум.

Правильность такого представления также подтверждается сформулированным Р. Фейнманом принципом квантовой механики: “Мы не имеем права детально описывать поведение частиц в пространстве” [5]. Физический, а не формальный, подход Фейнмана приводит к естественному обобщению модели атома Бора. Вместо одной электронной орбиты нужно рассматривать пучок траекторий, различающихся между собой флуктуациями, возмущениями, случайными отклонениями. Следовательно, в расчётах нужно применять методы теории вероятностей и математической статистики, позволяющие сгладить случайные отклонения и вычислить усреднённую регулярную траекторию электрона. При этом рассматривается статистическая совокупность большого числа частиц, то - есть электронный газ. Это простое и наглядное физическое представление должно заменить неправильную, противоречащую атомному строению вещества и непригодную для расчётов волновую гипотезу Л. Бройля.

Основной физической характеристике квантовой механики, функции состояния, даётся простое статистическое определение – это плотность

распределения электронов или электронная плотность вероятности [6]

$$f_s(x, y, z) = \frac{n(\Delta V)}{\Delta V \cdot N} \quad (5)$$

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

Функцию f_s (Schrödinger’s function), как будет показано, ввёл в физику Э. Шрёдингер в качестве решения своего уравнения. Аналогичную функцию электронной плотности использовал У. Кон [7].

На атомном уровне взаимодействие единичного электрона с электромагнитным полем даётся квантовыми уравнениями Эйнштейна, которые выражают законы сохранения энергии и импульса в квантовой механике

$$\frac{p_1^2}{2m} + U_1 = h\nu, p_1 = \hbar k \quad (6)$$

где p_1 , U_1 , m – импульс, потенциальная энергия и масса электрона; $h\nu$, $\hbar k$ – энергия и импульс EM – кванта, $k = 2\pi\nu/c$ – волновое число.

Отметим, что длину волны λ , найденную из второго уравнения (6), Л. Бройль ошибочно приписал электрону, несмотря на то, что эта величина характеризует только EM – квант.

Вместо одного электрона теперь следует рассмотреть статистическую совокупность частиц, движение которых имеет форму потока электронного газа. Выделим внутри потока электронного газа бесконечно малый объём ΔV , в силу симметрии движения имеющий форму сферы. Найдём поток энергии, которая переносится через поверхность этой сферы по направлению векторного поля скоростей. Радиальный поток энергии через поверхность сферы выражается в виде поверхностного интеграла 1 – го рода [4]

$$S_B(E) = \oiint_S \nabla E_n dS \quad (7)$$

$$\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$$

где ∇ - оператор градиента, ∇E_n – нормальная составляющая вектора градиента энергии.

Величина потока энергии E через поверхность сферы S естественно называется энергетическим потоком Борна $S_B(E)$ (Born’s Stream), который первым применил статистический подход в квантовой механике.

Для решения задачи рассмотрим условия равновесия энергетических потоков через поверхность этой сферы S . Вместо индивидуальных физических характеристик единичного электрона в квантовом уравнении (6) введём интегральные характеристики для радиального электронного потока. Для заключённого в выделенном объёме ΔV электронного газа обозначим кинетическую энергию $T_e(\Delta V)$, а потенциальную энергию $U_e(\Delta V)$. Аналогично, энергию, полученную электронами в объёме ΔV от EM – квантов, обозначим $E_q(\Delta V)$.

Величина энергии каждого вида пропорциональна числу электронов в объёме ΔV и

даётся, в соответствии с (6), следующими статистическими уравнениями

$$T_e(\Delta V) = \frac{p_1^2}{2m} n(\Delta V), U_e(\Delta V) = U_1 n(\Delta V) \quad (8)$$

$$E_q(\Delta V) = h\nu n(\Delta V)$$

Запишем основное уравнение баланса энергетических потоков через поверхность сферы S , подставив вместо физических параметров одного электрона соответствующие величины для электронного потока. Полученное естественное обобщение квантового уравнения (6) выражает закон сохранения энергии для электронного потока

$$S_B(T_e) + S_B(U_e) = S_B(E_q) \quad (9)$$

Подставим в основное уравнение энергетического баланса (9) численные значения энергетических потоков $S_B(E)$. Эти величины являются характеристиками потоков кинетической, потенциальной и квантовой электромагнитной энергии, и выражаются через поверхностные интегралы, согласно (7)

$$\iint_S \nabla T_{en} dS + \iint_S \nabla U_{en} dS = \iint_S \nabla E_{qn} dS \quad (10)$$

Подставим в интегральное уравнение (10) величины энергии каждого из трёх видов, которые даются статистическими уравнениями (8). Потом произведём усреднение, разделив обе части уравнения (10) на N и ΔV , и введём электронную плотность вероятности f_S по определению (5). Затем применим формулу Гаусса – Остроградского и выразим поверхностные интегралы через тройные интегралы [4]. Используя методы векторного анализа [4], вычислим производные по объёму при $\Delta V \rightarrow 0$ в обеих частях уравнения (10). Окончательно, после всех преобразований основного уравнения баланса энергетических потоков (9), вместо интегрального уравнения (10) получаем следующее дифференциальное уравнение

$$\frac{p_1^2}{2m} \nabla^2 f_S + \nabla^2 (U_1 f_S) = \nabla^2 (h\nu f_S) \quad (11)$$

где $\nabla^2 = \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2 + \partial^2/\partial z^2$ – оператор Лапласа.

Второй член уравнения (11) содержит усреднённую потенциальную энергию электрона, которая находится как интеграл от напряжённости электрического поля. Поэтому нетрудно показать, что потенциальная энергия единичного электрона подчиняется волновому уравнению электромагнитного поля. Аналогично, в третьем члене уравнения (11) содержится изменение потенциальной энергии электрона под воздействием EM – квантов. Эта величина потенциальной энергии также подчиняется волновому уравнению электромагнитного поля. После преобразования уравнения (11) получаем линейное дифференциальное уравнение в частных производных для электронной плотности вероятности f_S

$$\frac{p_1^2}{2m} \nabla^2 f_S + \frac{1}{c^2} U_1 \frac{\partial^2 f_S}{\partial t^2} = \frac{1}{c^2} h\nu \frac{\partial^2 f_S}{\partial t^2} \quad (12)$$

Полученное дифференциальное уравнение (12) решается стандартным методом разделения переменных: $f_S = f_{S1}(x, y, z) f_{S2}(t)$ [4]. После разделения переменных уравнение (12) распадается на два частных уравнения

$$\frac{p_1^2}{2m} \frac{c^2}{h\nu - U_1(\vec{r})} \frac{\nabla^2 f_{S1}(\vec{r})}{f_{S1}(\vec{r})} = \lambda_1 \quad (13)$$

$$\frac{d^2 f_{S2}(t)}{dt^2} - \lambda_1 f_{S2}(t) = 0 \quad (14)$$

где $\vec{r}(x, y, z)$ – вектор пространственных координат электрона, $\lambda_1 = \text{const}$.

Решением уравнения (14) являются гармонические функции $f_{S2}(t) = \cos(\omega t), \sin(\omega t)$. Входящее в эти решения значение циклической частоты $\omega = 2\pi\nu$ даётся равенством: $\omega^2 = -\lambda_1$. Величину импульса p_1 выразим из уравнения (6), сократим обе части уравнения (13) на k^2 и опустим индекс. Таким образом, в результате прямого вычисления на основе квантовой теории получен строгий математический вывод стационарного уравнения Шрёдингера

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 f_S(\vec{r}) + U(\vec{r}) f_S(\vec{r}) = E_n f_S(\vec{r}) \quad (15)$$

где $E_n = h\nu$ – полная энергия электрона, $U(\vec{r})$ – потенциальная энергия электрона.

Тем самым доказано, что электронная плотность вероятности f_S , имеющая независимое физическое определение (5), является решением уравнения Шрёдингера и принимает только действительные, а не комплексные, значения. Эта функция зависит только от уровня энергии E_n и для несущей частоты ν может рассматриваться как модулирующая величина, которую Р. Фейнман назвал амплитудой вероятности [8]. Нужно отказаться от искусственного возведения решения уравнения Шрёдингера в квадрат, так как для этого нет никаких физических причин. Электронную плотность вероятности f_S следует применять в расчётах квантовой механики как реальную функцию состояния частицы. Аксиоматическое введение абстрактной комплексной волновой функции ψ излишне и не имеет физического смысла.

Стационарное уравнение Шрёдингера имеет операторную форму

$$H f_{Sn}(\vec{r}) = E_n f_{Sn}(\vec{r}) \quad (16)$$

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) + U(\vec{r})$$

Оператор Гамильтона (гамильтониан) H найден в результате вычислений, а не введён, как обычно, аксиоматически. Решения операторного уравнения (16) – это собственные функции $f_{Sn}(\vec{r})$, а величины энергии E_n – собственные значения гамильтониана. Согласно теории линейных дифференциальных операторов, собственные значения E_n могут

принимать только ряд отдельных значений и образуют дискретный спектр гамильтониана. Следовательно, доказан первый закон Бора, введённый первоначально как постулат, - полная энергия электрона может принимать только дискретный ряд значений E_n .

В соответствии с принципом Фейнмана, нельзя указать точные координаты частицы, - можно найти только вероятность P , что частица содержится в бесконечно малом объёме ΔV возле точки с координатами $r(x, y, z)$: $P(\Delta V) = f_s(r) \Delta V$. Это полностью соответствует основным положениям молекулярно – кинетической теории, изучающей движение микрочастиц. Только методы теории вероятностей позволяют рассматривать реальные траектории электронов, отличающиеся от стационарной орбиты малыми случайными возмущениями. Чтобы выделить стационарную классическую орбиту и отфильтровать хаотические отклонения, белый шум, надо рассмотреть статистическую совокупность большого числа траекторий, наглядно имеющую вид пучка линий неправильной формы. Распределение траекторий не является равномерным, - максимальное их количество сосредоточено в достаточно узкой окрестности стационарной орбиты Бора.

Стационарная орбита Бора для состояния с энергией E_n определяется как среднее по множеству реальных траекторий, что позволяет сгладить случайные отклонения и отфильтровать белый шум. Радиус стационарной орбиты Бора определяется как средняя величина расстояний от траектории электрона до атомного ядра, то – есть математическое ожидание случайной величины r_j [6]. Важно отметить, что значение радиуса орбиты Бора вычисляется непосредственно, классическими методами, без всякой квантовой механики [1].

Чтобы оценить случайные отклонения траекторий от стационарной орбиты Бора, применяется основная характеристика теории вероятностей – электронная плотность вероятности $f_{Sn}(r)$. В квантовой механике получены точные аналитические решения уравнения Шрёдингера для движения электрона в центрально – симметричном поле. Эти решения в сферических координатах имеют вид [8]

$$f_{Sn}(r, \theta, \varphi) = R_{nl}(r) Y_{lm}(\theta, \varphi) \quad (17)$$

$$R_{nl}(r) = const \cdot \rho^l e^{-\frac{\rho}{2}} L_{n-l-1}^{2l+1}(\rho), \rho = \frac{2r}{n}$$

где r, θ, φ – сферические координаты электрона; n, l, m – стандартные обозначения квантовых чисел; $L(n-l-1, 2l+1; \rho)$ – обобщённые полиномы Лагерра.

Расстояние электрона до атомного ядра, - это случайная величина, которая подчиняется радиальной составляющей плотности вероятности $f_{Sn}(r) = CR_{nl}(r)$. Значения случайной величины r_j сосредоточены на интервале между соседними корнями полинома Лагерра. При решении задачи нужно выбрать тот интервал, внутри которого расположен радиус орбиты Бора: $r_{0i} < r_b < r_{0i+1}$. Используется та часть радиальной функции $R_{nl}(r)$,

которая сосредоточена на выбранном интервале и имеет куполообразную форму, подобную нормальному распределению. Максимум плотности вероятности соответствует радиусу Бора: $max f_s \leftrightarrow R_{nl}(r_b)$.

Функция $f_{Sn}(r) = CR_{nl}(r)$ характеризует разброс и рассеивание реальных положений электрона и позволяет оценить малые случайные отклонения от стационарной орбиты Бора. Кроме того, установленные радиальные ограничения траекторий ещё раз показывают ошибочность волновой гипотезы.

Доказательство устойчивости стационарных орбит Бора точными методами аналитической механики содержится в работе [9]. Те же самые вопросы рассматриваются и в работе [10].

Из квантовой теории следует, что при регулярном движении по орбите электрон должен испытывать случайные возмущения. Рассматривая стационарную орбиту Бора, следует учитывать случайные колебания, вызванные дискретным воздействием EM – квантов. Обобщённую орбиту электрона можно определить как множество реальных траекторий, которые отличаются от стационарной орбиты Бора на величину малых случайных отклонений. Решение уравнения Шрёдингера $f_{Sn}(r)$ (16) даёт плотность распределения вероятности и является характеристикой состояния электрона, который находится на данной обобщённой орбите. Таким образом, абстрактная функция состояния получает реальный физический смысл как электронная плотность вероятности. При расчётах следует рассматривать статистическую совокупность траекторий электрона, расположенных внутри некоторой кольцеобразной трубки или тора, с центром в атомном ядре. В обобщённой модели атома Бора каждая обобщённая орбита имеет наглядное представление в виде кольцевого электронного облака, подобного кольцу Сатурна.

Очевидным следствием из обобщённой модели атома Бора является простой вывод, что на данной орбите может находиться только один электрон. Это наглядное физическое утверждение заменяет бездоказательный и сугубо формальный принцип запрета Паули, согласно которому два электрона не могут одновременно находиться в одном состоянии.

Выводы. Методами электродинамики доказана устойчивость орбит электронов в планетарной модели атома Резерфорда, - в противоположность обычному представлению. Учитываются случайные отклонения реальных траекторий от теоретических орбит. Вероятностно – статистическими методами вычисляются дискретные стационарные орбиты Бора в виде средних из множества реальных траекторий электронов. Для оценки случайных колебаний траекторий электронов по отношению к стационарной орбите Бора применяются решения уравнения Шрёдингера. Доказана устойчивость стационарных орбит Бора относительно квантовых воздействий электромагнитного поля.

Полностью подтверждается физическая достоверность модели атома Бора в обобщённом

виде и невозможность её замены формализмом квантовой механики. На основе квантовой теории Планка и Эйнштейна даётся теоретическое обоснование атомных законов Бора, предложенных им первоначально как постулаты. Доказывается

принцип запрета Паули, которому придаётся наглядный физический смысл. Решение этих задач подтверждает правильность квантовой теории и ошибочность волновой гипотезы.

Библиографический список

1. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика: Оптика. Квантовая физика. 11 кл. – М.: Дрофа, 2001.
2. Соколов А.А., Лоскутов Ю.М., Тернов И.М. Квантовая механика. - М.: Учпедгиз, 1962.
3. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 6. Электродинамика. М.: Мир, 1966.
4. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. М.: Наука, 1986.
5. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 8, 9. Квантовая механика. М.: Мир, 1967.
6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Академия, 2003.
7. Kohn W. The Edge Electron Gas, Phys. Rev. Lett., 81, 3487 (1998).
8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. III. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. – М: Физматлит, 2002.
9. Четаев Н. Г. Устойчивость движения. Работы по аналитической механике. М.: АН СССР, 1962.
10. Гарбер Г.Е. Обобщение модели атома Бора в квантовой механике методами теории вероятностей. Вопросы прикладной физики. Саратов, 2010. Вып. 17.

PROOF OF THE STABILITY OF ELECTRON ORBITS IN THE GENERALIZED BOHR'S MODEL OF ATOM ON THE BASIS OF QUANTUM THEORY

G.E. Garber

Saratov State University

Problem of the stability of electron orbits in the Rutherford's planetary model of atom is solved with the help of laws of electromagnetic induction. The Bohr's law, that stationary orbits of electrons can to take only discrete series of significations, is confirmed on the basis of Plank's and Einstein's quantum theory. Electron probability density is used for estimation of stochastic deviations of real electron trajectories from stationary Bohr's orbits. Generalized Bohr's model of atom remains the only correct physical model as before, which sufficient for understanding of laws of electron motion. It is impossible to replace physical laws and clear models by equations of quantum mechanics, which are used only for estimation of fluctuations of real electron trajectories from regular Bohr's orbits.

О МЕТОДИКЕ И РЕЗУЛЬТАТАХ ПРИМЕНЕНИЯ УЧЕБНОГО АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ

А.С. Шаповалов, В.А. Овчинников, С.А. Шаповалов

Саратовский государственный университет

Шаповалов Александр Степанович, д.ф.-м.н., профессор кафедры прикладной физики

ООО ЭПО «Сигнал», г. Энгельс

Овчинников Вячеслав Александрович, главный метролог

Саратовское электроагрегатное производственное объединение

Шаповалов Степан Александрович, инженер

Представлены методика и результаты применения учебного аэродинамического стенда для измерения гидравлического коэффициента трения.

Данная работа служит продолжением цикла статей [1,2], посвящённых методике применения в учебном процессе универсального аэродинамического стенда ТМЖ-1м [3,4], который вошёл в состав специального практикума по аэро- и гидродинамике на кафедре прикладной физики Саратовского государственного университета. В предлагаемой статье рассматриваются особенности стенда, методика и результаты его применения для определения гидравлического сопротивления трубы круглого сечения.

Краткие теоретические сведения

В механике жидкости и газа гидравлический коэффициент трения определяется на основе выражения [5]

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{d} \frac{\rho v_{\text{cp}}^2}{2}, \quad (1)$$

где λ - гидравлический коэффициент трения (коэффициент сопротивления трубы), Δp - перепад давления на участке трубы длиной L и диаметром d , ρ - плотность воздушного потока, v_{cp} - средняя по сечению трубы скорость потока, обычно принимаемая равной $v_0/2$ (v_0 - скорость потока на оси трубы).

Согласно (1) расчётное соотношение для гидравлического коэффициента трения имеет вид

$$\lambda = \Delta p \frac{d}{L} \frac{2}{\rho v_{\text{cp}}^2}. \quad (2)$$

Гидравлический коэффициент трения - величина безразмерная. Размерные величины в выражении (2) рекомендуются представлять в системе единиц СИ.

При ламинарном течении воздушного потока величину коэффициента λ нетрудно рассчитать с помощью формулы Пуазейля [6]

$$Q = \pi r \frac{\Delta p}{8\eta L} R^4, \quad (3)$$

где Q - расход жидкости (газа), Δp - разность давлений на входе и выходе трубы, L и R - длина и радиус трубы соответственно, η - динамическая вязкость (коэффициент внутреннего трения). Действительно, подставляя в (3) величину расхода жидкости в виде

$$Q = \rho \pi R^2 v_{\text{cp}}$$

и решая указанное равенство относительно Δp , получаем

$$\Delta p = \frac{64}{\text{Re}} \frac{L}{d} \frac{\rho v_{\text{cp}}^2}{2}, \quad (4)$$

где

$$\text{Re} = \frac{v_{\text{cp}} d}{\nu}, \quad (5)$$

Re - число Рейнольдса [5], $\nu = \eta/\rho$ - кинематическая вязкость среды. Сопоставление равенств (1) и (4) приводит к следующему выражению для гидравлического коэффициента трения при ламинарном потоке:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$$

При турбулентном движении потока величина λ определяется экспериментально (имеются также эмпирические и полуэмпирические формулы [5]).

Как правило, одной из основных задач лабораторного исследования является определение зависимости коэффициента сопротивления λ от числа Рейнольдса Re .

Численные значения плотности ρ и кинематической вязкости ν воздуха, соответствующие данной температуре и атмосферному давлению, определяются по справочнику. При расчёте зависимости коэффициента сопротивления λ от числа Рейнольдса Re в рамках данной лабораторной работы численные значения величин ρ и ν допускается ориентировочно принять равными: $\rho = 1,205 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 15,06 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Для возможности сравнения итогов эксперимента с данными других авторов (см. например, [5]) полученные результаты рекомендуется представить в виде зависимости $\lg(1000\lambda)$ от $\lg \text{Re}$.

Экспериментальные результаты

Исследования проводились на модуле №1, который прилагается к стенду и представляет собой трубу круглого сечения длиной 1930 мм и внутренним диаметром 30 мм. На входе трубы располагается измерительное сопло, в котором предусмотрено посадочное место для цилиндрической гидродинамической трубки-зонда. Зонд позволяет измерять микроманометром перепад давлений между двумя характерными точками воздушного потока. Такими точками являются входные сечения двух соответствующим образом расположенных отверстий в зонде [7]. Отверстия связаны воздушными каналами с штуцерами Ш7 и Ш8, которые, в свою очередь, со-

единяются гибкими трубками с манометром. По перепаду давлений на зонде с помощью градуировочной кривой или соответствующей формулы определяется скорость воздушного потока. В проведённых экспериментах использовались зонд № 30 и микроманометр ММН-2400, которые входят в комплект стенда [1].

Выходной конец модуля через всасывающий воздухопровод подключён к вентилятору. В средней части всасывающего воздухопровода имеется дроссельная заслонка (дроссель), выполняющая роль регулятора расхода воздуха, а следовательно, и скорости воздушного потока. Механизм управления заслонкой предусматривает 10 различных положений дросселя.

По длине трубы модуля №1 располагаются 6 отверстий (точек отбора давления) со штуцерами Ш1–Ш6, что позволяет исследовать изменение давления вдоль трубы.

Перед экспериментом были поставлены две задачи. Первая задача – найти экспериментальное значение гидравлического коэффициента трения трубы и сравнить его с данными других авторов. Вторая задача – выяснить возможности применения модуля № 1 и стенда в целом для экспериментального определения зависимости гидравлического коэффициента трения от числа Рейнольдса.

Для решения этих задач, прежде всего, было необходимо выяснить возможности стенда в плане обеспечения соответствующей скорости воздушного потока и её регулирования. С этой целью были проведены предварительные эксперименты и определена зависимость перепада давлений на зонде от положения дроссельной заслонки. При изменении положения заслонки от положения № 9, когда она располагается под углом 90° к оси воздухопровода и максимально перекрывает поток, до положения № 0, когда она полностью открыта, перепад давлений изменялся в пределах примерно от 300 Па до 1200 Па. Согласно градуировочной кривой, представленной в [1] перепаду давлений в 300 Па соответствует скорость потока v_0 на его оси 18 м/с. В дальнейшем после построения градуировочной кривой для более широких пределов изменения перепада давлений выяснилось, что перепаду давлений в 1200 Па соответствует значение скорости v_0 на оси потока порядка 35 м/с. Следовательно, при работе с модулем № 1 стенд обеспечивает максимальную скорость потока порядка 35 м/с.

Градуировочные кривые для стенда, представленные в [1], получены лишь до перепада давлений на зонде порядка 400 Па ($v_0 \approx 20$ м/с). Таким образом, для выполнения основного эксперимента, направленного на определение гидравлического сопротивления и его зависимости от числа Рейнольдса, возникла необходимость дополнить данные работы [1], построением градуировочной кривой вплоть до перепада давлений порядка 1200 Па ($v_0 \approx 35$ м/с).

Предварительные эксперименты позволили обнаружить также следующие нежелательные особенности регулировки скорости потока в модуле № 1.

Первая особенность механизма регулировки скорости состоит в том, что минимальное значение скорости потока оказывается достаточно высоким. (Как уже указывалось, при положении № 9 заслонки, когда она максимально перекрывает всасывающий воздухопровод, перепад давлений на зонде и скорость потока составляют соответственно 300 Па и 18 м/с).

Вторая особенность заключается в том, что перепад давлений, близкий к максимальному, наблюдается уже при положении № 6 дроссельной заслонки. Дальнейший поворот заслонки в положения № 5,4,3,2,1,0 приводит к незначительному увеличению перепада давления. Следовательно, реально скорость потока можно заметно варьировать в пределах от 18 м/с до 35 м/с, что соответствует повороту заслонки из положения № 9 в положение № 6.

Отмеченные особенности регулировки скорости, очевидно, можно устранить путём усовершенствования механизма регулировки. Без такого усовершенствования изменение числа Рейнольдса возможно лишь в узких пределах – примерно в 2 раза. При этом необходимым условием для проведения основных экспериментов по определению зависимости гидравлического коэффициента трения от числа Рейнольдса является построение недостающей части градуировочной кривой, отвечающей скоростям потока в пределах от 20 м/с до 35 м/с.

Градуировочные кривые для трёх зондов, прилагаемых к стенду, в том числе и для зонда № 30, проведённые в работе [1], были получены экспериментально при помощи термоанемометра testo-425, рабочий диапазон которого составляет $(0 \div 20)$ м/с, что соответствует изменениям перепада давлений на зонде № 30 в пределах от нуля до примерно 350 Па. В этом диапазоне термоанемометр обеспечивает погрешность измерений скорости $\pm(0,05 \text{ м/с} + 5\% \text{ ИВ})$. (ИВ – измеряемая величина). Реально он позволяет проводить измерение скорости вплоть до 27 м/с. Однако погрешность результатов измерений в диапазоне $(20 \div 27)$ м/с указанными паспортными данными не гарантируется.

Так как при использовании модуля № 1 не обеспечивается регулировка скорости в пределах $(0 \div 18)$ м/с в [1] был разработан специальный измерительный макет воздушного приёмника. Макет содержал трубу, которая была подобна трубе модуля № 1, но на своём выходе имела сужающее устройство, позволявшее переключением дроссельной заслонки в положение № 9 уменьшать скорость потока до значений порядка нескольких м/с.

В связи с необходимостью расширения диапазона измеряемых скоростей имеющаяся экспериментальная градуировочная кривая для зонда № 30 была дополнена расчётной кривой. В результате получилась комбинированная кривая, позволяющая определять скорость в диапазоне $(0 \div 35)$ м/с, что соответствует диапазону изменения перепада давления на зонде $(0 \div 1200)$ Па. Расчётная часть кривой получена путём использования формулы [7]

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \Delta P_s}{\rho (1 + \varepsilon)}}, \quad (6)$$

где ΔP_s – перепад давления на зонде, ε – поправка на сжимаемость газа, учитывающая также индивидуальные особенности конкретного зонда. Величина поправки ε для зонда № 30 была определена по экспериментальным значениям ΔP_s и v_0 в точке $\Delta P_s = 400$ Па, $v_0 = 20$ м/с, лежащей на экспериментальной части градуировочной кривой для этого зонда. Величина указанной поправки оказалась равной 0,66. Подстановка в выражение (6) $\varepsilon = 0,66$ и значений

ΔP_s , лежащих в диапазоне $400 \text{ Па} \leq \Delta P_s \leq 1200 \text{ Па}$, позволила рассчитать соответствующие точки градуировочной кривой $v_0 = v_0(\Delta P_s)$ в указанном диапазоне ΔP_s . Комбинированная расчётно-опытная кривая зависимости скорости воздушного потока v_0 на оси трубы от перепада давлений ΔP_s на зонде представлена на рис.1. Отдельные расчётные и экспериментальные точки на этой кривой приведены в чисто иллюстративных целях.

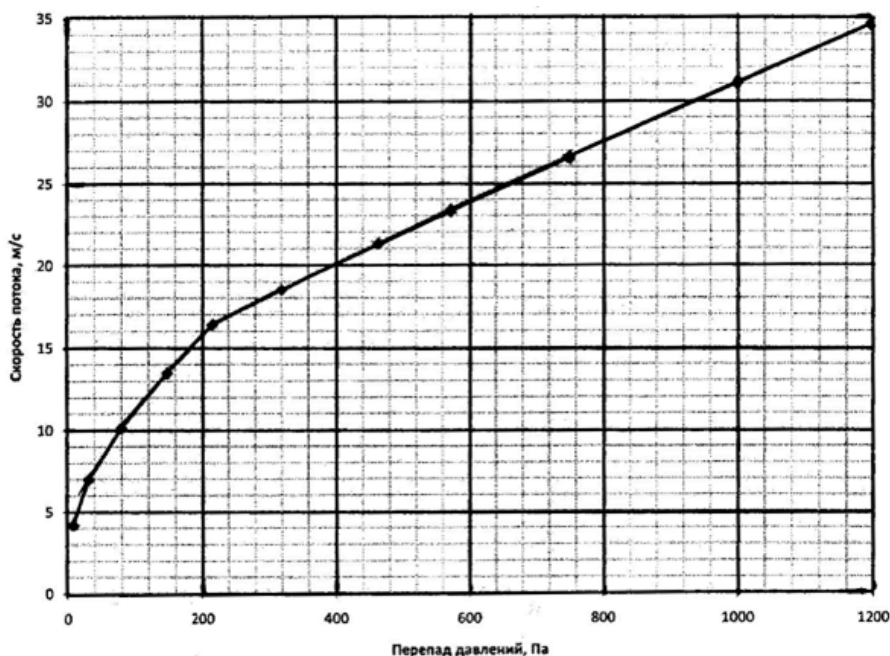


Рис. 1.

Интересно отметить, что в пределах $20 \text{ м/с} \leq v_0 \leq 27 \text{ м/с}$ расчётные точки кривой практически совпадают с опытными данными, которые получены с использованием термоанемометра, и точность которых в указанном диапазоне скоростей не гарантируется паспортом прибора.

Для нахождения гидравлического коэффициента трения и его зависимости от числа Рейнольдса были экспериментально определены кривые распределения давления (падения напора) вдоль трубы при различных положениях дроссельной заслонки. По причине указанной выше переключение заслонки проводилось в пределах от положения № 9 до положения № 6. Измерение давления осуществлялось в 6 точках отбора, расположенных вдоль длины трубы на расстоянии 200 мм друг от друга, путём подключения микроанометра к штуцерам Ш1 - Ш6 [3,4]. Ближайшей к входу в трубу является точка отбора давления, соединённая со штуцером Ш6.

Анализ кривых распределения давления выявил следующие особенности макета № 1 и стенда в целом, в том числе условий согласования выхода трубы с воздухопроводом, идущим к вентилятору.

При положении заслонки № 9 (скорость пучка на входе 18 м/с) кривая распределения практически линейна, и возможно определение гидравлического коэффициента трения, характеризующего трубу в

целом. Локальные коэффициенты трения, характеризующие отдельные участки трубы, находящиеся между соответствующими точками отбора (штуцерами), практически одинаковы.

Однако, начиная с положения заслонки № 8 (скорость потока на его оси 26 м/с) кривые распределения существенно отличаются от прямых и тем больше, чем меньше номер положения заслонки, то есть чем больше скорость потока. При этом на начальном участке трубы между штуцерами Ш4, Ш5, Ш6 (при фиксированном положении заслонки) кривые распределения давления ведут себя практически линейно, но по мере удаления от входа в трубу наклон кривых возрастает, и по форме они всё больше приближаются к параболам. Таким образом, при указанных положениях заслонки локальные коэффициенты трения, характеризующие отдельные участки трубы, существенно отличаются. В целом для трубы можно определить лишь средние значения коэффициента.

Проведённые эксперименты показали также, что опытные значения коэффициента гидравлического трения достаточно хорошо согласуются с данными других авторов, если они определяются для локального участка трубы, наиболее удалённого от её выхода (от её соединения с воздухопроводом). Имеется в виду участок трубы между штуцерами Ш5 и Ш6.

Для иллюстрации процесса обработки экспериментальных данных приведём примеры расчёта локального коэффициента гидравлического трения λ_{56} , соответствующего участку трубы между пятым и шестым штуцерами. Как показали измерения, при установке дроссельной заслонки в положение № 9 перепад давления между штуцерами Ш5 и Ш6 составил $\Delta p_{56}=8$ Па. Перепад давления $\Delta p_{78}=\Delta p_s$ между штуцерами Ш7 и Ш8 измерительного зонда [3,4], определяющий скорость потока, был равен $\Delta p_{78}=304$ Па. Согласно градуировочной кривой перепаду давления $\Delta p_{78}=304$ Па соответствует скорость на оси потока $v_{cp}=18$ м/с и средняя скорость $v_{cp}=9$ м/с. Подставляя в (2) $\Delta p_{56}=8$ Па, $d=0,03$ м, $L=0,2$ м, $\rho=1,205$ кг/м³, $v_{cp}=9$ м/с, получаем величину коэффициента сопротивления $\lambda_{56}=2,46 \times 10^{-2}$ и $\lg(1000\lambda_{56})=1,39$. Подстановка в (5) $v_{cp}=9$ м/с, $d=0,03$ м и $v=15,06 \times 10^{-6}$ м²/с даёт величину числа Рейнольдса $Re=1,79 \times 10^4$ и $\lg Re = 4,25$.

Аналогичным образом по экспериментальным данным был рассчитан локальный гидравлический коэффициент трения λ_{56} при других положениях дроссельной заслонки, а следовательно, и значениях числа Рейнольдса. Так при положении заслонки № 8 перепад давления между штуцерами 5 и 6 составил $\Delta p_{56} = 16$ Па. Перепад давления между штуцерами 7 и 8 измерительного зонда составил $\Delta p_{78} = 676$ Па, что соответствует скорости потока на его оси $v_o=26$ м/с и средней скорости $v_{cp}=13$ м/с. Подставляя в (2) $\Delta p_{56} = 16$ Па, $v_{cp}=13$ м/с, находим величину коэффициента сопротивления $\lambda_{56}=2,36 \times 10^{-2}$ и

$\lg(1000\lambda_{56})=1,37$. При подстановке в (5) $v_{cp}=13$ м/с получаем величину числа Рейнольдса $Re=25900$ и $\lg Re = 4,41$.

При положении заслонки № 7 перепад давления между штуцерами 5 и 6 составил $\Delta p_{56} = 24$ Па. Перепад давления между штуцерами 7 и 8 измерительного зонда был равен $\Delta p_{78} = 1008$ Па. Согласно градуировочной кривой этому перепаду соответствует скорость на оси потока $v_o=32$ м/с и средняя скорость $v_{cp}=16$ м/с. Согласно выражениям (2) и (5) указанным значениям параметров Δp_{56} , v_o соответствуют расчетные величины коэффициента трения $\lambda_{56}=2,33 \times 10^{-2}$, $\lg(1000\lambda_{56})=1,367$ и числа Рейнольдса $Re=31872$, $\lg Re=4,5$.

При положении заслонки № 6 перепад давления между штуцерами 5 и 6 составил $\Delta p_{56} = 28$ Па. Перепад давления между штуцерами 7 и 8 измерительного зонда был равен $\Delta p_{78} = 1180$ Па, что соответствует скорости на оси потока $v_o = 34,5$ м/с и средней скорости потока $v_{cp}=17,25$ м/с. При указанных значениях параметров Δp_{56} , v_{cp} из выражений (2) и (5) следуют расчетные величины коэффициента трения $\lambda_{56}=2,3 \times 10^{-2}$, $\lg(1000\lambda_{56})=1,36$ и числа Рейнольдса $Re=34400$, $\lg Re=4,54$.

Полученные результаты (в том числе в логарифмическом масштабе) представлены в таблице 1.

Положение заслонки	№ 9	№ 8	№ 7	№ 6
Re	$1,8 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$	$3,19 \times 10^4$	$3,44 \times 10^4$
λ_{56}	$2,46 \times 10^{-2}$	$2,36 \times 10^{-2}$	$2,33 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-2}$
$\lg Re$	4,25	4,4	4,5	4,54
$\lg(1000\lambda_{56})$	1,39	1,37	1,367	1,36

Таблица 1.

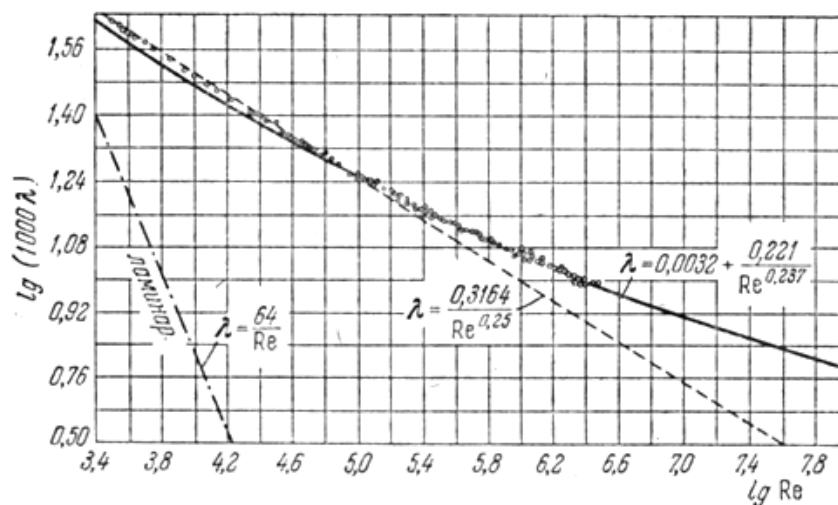


Рис. 2.

Найденные значения гидравлического коэффициента трения вполне удовлетворительно согласуются с данными экспериментальной кривой, приведённой в учебном пособии Лойцянского Л.Г. [5] и показанной на рис. 2, взятом из этого пособия. По причинам указанным выше полученные результаты отвечают довольно узкому диапазону изменения числа Рейнольдса. Тем не менее они выражают правильную тенденцию уменьшения гидравлического коэффициента трения по мере увеличения числа Рейнольдса.

Рисунок 2 представлен не только для оценки степени соответствия полученных экспериментальных результатов с данными других авторов. Его практическая ценность для учащихся, выполняю-

щих лабораторный практикум по аэродинамике, заключается также в том, что на нём приведены приближённые формулы и соответствующие им кривые, описывающие зависимость коэффициента гидравлического трения от числа Рейнольдса.

Проведённое исследование показало, что, в принципе, аэродинамический стенд может быть использован в учебном процессе для исследования гидравлического коэффициента трения, так как полученные на его основе экспериментальные данные удовлетворительно согласуются с результатами других авторов. В то же время следует отметить, что адаптация стенда к учебному процессу требует дополнительной работы по его совершенствованию.

Библиографический список

1. Овчинников В.А. // Вопросы прикладной физики. Саратов, 2009. Вып. 16.
2. Овчинников В.А., Шаповалов А.С. // Вопросы прикладной физики. Саратов, 2010. Вып. 17.
3. Стенд аэродинамический универсальный (модернизированный) ТМЖ 1М. Паспорт ТМЖ 1М ПС. Российское научно-производственное объединение «Роснаучприбор». Акционерное общество «Интос». М., 1997.
4. Емцев Б.Т., Филатов С.В. Руководство к использованию в учебном процессе универсального лабораторного аэродинамического стенда ТМЖ-1м. Российское научно-производственное объединение «Роснаучприбор». Акционерное общество «Интос». Московский энергетический институт (технический университет). М., 2001.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Изд-во «Наука». М. 1970.
6. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.1. Механика. Изд-во «Наука». М., 1974.
7. Кутин С.Н., Коробко В.И. Методическое пособие к лабораторному практикуму по аэродинамике. Под ред. проф. Фальковича С.В. Изд-во Саратовского университета. 1972.

ABOUT A METHOD AND RESULTS OF APPLICATION OF THE TRAINING AERODYNAMICS STAND FOR MEASURING OF THE HYDRAULIC COEFFICIENT OF FRICTION

¹A.S.Shapovalov, ²V.A. Ovchinnikov, ³S.A. Shapovalov

¹Saratov State University,

²Engels Production Association «Signal»

³Saratov Electric Aggregate Production Firm

It is represented a method and results of application of the training aerodynamics stand for measuring of the hydraulic coefficient of friction

ТАЙНА 1320 СЕКУНД

М.А. Старшов, С.В. Чурочкина

Саратовский государственный университет

Старшов Михаил Александрович, зав. учебно-исследовательской лаборатории
Чурочкина Светлана Викторовна, к.ф.-м.н., доцент, кафедра прикладной физики

Рассмотрен один эпизод истории физики.

Одним из наиболее впечатляющих достижений человеческой мысли стало понимание конечности самой большой скорости в Природе. Долгое время вслед за Аристотелем считалось, что свет распространяется мгновенно, пока не усомнился в этом великий Галилей, но практически измерить скорость света ему не удалось, зато его открытие спутников Юпитера дало астрономам нужный для этой цели «прибор». Роберт Гук (Robert Hooke, 1635-1703) первым высказал мнение, что свет состоит из быстрых колебаний, причём принял, что последние распространяются мгновенно на любое расстояние...» и в этом же абзаце: «В это время была впервые определена скорость света, выведенная в 1675 г. Олафом Рёмером (Olaf Römer, 1644-1710) из затмений спутников Юпитера. Казалось, что периодические затмения самого близкого к планете спутника Ио могут послужить своеобразными космическими часами, более надёжными по сравнению с любыми устройствами, построенными руками человека.

Однако создатель и первый директор Парижской обсерватории Джованни Кассини в наблюдениях 1666-1668 гг. обнаружил очень небольшие, но достоверные нерегулярности в движении первой луны Юпитера. Проблема не давала ему покоя долгое время, и в её решение включился приглашённый в 1672 г. из Копенгагена талантливый молодой астроном Оле Рёмер. Именно Рёмер нашёл решение этой сложнейшей задачи. О трудности задачи, а также гениальности самого решения свидетельствует абсолютное неприятие идеи Рёмера Парижской академией, настолько яростное, что даже Кассини отрёкся от своего ученика и сотрудника [1].

С тех пор многое изменилось. Имя О. Рёмера навсегда вошло в историю человечества, о нём не может не упомянуть ни один серьёзный учебник физики, оптики или астрономии, но удивляет уже разнообразие результатов, якобы полученных Рёмером.

Таблица 1.

Дата	Задержка	Результат	Источник
1666	22 мин	300000 км/с	Путилов К.А., Фабрикант В.А.
1675		300870 км/с	Чечулин В.Н.
1675			Майкельсон Р.
1676	22 мин	$3,012 \cdot 10^8$ м/с	Льёцци М.
1676		215000 км/с	Фриш С.Э., Тиморева А.В.
	1980 с	$301 \cdot 10^6$ м/с	Ландсберг Г.С.
	1320	$2,310^8$ м/с	Поль Р.
	22 мин	214300 км/с	Киттель Ч. и др.
1676		230000 км/с	Глюк И.
	1000 с	300000 км/с	Блудов М.И.
1676		215000 км/с	Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б.
1675			Васильев А., КВАНТ 2003, №3

Не менее «результатов» различны и объяснения способа их нахождения.

«...Рёмер обнаружил, что существует разница во временах затмения спутников, величина которой зависит от того, находились ли Земля и Юпитер по одну сторону от Солнца или по разные стороны от него. Из своих измерений он **вычислил** время, в течение которого свет проходит расстояние, равное диаметру земной орбиты... **Рёмер подсчитал, что время, за которое свет проходит этот путь, равно 22 мин (1320 сек)...**»[2].

«...Исторически впервые её величина была измерена астрономами Рёмером (1675 г.) и Бредлеем (1726г.). Измерения Рёмера могли быть произведены и дали достаточно точный результат благодаря огромным астрономическим расстояниям, прохождение которых требует больших промежутков времени, измеряемых сравнительно простыми методами» и далее: «...За то время, в течение которого Земля приближается на величину, равную диаметру земной орбиты, т.е. за полгода, общая **продолжительность всех обращений спутника** Юпитера на 17 минут больше истинной, которая находится, если вычислить ее по средней продолжительности для целого года»[3].

«...9 ноября 1676 датский астроном Оле Рёмер (1644-1710), наблюдая затмение одного из спутников Юпитера, заметил, что он появляется из тени планеты **на 10 мин позднее, чем это было в августе** того же года. Рёмер заключил, что различие это обусловлено конечной скоростью распространения света; на основании имевшихся в то время данных о диаметре орбиты Земли Рёмер получил для скорости света значение $c=2,12222 \cdot 10^{10}$ см/сек...»[4].

Нобелевский лауреат вообще не пытается раскрыть подход Рёмера, и пишет нейтрально и несколько туманно: «Рёмер, убеждённый в правильности закона тяготения, пришёл к интересному выводу, что для путешествия от спутников Юпитера до Земли свету требуется определённое время» [5]. Любопытно, что до закона тяготения оставался ещё добрый десяток лет...

Ещё загадочнее трактует «опыт» Рёмера автор такой прекрасной книги, как Р.В. Поль: «Открытие того, что скорость света имеет некоторую конечную постоянную величину, оказалось обстоятельством первостепенной важности. Оно было сделано в 1676 г. датчанином Олафом Рёмером. Рёмер производил астрономические наблюдения, и из них получил верное, по порядку величины, значение скорости света в вакууме. Его метод можно прекрасно продемонстрировать на опыте измерения скорости звука...»

Уже это вступление к рассказу о важнейшей идее в истории физики вызывает недоумение. Во-первых, дата: почему назван 1676 год, если в других источниках называется 1675-й, а в учебнике К.А. Путилова и В.А. Фабриканта даже 1666? Во-вторых, о каком вакууме могла идти речь в XVII веке, когда только что появился насос для опытов с разреженным воздухом, а общепринятым считалось, что «природа не терпит пустоты»? И самое главное – а зачем нужна звуковая аналогия, можно же сразу обсуждать периодический процесс в астрономии.

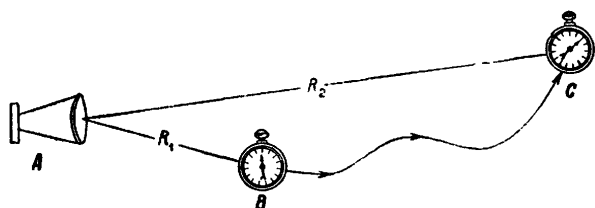


Рис 1. Опыт со скоростью звука [6]

А вот и это изложение акустической аналогии: «В *A* находится электрический автомобильный гудок, связанный с переключателем, снабжённым часовым механизмом. Каждые три секунды гудок подаёт короткий сигнал. В *B* стоит человек с секундомером, измеряющим время с точностью до 1/10 сек. Полный оборот стрелки этого секундомера происходит за три секунды. Секундомер пускается в ход при любом, выбранном наудачу сигнале. В момент прихода следующего сигнала стрелка часов, совершив полный оборот, оказывается опять стоящей на нуле. Затем человек переходит в точку *C*, двигаясь ПО ЛЮБОМУ ПУТИ, и увеличивает своё расстояние от источника звука на отрезок $D=R_2-R_1$, благодаря этому сигнал запаздывает относительно показаний стрелки секундомера. При $D=114$ м стрелка секундомера в момент прихода сигнала оказывается уже на 0,33 сек за нулевой точкой. Следовательно, скорость звука составляет $114:0,33=340$ м/сек». [6].

Нужна ли акустическая аналогия, если рассматривается световой сигнал при движениях с космическими скоростями?

Как раз теперь, переходя к астрономическому варианту этого эксперимента, автор [6] запутывает логику процесса и извращает руководящую мысль по примеру большинства других описаний: «Вместо звуковых сигналов Рёмер пользовался световыми сигналами, посылаемыми спутником Юпитера при выходе его из тени планеты. Интервал между этими сигналами равнялся 42,5 час, т.е. времени обращения спутника. Роль точек *B* и *C* у Рёмера играли ближайшая и наиболее удаленная от Юпитера точки земной орбиты, т.е. *D* равнялось диаметру земной орбиты $=3 \cdot 10^{11}$ м. В точку *C* сигнал приходил позже, чем в точку *B*, на 1320 сек. Отсюда Рёмер вычислил скорость света, получив значение $=2,3 \cdot 10^8$ м/сек».

Можно подумать, что через эти 1320 секунд Рёмер и увидел окончание того же самого затмения спутника, которое наблюдал, находясь на минимальном расстоянии от планеты, умалчивая о том, что за время перемещения Земли за полгода происходят около сотни затмений Ио.

Удивительные слова и числа встречаются нас в известнейшем учебнике [7]: «...Рёмер измерил промежутки времени T_1 и T_2 и нашел, что $T_1 - T_2 = 1980$ с. Но из написанных выше формул следует, что $T_1 - T_2 = 4r/c$, поэтому $c=4r/1980$ м/с. Принимая r , среднее расстояние от Земли до Солнца, равным $150 \cdot 10^6$ км, находим для скорости света значение: $c=301 \cdot 10^6$ км/с»

Тут нарушена простая арифметика! А всё остальное – невероятный туман и путаница.

Примеров легенд о Рёмере встречается слишком много, лучше всего обратиться к прямой цитате самого автора. «...Пусть *A* будет Солнце, *B* – Юпитер, *C* – первый спутник Юпитера, который входит в тень планеты; он выходит из нее в точке *D*; пусть EFGHLK – положения Земли на различных расстояниях от Юпитера.

Теперь предположим, что с Земли, находящейся в точке *L*, виден в момент выхода из тени в точке *D*; примерно 42½ часа спустя (т.е. после одного оборота этого спутника) с Земли, находящейся в точке *K*, виден спутник, возвратившийся в точку *D*. Ясно, что если свету требуется время, чтобы пройти расстояние *LK*, спутник будет виден в точке *D* позже, чем если бы Земля по-прежнему находилась в точке *L*»[8].

Здесь С.Р. Филонович перестаёт цитировать, а просто пересказывает со странными цифрами: Рёмер якобы делает оценку запаздывания, считая, что свету требуется одна секунда для прохождения расстояния, равного диаметру Земли, получая при этом 3,5 минуты. Заканчивается этот пассаж высказыванием Рёмера, что «такое различие не регистрируется»

Наиболее правдоподобно выглядит вся эта история в монографии [9].

«Было найдено, что интервал между затмениями принимает максимальное и минимальное значения через промежутки времени примерно в шесть месяцев. Разница между этими двумя значениями была совершенно несомненной – около 30 с, а затмения происходили достаточно часто – каждые 42 ¾ ч, так что можно было отчетливо видеть постепенное изменение интервала».

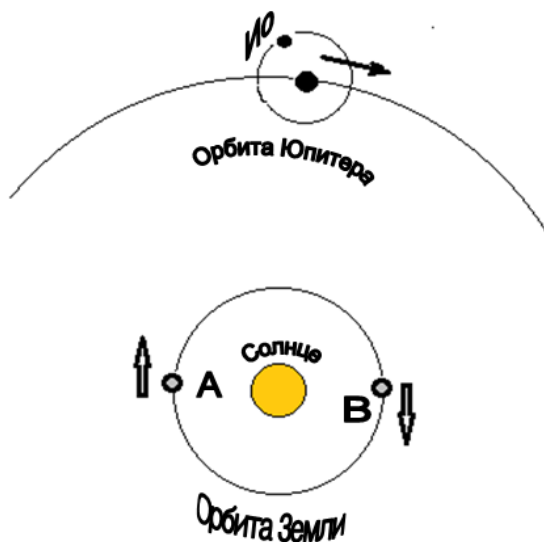


Рис 2. Схема наблюдений Рёмера

Сегодня мы можем представить, что при движении Земли на самой близкой к Юпитеру части своей орбиты наблюдаются несколько затмений Ио, и время оборота спутника практически не меняется, это те самые 42,5 часа. Дело в том, что год Юпитера почти в 12 раз больше земного и планета практически неподвижна. Но через четверть нашего года Земля удаляется от Юпитера по прямой, соединяющей центры планет, а скорость удаления легко вычислить или взять из астрономического справочника, - 30 км/с. Очевидно, за время оборота Ио мы улетим вдаль на $42,5 \cdot 3600 \cdot 30$ км, из-за чего и увидим окончание затмения на 15 секунд позже, чем это было бы при неподвижной Земле. Именно это и даёт скорость света порядка знаменитых 300000 км/с. Ещё через три месяца Земля будет двигаться практически «мимо» Юпитера, перпендикулярно направлению на него, и длительности очередных затмений снова будут одинаковыми, по 42,5 часа. После этого Земля повернёт и начнёт приближаться к Юпитеру, а периоды обращения Ио будут для наблюдателя уменьшаться. Через 3 месяца это уменьшение достигнет максимума, 15 секунд. И в это время года Земля приближается к Юпитеру на 4 с половиной миллиона километров за время одного оборота его первой луны. Поэтому все эти 16 минут, или 22, или даже 33 (по Ландсбергу) в литературе появились несколько позже работы Рёмера. Он же, как и все в мире, не знал ни размеров земной орби-

ты, ни орбитальной скорости нашей планеты, их измерения ещё впереди, в руках другого великого астронома Эдмунда Галлея. Рёмеру достаточно было понять, что все затмения ноября 1675 года дадут одну и ту же длительность периода обращения Ио вокруг Юпитера. Эту догадку вполне подтверждают слова И. Ньютона, одного из немногих современников Рёмера, кто понял и принял его идею: «Свет распространяется от светящихся тел во времени и тратит около семи или восьми минут часа на прохождение от Солнца к Земле. Это наблюдалось впервые Ремером, а затем и другими при помощи затмений спутников Юпитера. Ибо, когда Земля находится между Солнцем и Юпитером, эти затмения происходят семью или восемью минутами скорее, чем они должны были бы произойти по таблицам; когда Земля находится за Солнцем, затмения происходят семью или восемью минутами позже, чем должно; причина этого в том, что свет спутников должен пройти в последнем случае больше, чем в первом, на диаметр земной орбиты...»[10].

Наблюдения в астрономии семнадцатого века, измерения расстояний и времени были не менее трудны, чем понимание наблюдаемых явлений. А Рёмер не дал, скорее всего, никакой определённой величины скорости света, ему важно было только убедить весь научный мир в конечности этой важнейшей физической величины.

Библиографический список

1. Льюис М. История физики. М., МИР. 1970. 464с.
2. Толанский С. Удивительные свойства света. М., 1969.
3. Рожанский Д.А. Курс физики.. Часть 2. ОНТИ. Л.-М. 1935.
4. Дорфман Я.Г. Всемирная история физики. М., 1974.
5. Фейнман Р. Характер физических законов. М., 1968.
6. Поль Р.В. Введение в оптику. М.-Л., 1947.
7. Ландсберг Г.С. Оптика. М., Наука. 1976. С.419.
8. Филонович С. Самая большая скорость. М., 1985.
9. Липсон Г. Великие эксперименты в физике. М., МИР. 1973.
10. Ньютон И. Книга вторая оптики. Часть III. Предложение XI /в кн. Творцы физической оптики. М., 1973.

THE MYSTERY OF 1320 SECONDS

M.A. Starshov, S.V. Churochkina
Saratov State University

One episode of the physical history is discussed in the article.

ПРИМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ДИДАКТИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ОБУЧЕНИЯ АНГЛИЙСКОМУ ЯЗЫКУ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПЬЮТЕРА В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

И.А. Шаповалова

МОУ «Гимназия №31» Кировского района г. Саратова

Шаповалова Ирина Александровна, учитель английского языка высшей категории

Компьютер и Интернет играют важную роль в обучении английскому языку. В статье представлены основные дидактические принципы, которые являются наиболее характерными для преподавания иностранного языка с помощью компьютера.

В настоящее время в систему образования внедряется много новых технологий [1,2]. Но, к большому сожалению, в то же время можно заметить одну печальную закономерность. Смысл её в том, что оптимистичные и многообещающие прогнозы, касающиеся результатов их применения на начальном этапе, в последующем оказываются несостоятельными на практике [2]. Причина такой ситуации - завышенная оценка дидактических возможностей самих технических средств. Это приводит к попытке решать с их помощью нереальные педагогические задачи, и в результате - отторжение внедряемых технических средств практикой обучения. Чтобы этого не произошло разрабатывать технические основы обучения следует на глубоком анализе их дидактических возможностей [3].

Технология электронного представления информации и организация поиска и доступа к этой информации позволяют сами по себе эффективно решать некоторые частные дидактические задачи при обучении английскому языку.

Для того чтобы выучить иностранный язык необходимо овладеть большим количеством информации, как и при изучении родного языка. Но родной язык мы учим длительное время, а для иностранного языка нужно искать пути, позволяющие выучить его как можно быстрее. Следовательно, учащимся нужны большие накопители дидактического и справочного характера, которыми можно было бы легко пользоваться.

Электронные накопители информации, простые и эффективные технологии её организации и поиска позволяют применять очень большие объёмы лексической, грамматической, орфографической информации по изучаемому языку.

Если работать постоянно с компьютерными программами, то в данном случае могут реализоваться следующие дидактические возможности:

- 1) возможность систематической работы с учебной информацией;
- 2) возможность оперативного управления процессом обучения;
- 3) возможность интенсивной работы с компьютером.

При обучении с помощью компьютера сохраняются все закономерности учебного процесса, отражаемые в дидактических принципах [3].

В данной статье рассматриваются принципы, которые являются наиболее характерными для процесса преподавания английского языка. К ним относятся принципы: научности, сознательности, доступности, активности, систематичности и последо-

вательности, прочности усвоения, индивидуализации, наглядности.

Принцип научности при компьютерном обучении осуществляется в нескольких аспектах:

- в улучшении способов презентации и организации учебного материала с учётом закономерностей интеллектуальной деятельности человека;

- в оптимизации процесса отбора учебного материала на основе применения преподавателями автоматизированного анализа текстов;

- в повышении эффективности управления процессом усвоения знаний за счёт использования возможностей компьютера по регистрации параметров обучения.

Огромное достоинство компьютера как инструмента деятельности преподавателя в том, что благодаря постоянной регистрации параметров учебного процесса он позволяет подвергнуть анализу деятельность обучаемого, построив на этой основе индивидуальную систему управления обучением для каждого учащегося.

Принцип сознательности обеспечивается возможностью сознательного выбора обучаемым собственной стратегии достижения учебной цели, а также предоставлением обучаемому широкого спектра средств «поддержки» обучения, использование которых способствует повышению сознательности в действиях обучаемых и улучшению качества усвоенного материала.

Преимущество компьютера состоит в том, что он предоставляет новую информацию по запросу учащегося именно в тот момент, когда обучаемый осознаёт её необходимость. Поэтому усвоение материала происходит сознательно и характеризуется наиболее высокими показателями.

Принцип доступности реализуется с помощью ориентации процесса взаимодействия «человек - машина» на возрастные особенности пользователей, на их уровень владения иностранным языком и их навыки работы с компьютером. Можно даже сказать о том, что уровень доступности в процессе усвоения учебного материала повышается и за счёт широких возможностей компьютера предоставить учащимся вспомогательный справочный материал и информацию.

Принцип активности обучаемого естественно заложен в процессе компьютерного обучения, поскольку инициатором работы за компьютером является пользователь. В условиях компьютеризированного учебного процесса принцип активности обучаемого трансформируется в специфический для

компьютерной формы обучения принцип интерактивности.

Взаимодействие учащегося с компьютером должно быть интерактивным, т.е. обоюдно активным. Интерактивность проявляется в возможности участия в работе учащегося и компьютера в качестве равных партнёров при решении задач обучения и означает сознательную активность обучаемого, подкреплённую управляющей деятельностью компьютера. Интерактивное взаимодействие играет особую роль при обучении иностранным языкам, потому что активные формы взаимодействия вызывают значительно более высокую заинтересованность со стороны обучаемых, чем пассивные. Постоянное стимулирование активности обучаемых позволяет значительно повысить объём речевой практики. Именно поэтому интерактивность рассматривают как показатель дидактической эффективности компьютерной обучающей системы и выделяют в качестве требования к компьютерным обучающим программам.

Принцип систематичности и последовательности воплощается посредством управления учебной деятельностью через определённую, предусмотренную программой последовательность подачи порций системно организованного учебного материала, подлежащего усвоению.

Принцип прочности усвоения знаний, умений и навыков в условиях компьютеризированного учебного процесса приобретает практически гарантированный характер благодаря постоянной обратной связи, увеличению времени на индивидуальную тренировку, расширению возможностей самостоятельной работы для ликвидации пробелов в знаниях.

Принцип учёта индивидуальных особенностей учащихся наиболее полно может быть реализован именно при компьютерной форме обучения. Индивидуализация процесса обучения осуществляется благодаря мощному потенциалу компьютерных средств по адаптации к нуждам конкретного пользователя. Стало возможным учитывать не только возрастные особенности и уровень подготовки групп учащихся, но и индивидуальные психологические характеристики каждого обучаемого.

Принцип наглядности реализуется в форме представления материала, построенной на символических системах формы, цвета и текста. При компьютерной форме обучения расширяются дидактические функции наглядности, т.к. кроме традиционных функций семантизации, презентации и систематизации языкового материала, создания коммуникативных ситуаций и психологической атмосферы

Библиографический список

1. Копышева А.В. Современные методы обучения английскому языку. Минск, 2011.
2. Гершунский Б.С. Компьютеризация в сфере образования: проблемы и перспективы. М., 1987.
3. Колкова М.К. Методика обучения иностранным языкам. Санкт-Петербург. 2008.

USING OF BASIC DIDACTIC PRINCIPLES IN TEACHING OF ENGLISH LANGUAGE WITH THE HELP OF COMPUTER

I.A.Shapovalova.

Saratov Gymnasium № 31.

Computer and Internet play an important role in teaching English language. Basic didactic principles, which are the most common for teaching foreign languages with the help of computer and Internet are presented.

компьютер позволяет в рамках одного средства обучения реализовать практически все виды вербальной и невербальной наглядности за счёт использования:

- статических визуальных средств (тесты, фотографии, рисунки, схемы, графики, таблицы);
- динамических визуальных средств (мультипликация, видеодорожка);
- аудитивных средств (музыкальное, шумовое и текстовое сопровождение);
- их сочетаний (озвучивание предъявляемого на дисплее текста, видеофильм).

С точки зрения иностранного языка Интернет заслуживает особое внимание, во-первых, потому, что в его основе лежит общение, во-вторых, он может обеспечивать связь непосредственно с носителями изучаемого языка.

Преимущество Интернета наглядно проявляется, если сравнить характерные черты традиционного обучения и обучения с привлечением Интернета.

Традиционное обучение.

1. Линейный текст (только текст, нет других источников).
2. Нередкое отсутствие мотивации и заинтересованности.
3. Ограниченное количество информации, ограниченный выбор, часто устаревшие сведения.
4. Контроль преподавателя.
5. Общение с преподавателем.
6. Процесс обучения ограничивается рамками урока и домашнего задания.

Обучение с привлечением Интернета

1. Мультимедийный гипертекст (видео-, аудио- возможности, связь с большим количеством различных источников).
2. Высокая мотивация и заинтересованность
3. Неограниченное количество свежей информации, огромный выбор.
4. Самоконтроль и контроль преподавателя.
5. Возможность общения (синхронного/асинхронного) с носителем языка, знакомство с культурой страны и региона.
6. Значительное увеличение процесса обучения при наличии свободного доступа к Интернету.

В настоящее время постоянно растёт число людей, которые предпочитают ЭВМ как средство самостоятельного доступа к любой информации и самостоятельного изучения различных дисциплин, в том числе и иностранного языка. Поэтому использование современного потенциала высоких технологий актуально и оправданно.

О ПРОГРАММЕ КУРСА «АНАЛИЗ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ» ДЛЯ СТУДЕНТОВ-ФИЗИКОВ БАКАЛАВРИАТА.

А.С. Шаповалов, И.А. Ермолаев, А.В. Сапрыгин

Саратовский государственный университет,

Шаповалов Александр Степанович, д.ф.-м.н., профессор

Ермолаев Игорь Анатольевич, к.ф.-м.н., доцент

Сапрыгин Алексей Владимирович, заведующий учебно-исследовательской лабораторией кафедры прикладной физики

Представлены результаты разработки рабочей программы специального курса, соответствующего направлению подготовки бакалавров 011200 «Физика» и профилю подготовки «Прикладная физика».

Предлагаемая работа является продолжением запланированного кафедрой прикладной физики Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского цикла публикаций о рабочих программах специальных курсов и практик для студентов-физиков бакалавриата. Как уже отмечали авторы в своих статьях, опубликованных ранее в сборнике «Вопросы прикладной физики» (2011. Вып.18; 2012. Вып. 19.), современный этап развития высшей школы в России характеризуется, прежде всего, постепенным переходом от системы специалитета к новой, соответствующей мировым требованиям двухуровневой системе образования - бакалавриату и магистратуре. Утверждение приказами Министерства образования и науки Российской Федерации новых федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования, регламентирующих подготовку выпускников квалификаций «бакалавр» (приказ № 711 от 08.12.2009) и «магистр» (приказ № 637 от 18.11.2009) вызвало необходимость создания основных образовательных программ и учебных планов, соответствующих всем требованиям указанных стандартов. Основная образовательная программа высшего профессионального образования и рабочий учебный план подготовки бакалавров по направлению 011200 «Физика» (профиль подготовки «Прикладная физика»), реализуемые на физическом факультете Саратовского государственного университета, предусматривают разработку новых рабочих программ общих и специальных курсов и практик. В данной статье приводятся результаты разработки на кафедре прикладной физики СГУ рабочей программы по специальному курсу «Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики» для студентов-физиков бакалавриата. Программа соответствует требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования, положениям основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению 011200 «Физика» (профиль подготовки «Прикладная физика»).

Одной из важнейших компонент подготовки современного бакалавра является освоение теоретических и экспериментальных методов исследования физических процессов. По этой причине в учебный план подготовки бакалавра по профилю «Прикладная физика» введён блок из следующих четырёх дисциплин радиоэлектронной направленности: «Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики», «Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники», «Импульсные сигналы в системах прикладной физики», «Импульсные устройства прикладной физики». Курс «Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики» открывает этот блок. В общетеоретическом плане необходимость постановки такого курса обусловлена тем, что многие реальные физические процессы, с которыми столкнётся выпускник факультета в своей профессиональной деятельности, нестационарны. С прикладной точки зрения актуальность курса вызывается тем, что нестационарные процессы лежат в основе формирования импульсных сигналов, которые широко применяются современной прикладной физике и радиоэлектронике.

В рамках этого курса студенты осваивают основные методы анализа переходных и импульсных процессов, возможности этих методов, эффективность их применения. Знание указанных методов необходимо для расчета и конструирования современной импульсной аппаратуры экспериментальной физики и решения многих задач современной инженерной и исследовательской практики. Теоретический курс сопровождается лабораторными занятиями в компьютерном практикуме по моделированию переходных процессов в электрических цепях.

Одним из инициаторов и активным участником разработки программ радиоэлектронного блока был заведующий учебно-исследовательской лабораторией кафедры прикладной физики Сапрыгин Алексей Владимирович. К сожалению, он рано ушёл из жизни. Но успел сделать многое. Публикациями в данном выпуске сборника, кафедра прикладной физики выражает ему глубокую благодарность и надеется, что они послужат знаком доброй памяти о нём.

Ниже приводится текст 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



Рабочая программа дисциплины
Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики

Направление подготовки
011200 "Физика"

Профиль подготовки
Прикладная физика

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения - очная

Саратов
2011

1. Цели освоения дисциплины

Широкое применение электрических импульсов в современной радиоэлектронике и прикладной физике требует глубокого освоения студентами методов расчетов переходных и импульсных процессов, поэтому курс лекций “Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики” является одной из базовых дисциплин в системе подготовки бакалавров по профилю “Прикладная физика” направления 011200 “Физика”.

В данной дисциплине студенты третьего курса (5 семестр) изучают основные методы анализа переходных и импульсных процессов, включая расчеты на ЭВМ с использованием современного программного обеспечения. Рассматриваются возможности методов, их достоинства и ограничения, примеры эффективного применения. Без такого изучения невозможен расчет и конструирование современной импульсной аппаратуры экспериментальной физики. В одних случаях переходные процессы в электрических цепях нежелательны и опасны (например, при коротких замыканиях в энергетических системах). В других случаях переходный процесс представляет собой естественный, нормальный режим работы цепи, как это, например, имеет место в радиопередающих и радиоприемных устройствах, системах автоматического регулирования и других цепях.

Учебный материал дисциплины обеспечивает надёжные знания основных методов анализа переходных и импульсных процессов в электрических цепях, которые необходимы для большинства случаев современной инженерной и исследовательской практики.

Теоретический курс сопровождается лабораторными занятиями в компьютерном практикуме по моделированию переходных процессов в электрических цепях.

Цель курса – изучение студентами основ классической теории нестационарных процессов в электрических цепях.

Задача курса – сформировать у студентов твердое представление о методах анализа переходных и импульсных процессов в электрических цепях, выработать навыки их практического применения с использованием современных компьютерных средств.

Цели и задачи курса отвечают задачам профессиональной подготовки бакалавров по направлению 011200 “Физика” по освоению методов научных исследований и их применению в инновационной деятельности.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина входит в вариативную часть профессионального цикла профиля “Прикладная физика” направления 011200 “Физика” в качестве курса обязательного изучения.

Данный курс интегрирован в систему специальных курсов, разработанных на кафедре прикладной физики, имеющих целью подготовку бакалавров 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 изучения курса студенты могут использовать возможности теории переходных (нестационарных) процессов при расчёте и исследовании разнообразных импульсных радиоэлектронных устройств и систем прикладной физики. Полученные знания необходимы студентам и для изучения последующих курсов современной радиоэлектроники (в том числе и импульсной) как в бакалавриате, так и в магистратуре.

Для освоения курса необходимы знания основ теории электричества и магнетизма, радиоэлектронных аспектов теории автоматического управления, методов математического анализа, теории дифференциальных уравнений, теории функций комплексных переменных и операционного исчисления.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины.

Освоение курса способствует формированию следующих компетенций:

ПК-3 – способность эксплуатировать современную физическую аппаратуру и оборудование;

ПК-4 – способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (в соответствии с профилем подготовки);

ПК-6 – способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки).

В результате изучения дисциплины студент должен

знать:

- основные понятия и законы теории нестационарных процессов;
- физические процессы в электрических цепях в переходном режиме;
- методы расчета переходных процессов в электрических системах прикладной физики;
- специфические вопросы анализа переходных процессов с использованием современных компьютерных средств.

уметь:

- использовать возможности теории цепей при расчёте и исследовании импульсных радиоэлектронных устройств;
- применять методы анализа электрических цепей в переходном режиме
- работать с современной, классической и справочной литературой по импульсной технике и теории нестационарных процессов.

владеть:

- методами анализа радиоэлектронных систем прикладной физики в переходном и импульсном режимах;
- основами моделирования радиотехнических процессов и систем в переходном и импульсном режимах.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы 144 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекции	лаборат.	самост. работа	
1	Введение	5	1	2		6	
2	Классический метод расчета переходных процессов	5	2 - 5	8		6	Устный опрос (собеседование) УО-1
3	Операторный метод расчета переходных процессов	5	6 – 9	8		6	Устный опрос (собеседование) УО-1
4	Интегралы наложения	5	10 – 12	6		6	Устный опрос (собеседование) УО-1 Контрольная работа ПР - 2
5	Расчет переходных процессов на ЭВМ	5	13 - 15	6		6	Устный опрос (собеседование) УО-1
6	Спектральный метод расчета	5	16 - 18	6		6	Устный опрос (собеседование) УО-1
7	Итого:			36	36	36	Экзамен

*Содержание учебной дисциплины***Введение**

Предмет курса. Специфика расчета переходных процессов в электрических цепях. Применяемые методы расчета. Коммутационные и импульсные переходные процессы.

1. Классический метод расчета

1.1 Законы коммутации

1.2 Принужденные и свободные токи и напряжения. Виды начальных условий. Определение зависимых и независимых начальных условий.

1.3 Корни характеристического уравнения. Расчет переходных процессов при мгновенном изменении параметров цепи.

1.4 Расчет переходных процессов в RL, RC, RLC – цепях при постоянном и гармоническом воздействиях.

1.5 Расчет переходных процессов классическим методом в сложной цепи. Пример расчета.

1.6 Расчет переходных процессов классическим методом в цепи со взаимной индукцией.

2. Операторный метод расчета

2.1 Преобразования Лапласа и Карсона. Условие существования изображения. Изображения функций. Преобразование изображений.

2.2 Предельные соотношения. Основные свойства преобразования Лапласа. Теоремы смещения, запаздывания, подобия и свертывания. Операционные сопротивления и проводимость.

2.3 Законы Кирхгофа и Ома в операторной форме.

2.4 Теорема разложения. Сведение расчетов переходных процессов к нулевым начальным условиям. Примеры применения операторного метода.

3. Метод наложения. Интегралы наложения

3.1 Расчет импульсных процессов. Импульсные ЭДС и системы. Скачкообразные функции. Дельта-функция. Переходные и импульсные характеристики. Суммирование переходных проводимостей и сопротивлений. Связь переходных сопротивлений с переходными проводимостями.

3.2 Расчет переходных характеристик. Формула включения.

3.3 Произвольное воздействие и интеграл Дюамеля.

3.4 Применение различных переходных функций в интеграле Дюамеля.

3.5 Интегралы наложения и их применение.

3.6 Примеры расчета импульсных процессов с помощью интегралов наложения.

*Контрольная работа***4. Расчет переходных процессов с помощью ЭВМ**

4.1 Понятие о методах численного интегрирования дифференциальных уравнений состояния. Методы Рунге-Кутты, метод Эйлера, их модификации.

4.2 Метод переменных состояния.

4.3 Нормирование параметров уравнений и начальных условий, обобщенные решения уравнений. Точность расчета. Устойчивость решения.

4.4 Расчет переходных процессов с помощью программ Mathcad 2000, Micro – Cap 7, Electronics Workbench. Пример численного расчета сложной цепи на ЭВМ.

5. Спектральный метод расчёта переходных процессов

5.1 Ряды и интеграл Фурье. Условия преобразования Фурье и его свойства. Связь преобразований Фурье и Лапласа. Частотные и фазовые характеристики, их связь.

5.2 Расчет переходных процессов в двухполюсных и четырехполюсных цепях спектральным методом.

5.3 Влияние полосы пропускания на искажение импульсного сигнала. Условия неискаженной передачи сигнала.

5.4 Влияние ограничения полосы пропускания на фронт ступенчатого напряжения и передачу прямоугольного импульса.

5. Образовательные технологии

При проведении занятий и организации самостоятельной работы студентов 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; 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 видеоинформацией. 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 процессе изучения теоретических разделов курса 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 предмете. 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.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

6.1 Вопросы для самостоятельной работы студентов и текущего контроля успеваемости

1. Законы коммутации и начальные условия при переходных процессах в электрических цепях.
2. Переходные процессы в резистивно - индуктивных и резистивно – емкостных цепях. Постоянная времени.
3. Переходные процессы в последовательном контуре.
4. Расчет переходных процессов при мгновенном изменении параметров цепи.
5. Принужденные и свободные токи и напряжения.
6. Преобразования Лапласа и Карсона.
7. Законы Кирхгофа и Ома в операторной форме при ненулевых начальных условиях.
8. Теоремы смещения, запаздывания, подобия и свертывания. Теорема разложения.
9. Определение отклика цепи по его операционному изображению.
10. Переходные и импульсные характеристики электрической цепи.
11. Интеграл Дюамеля.
12. Расчет переходных характеристик.
13. Расчет переходных процессов в электрических цепях с помощью интегралов наложения.
14. Методы Рунге-Кутты
15. Метод переменных состояния
16. Нормирование параметров уравнений и начальных условий.
17. Точность расчета.
18. Устойчивость решения.
19. Ряды и интеграл Фурье.
20. Связь преобразований Фурье и Лапласа.
21. Частотные и фазовые характеристики, их связь.
22. Влияние полосы пропускания на искажение импульсного сигнала.
23. Условия неискаженной передачи сигнала.
24. Влияние ограничения полосы пропускания на фронт ступенчатого напряжения и передачу прямоугольного импульса.

6.2 Экзаменационные билеты

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО
Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики*

Экзаменационный билет № 01

1. Законы коммутации и начальные условия при переходных процессах в электрических цепях.

2. Интеграл Дюамеля.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО
Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики*

Экзаменационный билет № 02

1. Переходные процессы в резистивно - индуктивных и резистивно – емкостных цепях. Постоянная времени.

2. Расчет переходных характеристик.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО
Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики*

Экзаменационный билет № 03

1. Переходные процессы в последовательном контуре.

2. Нормирование параметров уравнений и начальных условий.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО
Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики*

Экзаменационный билет № 04

1. Принужденные и свободные токи и напряжения.

2. Связь преобразований Фурье и Лапласа.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО
Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики*

Экзаменационный билет № 05

1. Ряды и интеграл Фурье.

2. Методы Рунге-Кутты

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*Дисциплина *Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики***Экзаменационный билет № 06**

1. Преобразования Лапласа и Карсона.
2. Влияние полосы пропускания на искажение импульсного сигнала.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*Дисциплина *Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики***Экзаменационный билет № 07**

1. Законы Кирхгофа и Ома в операторной форме при ненулевых начальных условиях.
2. Нормирование параметров уравнений и начальных условий.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*Дисциплина *Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики***Экзаменационный билет № 08**

1. Переходные и импульсные характеристики электрической цепи.
2. Условия неискаженной передачи сигнала.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*Дисциплина *Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики***Экзаменационный билет № 09**

1. Теоремы смещения, запаздывания, подобия и свертывания. Теорема разложения.
2. Частотные и фазовые характеристики, их связь.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*Дисциплина *Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики***Экзаменационный билет № 10**

1. Устойчивость решения.
2. Влияние ограничения полосы пропускания на фронт ступенчатого напряжения и передачу прямоугольного импульса.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*

Дисциплина *Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики*

Экзаменационный билет № 11

1. Ряды и интеграл Фурье.
2. Расчет переходных процессов при мгновенном изменении параметров цепи.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*

Дисциплина *Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики*

Экзаменационный билет № 12

1. Расчет переходных процессов в электрических цепях с помощью интегралов наложения.
2. Принужденные и свободные токи и напряжения.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*

Дисциплина *Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики*

Экзаменационный билет № 13

1. Частотные и фазовые характеристики, их связь.
2. Теоремы смещения, запаздывания, подобия и свертывания. Теорема разложения.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*

Дисциплина *Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики*

Экзаменационный билет № 14

1. Законы Кирхгофа и Ома в операторной форме при ненулевых начальных условиях.
2. Связь преобразований Фурье и Лапласа.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*

Дисциплина *Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики*

Экзаменационный билет № 15

1. Переходные процессы в последовательном контуре.
2. Определение отклика цепи по его операционному изображению.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО
Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики*
Экзаменационный билет № 16
1. Расчет переходных процессов в электрических цепях с помощью интегралов наложения.
2. Условия неискаженной передачи сигнала.
Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО
Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики*
Экзаменационный билет № 17
1. Теоремы смещения, запаздывания, подобия и свертывания.
2. Принужденные и свободные токи и напряжения.
Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО
Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Анализ нестационарных процессов в системах прикладной физики*
Экзаменационный билет № 18
1. Теорема разложения.
2. Методы Рунге-Кутты
Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО
Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина
Экзаменационный билет № 19
1. Ряды и интеграл Фурье.
2. Переходные и импульсные характеристики электрической цепи.
Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО
Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина
Экзаменационный билет № 20
1. Расчет переходных процессов при мгновенном изменении параметров цепи.
2. Нормирование параметров уравнений и начальных условий.
Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор А.С. Шаповалов

Экзаменационный билет № 21

1. Метод переменных состояния
2. Нормирование параметров уравнений и начальных условий.

Заведующий кафедрой –

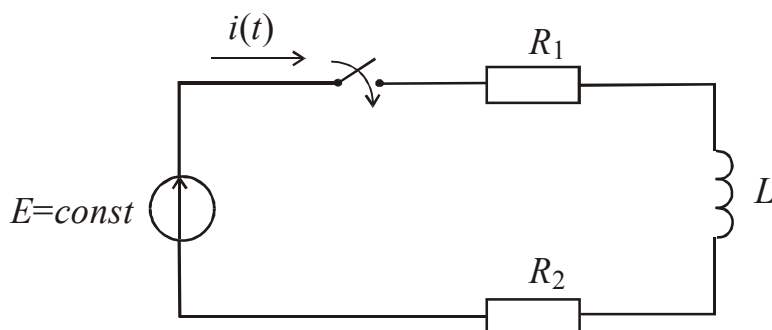
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

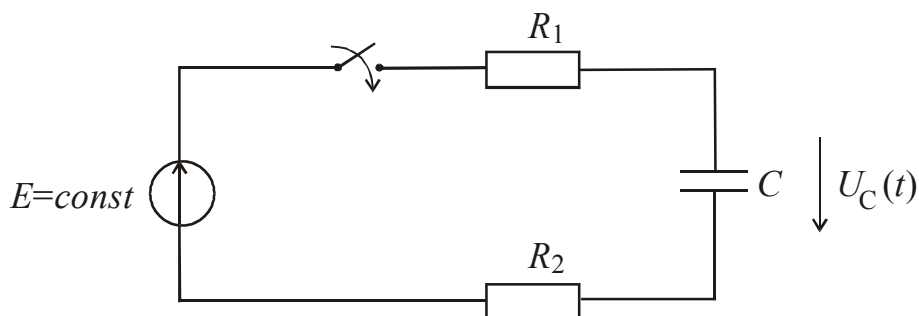
6.3 Задания для контрольных работ

1. Рассчитать классическим методом переходные токи $i(t)$ и переходные напряжения на элементах в цепях:

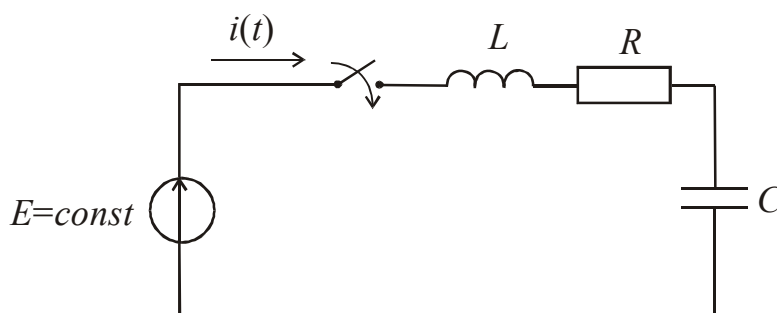
а.



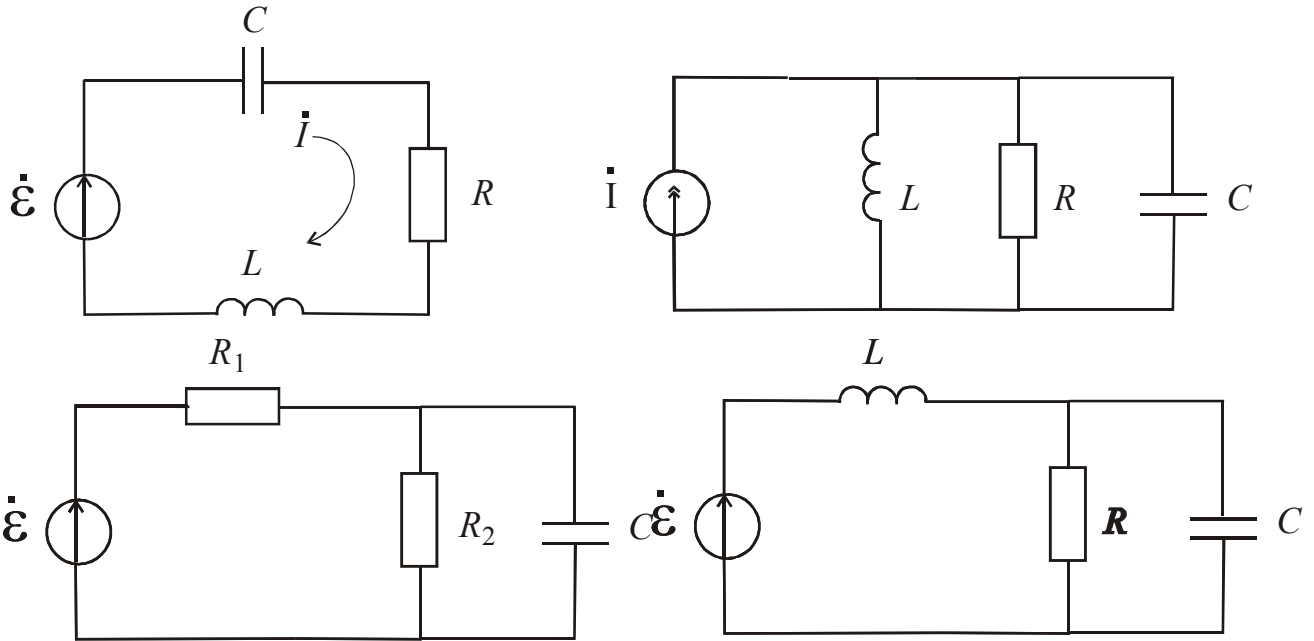
б.



в.



2. Найти операционное сопротивление цепей при нулевых начальных условиях:



7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Демирчян К.С., Нейман Л.Р. и др. Теоретические основы электротехники. В 3-х т. 4 изд. СПб., «Питер», 2003 г.
2. Хохлов А.В. Теоретические основы радиоэлектроники. Саратов, изд. Саратовского госуниверситета, 2005. 256с.
3. Татур Т.А., Татур В.Е. Установившиеся и переходные процессы в электрических цепях. М., Высшая школа, 2001, 407с.
4. Прянишников В.А. Теоретические основы электротехники, -Сп-б, «КОРОНА принт», 2000, 368 с.
5. Каштанов В.В., Сапрыгин А.В. Импульсы двойной формирующей линии // Электротехника, 2001, № 8, С. 16 – 20.
6. Сапрыгин А.В., Каштанов В.В. Импульсы двойной искусственной линии с активными потерями энергии // Труды 8 международного совещания: «Динамика и оптимизация пучков». - Саратов: 25 – 29 июня 2001. - С. 145 – 149.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Матханов П.Н. Основы анализа электрических цепей. М., «Связь», 1986 г.
2. Татур Т.А. Основы теории электрических цепей. М., «Высшая школа», 1980 г.
3. Лосев А.К. Теория линейных электрических цепей. М., «Высшая школа», 1987 г.
4. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Ч. 1, М., «Энергия», 1970 г.
5. Зевеке Г.В. и др. Основы теории цепей. М., «Энергия», 1975 г.
6. Нейман Л.Р., Демирчян Н.С. Теоретические основы электротехники, ч.1, Л., «Энергия», 1975 г.
7. Канторович М.И. Операционное исчисление и процессы в электрических цепях. М., «Сов. радио», 1975 г.
8. Гинзбург С.Г. Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях. М., «Сов. радио», 1970 г.
9. Каштанов В.В. Форма импульсов однородных искусственных линий без потерь // Известия вузов СССР. Радиоэлектроника. 1976. Т.19. № 7.С.51-58.
10. Ильин В.Н. Основы автоматизации схемотехнического проектирования. М., «Энергия», 1979 г.
11. Ильин В.Н. Машинное проектирование электронных схем. М., «Энергия», 1972 г.
12. Шебес М.Р. Теория линейных электрических цепей в упражнениях и задачах. М., «Высшая школа», 1973
13. Демирчян К.С., Бутырин П.А. Моделирование и машинный расчет электрических цепей. М.: Высшая школа, 1988. 335 с.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Учебная и монографическая литература
2. Научные статьи
3. Электронные лекции (презентации)
4. Мультимедийное оборудование
5. Компьютерные демонстрационные 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 СГУ

профессор, д.ф.-м.н. _____ В.М. Аникин

ON THE PROGRAM OF THE COURSE «ANALYSIS
OF NON-STATIONARY PROCESSES IN SYSTEMS OF APPLIED PHYSICS»
FOR BACHELOR PHYSICS STUDENTS

A.S. Shapovalov, I.A. Yermolayev, A.V. Saprygin

Saratov State University

It is represented the results of development of the work program of a special course, which corresponds to the bachelor direction training 011200 «physics» and profile of learning «applied physics».

УДК 530 (075.8)

О ПРОГРАММЕ КУРСА «ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ,
ИМПУЛЬСНОЙ И АНАЛОГОВОЙ СХЕМОТЕХНИКИ»
ДЛЯ СТУДЕНТОВ-ФИЗИКОВ БАКАЛАВРИАТА.

А.С. Шаповалов, И.А. Ермолаев, А.В. Сапрыгин

Саратовский государственный университет,

Шаповалов Александр Степанович, д.ф.-м.н., профессор

Ермолаев Игорь Анатольевич, к.ф.-м.н., доцент

Сапрыгин Алексей Владимирович, заведующий учебно-исследовательской лабораторией кафедры прикладной физики

Представлены результаты разработки рабочей программы специального курса, соответствующего направлению подготовки бакалавров 011200 «Физика» и профилю подготовки «Прикладная физика».


Предлагаемая работа представляет результаты разработки на кафедре прикладной физики Саратовского государственного университета рабочей программы по специальному курсу «Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники» для студентов-физиков бакалавриата. Программа соответствует требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования, положениям основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению 011200 «Физика» (профиль подготовки «Прикладная физика»). Курс относится к блоку дисциплин радиоэлектронной направленности.

Актуальность такого курса обуславливается широтой применения цифровой, импульсной и аналоговой аппаратуры в современной прикладной физике и радиоэлектронике. В рамках этого курса студенты изучают работу современных генерирующих, формирующих, преобразующих, передающих и других радиоэлектронных устройств различного назначения, их схемное построение и расчет, то есть осваивают основы современной цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники. Теоретическая часть курса сопровождается лабораторными занятиями в компьютерном практикуме по моделированию импульсных процессов в электрических устройствах.

Ниже приводится текст 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
" 30 " августа 20 11 г.
Физич-397



Рабочая программа дисциплины
Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники

Направление подготовки
011200 "Физика"

Профиль подготовки
Прикладная физика

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения - очная

Саратов
2011

1. Цели освоения дисциплины

Широкое применение цифровой, импульсной и аналоговой аппаратуры в современной радиоэлектронике и прикладной физике требует глубокого освоения студентами методов проектирования, анализа и моделирования генераторов, усилителей, преобразователей, передатчиков, приемников и т.д. различных электрических сигналов. Поэтому курс лекций “Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники” является одной из базовых дисциплин при подготовке бакалавров по профилю “Прикладная физика” направления 011200 “Физика”.

В данной дисциплине студенты третьего курса (6 семестр) изучают работу современных генерирующих, формирующих, преобразующих, передающих и других радиоэлектронных устройств различного назначения, их схемное построение и расчет. Рассматриваются достоинства и недостатки устройств, примеры их эффективного применения в системах прикладной физики. Изучаются физические процессы, происходящие при формировании и преобразовании электрических сигналов, а также методы моделирования этих процессов с использованием современного программного обеспечения.

Учебный материал дисциплины обеспечивает надёжные знания по проектированию, расчету и моделированию современных цифровых, импульсных и аналоговых устройств, необходимые для большинства случаев современной инженерной и исследовательской практики.

Теоретический курс сопровождается лабораторными занятиями в компьютерном практикуме по моделированию импульсных процессов в электрических устройствах.

Цель курса – изучение студентами основ современной цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники.

Задача курса – сформировать у студентов твердое представление о современных формирующих, генерирующих, передающих и других радиоэлектронных устройствах прикладной физики, выработать навыки их практического применения и анализа с использованием современных компьютерных средств.

Цели и задачи курса отвечают задачам профессиональной подготовки бакалавров по направлению 011200 “Физика” по освоению методов научных исследований и их применению в инновационной деятельности.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина входит в вариативную часть профессионального цикла профиля “Прикладная физика” направления 011200 “Физика” в качестве курса обязательного изучения.

Данный курс интегрирован в систему специальных курсов, разработанных на кафедре прикладной физики, имеющих целью подготовку бакалавров 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 изучения курса студенты могут использовать возможности современной схемотехники и свои знания теоретических основ электро- и радиотехники при проектировании, анализе и моделировании различных радиоэлектронных устройств и систем прикладной физики. Полученные знания необходимы студентам и для изучения последующих курсов современной радиоэлектроники как в бакалавриате, так и в магистратуре.

Для освоения курса необходимы знания основ теории электричества и магнетизма, радиоэлектронных аспектов теории автоматического управления, методов математического анализа, теории дифференциальных уравнений и основ моделирования физических процессов.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины.

Освоение курса способствует формированию следующих компетенций:

- ПК-3 – способность эксплуатировать современную физическую аппаратуру и оборудование;
- ПК-4 – способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (в соответствии с профилем подготовки);
- ПК-6 – способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки).
- ПК-8 – способность понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований.
- ПК-10 – способность понимать и излагать получаемую информацию и представлять результаты физических исследований.

В результате изучения дисциплины студент должен **знать:**

- структуру, принципы построения и достигнутые параметры основных современных цифровых, импульсных и аналоговых устройств прикладной физики;
- сведения об измерительных устройствах в радиоэлектронике;
- вопросы проектирования, анализа и моделирования цифровых, импульсных и аналоговых устройств с использованием современных компьютерных средств;

уметь:

- использовать возможности теории электрических цепей при анализе и проектировании цифровых, импульсных и аналоговых устройств;
- использовать эквивалентные схемы радиоэлектронных устройств;
- работать с современной, классической и справочной литературой по схемотехнике;

владеть:

- современными методами анализа радиоэлектронных устройств прикладной физики;
- основами моделирования радиотехнических устройств и систем;
- основами проектирования цифровых, импульсных и аналоговых устройств.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы 144 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекции	лаборат.	самост. работа		
1	Введение	6	1	2	2	4		
2	Мультивибраторы	6	2	2	2	12		Устный опрос (собеседование) УО-1
3	Триггеры	6	3	2	2	8		Устный опрос (собеседование) УО-1
4	Трансформатор	6	4	2	2	8		Устный опрос (собеседование) УО-1
5	Электронные приборы	6	5	2	2	12		Устный опрос (собеседование) УО-1
6	Усилители электрических сигналов	6	6	2	2	12		Устный опрос (собеседование) УО-1 Контрольная работа ПР – 2
7	Электрические измерения	6	7	2	2	12		Устный опрос (собеседование) УО-1
8	Электрооборудование	6	8	2	2	8		Устный опрос (собеседование) УО-1
	Итого:			16	16	76		Экзамен

Содержание учебной дисциплины**1. Введение**

Общие сведения об импульсных процессах. Импульсный режим работы устройств, его особенности, основные характеристики и методы осуществления. Форма и параметры импульсов. Применение импульсных устройств.

2. Мультивибраторы

Режимы работы. Области применения. Ждущие мультивибраторы с коллекторно-базовыми связями. Схема, принцип действия, основные соотношения. Автоколебательные мультивибраторы с коллекторно-базовыми связями. Принцип действия, основные соотношения. Методы улучшения характеристик мультивибраторов. Ждущий мультивибратор с эмиттерной связью. Типовые схемы мультивибраторов.

3. Триггеры

Общие сведения. Симметричный транзисторный триггер. Принцип работы. Статические режимы. Влияние нагрузки на устойчивость работы триггера. Триггер с автоматическим смещением. Переключение и повышение быстродействия триггера. Схемы запуска триггеров. Несимметричный транзисторный триггер (с эмиттерной связью). Статические режимы. Переходные процессы. Расчет и применение триггеров с эмиттерной связью.

4. Трансформатор

Линейный трансформатор. Эквивалентные и приведенные Т и П схемы трансформатора. Рассеяние магнитной энергии. Идеальный и совершенный трансформаторы. Входное сопротивление трансформатора. Трансформатор с ферросердечником. Влияние петли гистерезиса сердечника. Вихревые токи.

5. Электронные приборы

1. Вакуумный и полупроводниковый диоды. Их параметры и характеристики. Полупроводники р и n проводимости. Стабилитроны, стабилитроны и варикапы. Их применения. Стабилизация напряжения с помощью стабилитрона. Выпрямление переменных токов. Схемы и работа выпрямителей широкого применения.

2. Параметры выпрямителей. Выпрямители с емкостно-резистивной нагрузкой. Сглаживающие фильтры: Г-фильтр, П-фильтр. Электронные лампы. Их применение и характеристики. Полупроводниковые приборы. Биполярные и полевые транзисторы. Их параметры и характеристики. МОП и МДП транзисторы. Тиристоры.

6. Усилители электрических сигналов

Классификация усилителей. Основные параметры и характеристики. Режимы работы усилителей. Способы включения транзистора. Триодный усилитель. Усилительный каскад на биполярном транзисторе. Его эквивалентная схема, параметры усиления и частотная характеристика. Физические факторы ограничения частотной характеристики.

7. Электрические измерения

Погрешности измерения и классы приборов. Системы измерительных приборов. Электромагнитные, магнитоэлектрические, электродинамические, электростатические, термоэлектрические, индукционные, электронные и цифровые измерительные приборы. Электронный осциллограф. Измерения токов и напряжений в цепях и элементах. Измерения мощности и сопротивления. Мостовые методы измерений. Измерение неэлектрических величин.

8. Электрооборудование

1. Электрогенераторы и электродвигатели. Машины постоянного тока. Генераторы постоянного тока. Двигатели постоянного тока. Принципы их работы.

2. Электропривод.

5. Образовательные технологии

При проведении занятий и организации самостоятельной работы студентов используются и традиционные технологии обучающего обучения, предполагающие передачу информации в готовом виде. К ним относятся: аудиторное занятие в форме лекций с использованием лекционных демонстрационных опытов; практические занятия (семинары), где студенты решают задачи, используя современное программное обеспечение персональных компьютеров; 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 аудиторное занятие. Они также формируют умения систематизировать, обобщать, извлекать из учебно-методической литературы значимую информацию и т.п.

В процессе изучения теоретических разделов курса 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 предмете. 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.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**6.1 Вопросы для самостоятельной работы студентов и текущего контроля успеваемости**

1. Ждущие мультивибраторы с коллекторно-базовыми связями.
2. Автоколебательные мультивибраторы с коллекторно-базовыми связями.
3. Ждущий мультивибратор с эмиттерной связью.
4. Симметричный транзисторный триггер.
5. Влияние нагрузки на устойчивость работы триггера.
6. Триггер с автоматическим смещением.
7. Переключение и повышение быстродействия триггера.
8. Несимметричный транзисторный триггер.
9. Расчет и применение триггеров с эмиттерной связью.
10. Линейный трансформатор.
11. Эквивалентные и приведенные Т и П схемы трансформатора.
12. Рассеяние магнитной энергии.
13. Идеальный и совершенный трансформаторы.

14. Трансформатор с ферросердечником. Влияние петли гистерезиса сердечника. Вихревые токи.
15. Вакуумный и полупроводниковый диоды. Их параметры и характеристики.
16. Полупроводники р и n проводимости.
17. Стабилитроны, стабилитроны и варикапы. Их применения. Стабилизация напряжения с помощью стабилитрона.
18. Выпрямление переменных токов. Схемы и работа выпрямителей широкого применения. Параметры выпрямителей. Выпрямители с емкостно-резистивной нагрузкой.
19. Сглаживающие фильтры: Г-фильтр, П-фильтр.
20. Электронные лампы. Их применение и характеристики.
21. Полупроводниковые приборы. Биполярные и полевые транзисторы. Их параметры и характеристики.
22. МОП и МДП транзисторы.
23. Тиристоры.
24. Классификация усилителей. Основные параметры и характеристики.
25. Режимы работы усилителей.
26. Способы включения транзистора. Триодный усилитель.
27. Усилительный каскад на биполярном транзисторе. Его эквивалентная схема, параметры усиления и частотная характеристика. Физические факторы ограничения частотной характеристики.
28. Погрешности измерения и классы приборов.
29. Системы измерительных приборов. Электромагнитные, магнитоэлектрические, электродинамические, электростатические, термоэлектрические, индукционные, электронные и цифровые измерительные приборы.
30. Электронный осциллограф. Измерения токов и напряжений в цепях и элементах.
31. Измерения мощности и сопротивления.
32. Мостовые методы измерений.
33. Измерение неэлектрических величин.

6.2 Экзаменационные билеты

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра

Прикладной физики

Дисциплина

Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники

Экзаменационный билет № 01

1. Форма и параметры импульсов.
 2. Расчет и применение триггеров с эмиттерной связью.
- Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра

Прикладной физики

Дисциплина

Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники

Экзаменационный билет № 02

1. Несимметричный транзисторный триггер.
 2. Диодно-резисторный ключ.
- Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра

Прикладной физики

Дисциплина

Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники

Экзаменационный билет № 03

1. Многоходовые диодно - резисторные ключи.
 2. Переключение и повышение быстродействия триггера.
- Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО
Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники*
Экзаменационный билет № 04

1. Симметричный транзисторный триггер.
2. Диодно - трансформаторные ключи.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО
Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники*
Экзаменационный билет № 05

1. Применение диодных ключей для измерений параметров формы импульсов.
2. Ждущий мультивибратор с эмиттерной связью.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО
Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники*
Экзаменационный билет № 06

1. Автоколебательные мультивибраторы с коллекторно-базовыми связями.
2. Длительности включения и выключения транзисторных ключей.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО
Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники*
Экзаменационный билет № 07

1. Методы увеличения скорости переключения транзистора.
2. Автоколебательные мультивибраторы с коллекторно-базовыми связями.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО
Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники*
Экзаменационный билет № 08

1. Эмиттерный повторитель.
2. Длительности включения и выключения транзисторных ключей.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО
Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники*
Экзаменационный билет № 09

1. Цепи связи между ключами.
2. Ждущий мультивибратор с эмиттерной связью.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники*

Экзаменационный билет № 10

1. Диодно - трансформаторные ключи.
2. Симметричный транзисторный триггер.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники*

Экзаменационный билет № 11

1. Длительности включения и выключения транзисторных ключей.
2. Форма и параметры импульсов.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники*

Экзаменационный билет № 12

1. Переключение индуктивной и емкостной нагрузок.
2. Ждущий мультивибратор с эмиттерной связью.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники*

Экзаменационный билет № 13

1. Диодно-резисторный ключ.
2. Транзисторные ключи с общей базой.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники*

Экзаменационный билет № 14

1. Автоколебательные мультивибраторы с коллекторно-базовыми связями.
2. Расчет и применение триггеров с эмиттерной связью.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники*

Экзаменационный билет № 15

1. Эмиттерный повторитель.
2. Диодно - трансформаторные ключи.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Основы цифровой, импульсной и аналоговой схемотехники*

Экзаменационный билет № 16

1. Параметры формы импульсов
2. Диодно - трансформаторные ключи.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

6.3 Задания для контрольных работ

Необходимо изложить основные сведения по следующим темам:

1. Классификация усилителей.
2. Основные параметры и характеристики.
3. Режимы работы усилителей.
4. Способы включения транзистора.
5. Триодный усилитель.
6. Усилительный каскад на биполярном транзисторе.
7. Его эквивалентная схема, параметры усиления и частотная характеристика.
8. Физические факторы ограничения частотной характеристики.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Демирчян К.С., Нейман Л.Р. и др. Теоретические основы электротехники. В 3-х т. 4 изд. СПб., «Питер», 2003.
2. Хохлов А.В. Теоретические основы радиоэлектроники. Саратов, изд. Саратовского государственного университета, 2005. 256с.
3. Татур Т.А., Татур В.Е. Установившиеся и переходные процессы в электрических цепях. М., Высшая школа, 2001, 407с.
4. Прянишников В.А. Теоретические основы электротехники, Сп-б, “КОРОНА принт”, 2000, 368 с.
5. Каштанов В.В., Сапрыгин А.В. Импульсы двойной формирующей линии // Электротехника, 2001, № 8, С.16–20
6. Сапрыгин А.В., Каштанов В.В. Импульсы двойной искусственной линии с активными потерями энергии // Труды 8 международного совещания: “Динамика и оптимизация пучков”. Саратов: 25 – 29 июня 2001. -С.145 – 149.
7. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники, т.1, 10 изд., М., "Гардарика", 2000, 640с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Иццоки Я.С., Овчинников К.И. Импульсные и цифровые устройства. М., «Сов. радио», 1973 г.
2. Гольденберг Л.И. Основы импульсной техники. М., «Связь», 1975 г.
3. Фролкин В.Т. Импульсные устройства. М., «Машиностроение», изд.2, 1966 г.
4. Будинский Я. Транзисторные переключательные схемы. М., «Связь», 1965 г.
5. Шопен Л.В. Бесконтактные электрические аппараты автоматики. М., «Энергоатомиздат», изд.2, 1986 г.
6. Иццоки Я.С. Импульсные устройства. М., «Сов. Радио», 1959 г.
7. Ильин В.И. Машинное проектирование электронных схем. М., «Энергия», 1972 г.
8. Гольденберг Л.М. Импульсные и цифровые устройства. «Связь», М., 1973 г. разд. 2-6.
9. Сигорский В.П., Петренко А.И. Алгоритмы анализа электронных схем. М., «Сов. радио», 1976, гл. 1, П.
10. Льюс И. Миллимикросекундная импульсная техника., М., «Иностранная литература», 1956 г.
11. Клыков Н.П. Импульсная техника. М., «Связь издат», 1950 г.
12. Лейбман М.Е. Импульсная техника. М., «Оборонгаз», 1960 г.
13. Каштанов В.В. Анализ фронта выходных импульсов трансформатора // Радиотехника. -1995. - № 12. -С. 38-40.
14. Каштанов В.В., Климов В.А. Устранение колебаний на вершине мощных трансформируемых импульсов // ПТЭ. -1982. - № 4. - С. 114-115.
15. Каштанов В.В. Форма импульсов однородных искусственных линий без потерь // Известия вузов СССР. Радиоэлектроника. - 1976. -Т.19. -№ 7. -С.51- 58.
16. Каштанов В.В. Формирователи мощных импульсов // ПТЭ. -1998.-№ 1. -С. 92 – 95.
17. Каштанов В.В., Сапрыгин А.В., Степанчук В.П., Балаев А.Ю. Импульсный модулятор 3-х сантиметрового магнетрона // ПТЭ. 1992. - № 5. - С. 40 - 43.
18. Каштанов В.В., Сапрыгин А.В., Андрианов В.Г. Мощный короткоимпульсный модулятор с малой неравномерностью вершины импульсов // ПТЭ. 1999. - № 4. - С. 109 – 112.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Учебная и монографическая литература
2. Научные статьи
3. Электронные лекции (презентации)
4. Мультимедийное оборудование
5. Компьютерные демонстрационные 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 СГУ

профессор, д.ф.-м.н. _____ В.М. Аникин

ON THE PROGRAM OF THE COURSE
« FUNDAMENTALS OF DIGITAL, PULSE AND ANALOG CIRCUITRY»
FOR BACHELOR PHYSICS STUDENTS
A.S. Shapovalov, I.A.Yermolayev, A.V. Saprygin
Saratov State University

It is represented the results of development of the work program of a special course, which corresponds to the bachelor direction training 011200 «physics» and profile of learning «applied physics».

УДК 530 (075.8)

О ПРОГРАММЕ КУРСА «ИМПУЛЬСНЫЕ СИГНАЛЫ
В СИСТЕМАХ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ»
ДЛЯ СТУДЕНТОВ-ФИЗИКОВ БАКАЛАВРИАТА.

А.С. Шаповалов, И.А. Ермолаев А.В. Сапрыгин

Саратовский государственный университет,

Шаповалов Александр Степанович, д.ф.-м.н., профессор

Ермолаев Игорь Анатольевич, к.ф.-м.н., доцент

Сапрыгин Алексей Владимирович, заведующий учебно-исследовательской лабораторией кафедры прикладной физики

Представлены результаты разработки рабочей программы специального курса, соответствующего направлению подготовки бакалавров 011200 «Физика» и профилю подготовки «Прикладная физика».

Предлагаемая работа представляет результаты разработки на кафедре прикладной физики Саратовского государственного университета рабочей программы по специальному курсу «Импульсные сигналы в системах прикладной физики» для студентов-физиков бакалавриата. Программа соответствует требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования, положениям основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению 011200 «Физика» (профиль подготовки «Прикладная физика»). Курс относится к блоку дисциплин радиоэлектронной направленности.

Актуальность курса определяется тем, что импульсный сигнал является одним из распространённых видов сигналов, широко применяемых в прикладной физике и радиоэлектронике при решении инженерных и научно-исследовательских задач. В рамках этого курса студенты осваивают такие вопросы, как моделирование импульсных сигналов и устройств, передача основных сигналов моделями цепей, формирование и преобразование импульсных сигналов. Теоретический курс сопровождается лабораторными занятиями в компьютерном практикуме по моделированию импульсных процессов в электрических цепях.

Ниже приводится текст 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



Рабочая программа дисциплины
Импульсные сигналы в системах прикладной физики

Направление подготовки
011200 "Физика"

Профиль подготовки
Прикладная физика

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения - очная

Саратов
2011

1. Цели освоения дисциплины

Цель курса – изучение студентами основ современной импульсной техники нано- микро- микросекундных диапазонов длительности.

Широкое применение электрических импульсов в современной радиоэлектронике и прикладной физике требует глубокого освоения студентами методов проектирования и анализа систем формирования, генерации, передачи и преобразования импульсных сигналов. Поэтому курс лекций “Импульсные сигналы в системах прикладной физики” является одной из базовых дисциплин при подготовке бакалавров по профилю “Прикладная физика” направления 011200 “Физика”.

В данной дисциплине студенты четвертого курса (7 семестр) изучают работу и применение современных формирующих, корректирующих, передающих и генерирующих импульсных устройств различного назначения. Рассматривается влияние параметров наиболее распространённых радиоэлектронных устройств на различные виды искажений импульсов, проводится анализ формы импульсов, включая расчеты на ЭВМ с использованием современного программного обеспечения.

Учебный материал дисциплины обеспечивает надёжные знания по передаче и преобразованию импульсных сигналов, которые необходимы для большинства случаев современной инженерной и исследовательской практики.

Теоретический курс сопровождается лабораторными занятиями в компьютерном практикуме по моделированию импульсных процессов в электрических цепях.

Задача курса – сформировать у студентов твердое представление о современных формирующих, генерирующих, передающих и преобразующих (в частности, трансформирующих) импульсных устройствах как малой, так и весьма высокой мощности; выработать навыки их практического применения и анализа с использованием современных компьютерных средств.

Цели и задачи курса отвечают задачам профессиональной подготовки бакалавров по направлению 011200 “Физика” по освоению методов научных исследований и их применению в инновационной деятельности.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина входит в вариативную часть профессионального цикла профиля “Прикладная физика” направления 011200 “Физика” в качестве курса обязательного изучения.

Данный курс интегрирован в систему специальных курсов, разработанных на кафедре прикладной физики, имеющих целью подготовку бакалавров 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 изучения курса студенты могут использовать возможности теории переходных (нестационарных) электрических процессов при проектировании современных импульсных радиоэлектронных устройств и систем прикладной физики, способных формировать, генерировать, передавать и преобразовывать импульсные сигналы. Полученные знания необходимы студентам и для изучения последующих курсов современной радиоэлектроники (в том числе и импульсной) как в бакалавриате, так и в магистратуре.

Для освоения курса необходимы знания основ теории электричества и магнетизма, радиоэлектронных аспектов теории автоматического управления, методов математического анализа, теории дифференциальных уравнений, теории функций комплексных переменных и операционного исчисления.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины.

Освоение курса способствует формированию следующих компетенций:

- ПК-3 – способность эксплуатировать современную физическую аппаратуру и оборудование;
- ПК-4 – способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (в соответствии с профилем подготовки);
- ПК-10 – способность понимать и излагать получаемую информацию и представлять результаты физических исследований.

В результате изучения дисциплины студент должен

знать:

- современные области применения и параметры электрофизических импульсов;
- структуру, принципы построения и достигнутые параметры основных современных импульсных систем прикладной физики;

- основные сведения об устройствах и методах измерений в импульсной технике;

- специфические вопросы передачи и преобразования импульсных сигналов;

- вопросы анализа импульсных процессов с использованием современных компьютерных средств;

уметь:

- использовать возможности теории электрических цепей при анализе систем передачи и преобразования импульсных сигналов;

- использовать эквивалентные схемы импульсных устройств;

- работать с современной, классической и справочной литературой по импульсной технике и теории переходных процессов;

владеть:

- современными методами анализа радиоэлектронных систем передачи и преобразования импульсных сигналов;

- основами моделирования радиотехнических процессов и систем передачи и преобразования импульсных сигналов.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы 144 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекции	лаборат.	самост. работа		
1	Введение	7	1	2		2		
2	Модели импульсных сигналов и устройств	7	2 – 6	10	6	14		Устный опрос (собеседование) УО-1
3	Передача основных сигналов моделями цепей	7	7 – 13	14	6	18		Устный опрос (собеседование) УО-1 Контрольная работа ПР - 2
4	Формирование и преобразование импульсных сигналов	7	14 – 18	10	6	20		Устный опрос (собеседование) УО-1
5	Итого:			36	18	54		Экзамен

*Содержание учебной дисциплины***Введение**

Предмет курса. Импульсные процессы, их особенности. Виды и параметры импульсов.

Особенности анализа импульсных процессов и устройство. Основные требования для расчета на ЭВМ.

Составление расчетных моделей.

1. Модели импульсных сигналов и устройств**1.1. Модели и параметры импульсных сигналов**

Математические модели сигналов. Параметры основных импульсных сигналов.

1.2. Модели электрических цепей, формирующих различные части импульсных сигналов.

Эквивалентные схемы как графические модели цепей. Модели цепей формирования фронта, вершины и среза импульсов различных устройств.

Расчет математических моделей с помощью ЭВМ. Понятие о методах численного интегрирования дифференциальных уравнений состояния цепей. Нормирование параметров уравнений. Пример расчета сложных цепей ЭВМ.

2. Передача основных сигналов моделями цепей**2.1. Цепи с одним реактивным элементом.**

Цепи с одним реактивным параметром. Интегрирующие и дифференцирующие цепи.

Передача моделей сигналов: идеальной ступени, прямоугольного и трапецеидального импульсов.

2.2. Нагруженный контур.

Модель с двумя реактивными параметрами. Передача скачкообразного сигнала.

2.3. Четырехполюсник с тремя реактивными элементами.

Модель с тремя реактивными параметрами. Передача скачкообразного сигнала.

Передача ступенчатого, трапецеидального и экспоненциального сигналов.

2.4. Линии задержки.

Длинная линия и её сосредоточенная модель. Искусственная линия задержки.

Согласование звеньев. Искажение прямоугольного импульса.

1. Формирование и преобразование импульсных сигналов**3.1. Нелинейные четырехполюсные модели.**

Нелинейные четырехполюсные модели. Ограничители.

3.2. Импульсный трансформатор.

Эквивалентная схеме импульсного трансформатора

Намагничивание сердечника.

Трансформация фронта, вершины и среза импульса.

3.3 Формирующие цепи.

Формирующие двухполюсники. Формирующая линия с распределенными параметрами.

Сосредоточенные канонические модели.

3.4. Искусственные формирующие линии.

Искусственные однородные и неоднородные линии.

Построение и исследование математических моделей линий.

Корректированные линии с обостряющими цепями первого, второго и третьего порядков.

3.5. Ступенчатые линии.

Ступенчатые линии, их сосредоточенные модели.

Двойные формирующие линии.

Формирующие – трансформирующие четырехполюсники. Предельные возможности четырехполюсников.

3.6. Импульсные генераторы.

Емкостное и индуктивное накопление энергии. Линейные генераторы мощных импульсов. Ламповые модуляторы. Модели расчета формы их импульсов.

Генераторы импульсов тока и напряжения. Использование индуктивных накопителей энергии. Модели линий, заряженных током.

Генераторы маломощных импульсов. Ждущий режим и синхронизация частоты повторения. Мультивибраторы, триггеры, блокинг-генераторы. Модели расчета формы и параметров их импульсов.

3.7. Измерения параметров импульсов.

Оциллографические измерения. Синхроскоп. Факторы точности оциллографических измерений. Расчетные модели и их анализ.

Импульсные делители напряжения. Индикаторные сопротивления. Их модели. Условие неискажающей регистрации Ицхоки.

Дифференцирующие цепи для измерения крутизны фронта и среза. Оциллографические измерения амплитуды импульсов.

5. Образовательные технологии

При проведении занятий и организации самостоятельной работы студентов 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; 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 процессе изучения теоретических разделов курса 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 предмете. 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.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

6.1 Вопросы для самостоятельной работы студентов и текущего контроля успеваемости

1. Особенности импульсных процессов. Виды и параметры электрических импульсов.
2. Математические модели импульсных сигналов.
3. Эквивалентные схемы и графические модели импульсных цепей.
4. Дифференцирующие цепи. Передача моделей импульсов.
5. Интегрирующие цепи. Передача моделей импульсов.
6. Нагруженный контур. Передача прямоугольного импульса.
7. Четырехполюсник третьего порядка. Его анализ.
8. Передача четырехполюсником третьего порядка различных моделей импульсов.
9. Устранение и ослабление колебаний у импульсов четырехполюсника третьего порядка
10. Четырехполюсник четвертого порядка. Диаграмма режимов.
11. Распределенные и искусственные линии задержки.
12. Нелинейные четырехполюсные ограничители.
13. Импульсный трансформатор. Намагничивание сердечника.
14. Эквивалентные схемы импульсного трансформатора.
15. Формирование фронта импульсов трансформатора.
16. Формирование вершины и среза импульсов трансформатора.
17. Формирующие двухполюсники.
18. Искусственные однородные и неоднородные линии.
19. Корректированные искусственные линии.
20. Ступенчатые линии.
21. Формирующе – трансформирующие четырехполюсники (ФТЧП). Их предельные возможности.
22. Емкостное и индуктивное накопление энергии.
23. Линейные генераторы мощных импульсов.
24. Генераторы импульсов с электронным коммутатором.
25. Генераторы с индуктивным накопителем энергии.
26. Генераторы маломощных импульсов.
27. Осциллографические измерения импульсов.
28. Импульсные делители и индикаторные сопротивления.
29. Дифференцирующие цепи для измерения крутизны фронта и среза.
30. Условие неискажающей регистрации Ицхоки Я.С.

6.2 Экзаменационные билеты

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра

Прикладной физики

Дисциплина

Импульсные сигналы в системах прикладной физики

Экзаменационный билет № 01

1. Четырехполюсники с одним реактивным элементом. Интегрирующие и дифференцирующие цепи.
2. Линии задержки. Линии с распределенными постоянными. Искусственные линии задержки. Условие прозрачности.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*Дисциплина *Импульсные сигналы в системах прикладной физики***Экзаменационный билет № 02**

1. Передача ступенчатого напряжения нагруженным контуром.
2. Формирование прямоугольных импульсов двухполюсными цепями. Искусственные линии.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*Дисциплина *Импульсные сигналы в системах прикладной физики***Экзаменационный билет № 03**

1. Передача сигнала нагруженным контуром.
2. Ограничители. Диодный ограничитель, триодный и транзисторный ограничитель.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*Дисциплина *Импульсные сигналы в системах прикладной физики***Экзаменационный билет № 04**

1. Передача различных фронтов интегрирующими RL и RC цепями. Передача быстро меняющегося напряжения.
2. Импульсный трансформатор. Намагничивание сердечника. Ток намагничивания.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*Дисциплина *Импульсные сигналы в системах прикладной физики***Экзаменационный билет № 05**

1. Форма и параметры импульсов. Активные длительности фронта, среза импульса. Эффективные и средние токи и напряжения. Стандартные формы импульсов.
2. Емкостный накопитель. Ламповый модулятор с частичным разрядом накопителя.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*Дисциплина *Импульсные сигналы в системах прикладной физики***Экзаменационный билет № 06**

1. Передача ступенчатого напряжения четырехполюсника с тремя реактивными элементами.
2. Ламповый генератор импульсов с частичным разрядом накопителя. Коррекция вершины импульсов.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*Дисциплина *Импульсные сигналы в системах прикладной физики***Экзаменационный билет № 07**

1. Передача линейного и скачкообразного фронтов цепью с тремя реактивными элементами.
2. Индуктивный накопитель энергии. Генератор Матханова. П.Н.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*

Дисциплина *Импульсные сигналы в системах прикладной физики*

Экзаменационный билет № 08

1. Формирование фронта импульсов трансформатора.
2. Емкостной накопитель. Мягкий модулятор. Форма импульсов искусственных линий.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*

Дисциплина *Импульсные сигналы в системах прикладной физики*

Экзаменационный билет № 09

1. Передача различных фронтов дифференцирующими цепями. Передача вершины этими цепями. Передача медленно меняющегося напряжения.

2. Импульсный трансформатор. Его эквивалентная схема. Передача вершины импульсов.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*

Дисциплина *Импульсные сигналы в системах прикладной физики*

Экзаменационный билет № 10

Импульсные осциллографические измерения. Условие Иццоки Я.С.

1. Формирование импульсов двухполюсником. Корректированные искусственные линии. Форма их импульсов.

2. Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*

Дисциплина *Импульсные сигналы в системах прикладной физики*

Экзаменационный билет № 11

1. Генераторы маломощных импульсов.

2. Формирование импульсов четырехполюсниками. Ступенчатые линии.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*

Дисциплина *Импульсные сигналы в системах прикладной физики*

Экзаменационный билет № 12

1. Трехэлементные RC и RL – четырехполюсники. Передача различных моделей фронтов.

2. Импульсный трансформатор. Передача фронта и среза прямоугольных импульсов.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*

Дисциплина *Импульсные сигналы в системах прикладной физики*

Экзаменационный билет № 13

1. Передача стандартных фронтов четырехполюсником с тремя реактивными элементами.

2. Ламповый генератор импульсов. Формирование фронта и среза импульсов.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*Дисциплина *Импульсные сигналы в системах прикладной физики***Экзаменационный билет № 14**

1. Двойные формирующие линии Блюмляйна.
2. Элементарный Г-фильтр. Линии задержки типа К.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*Дисциплина *Импульсные сигналы в системах прикладной физики***Экзаменационный билет № 15**

1. Линии задержки типа М.
2. Импульсные делители напряжения и измерительные дифференцирующие цепи.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*Дисциплина *Импульсные сигналы в системах прикладной физики***Экзаменационный билет № 16**

1. Намагничивание сердечника импульсного трансформатора.
2. Измерительные сопротивления и трансформаторы тока импульсов. Осциллографическое измерение амплитуды высоковольтных импульсов.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*Дисциплина *Импульсные сигналы в системах прикладной физики***Экзаменационный билет № 17**

1. Формирующие линии, заряжаемые током.
2. Формирующее - трансформирующие четырехполосники. Их предельные возможности.

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*Дисциплина *Импульсные сигналы в системах прикладной физики***Экзаменационный билет № 18**

1. Согласование звеньев искусственной линии задержки. Искажения прямоугольного импульса.
2. Способы увеличения допустимого приращения индукции в импульсном трансформаторе

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*Дисциплина *Импульсные сигналы в системах прикладной физики***Экзаменационный билет № 19**

1. Искусственные однородные и неоднородные формирующие линии.
2. Мультивибраторы и блокинг- генераторы

Заведующий кафедрой –

д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

6.3 Задания для контрольных работ

Необходимо изложить основные сведения по следующим темам:

Задание 1.

Тема: Деформация прямоугольного импульса четырехполюсниками 1–3 порядка:

1. Интегрирующие и дифференцирующие цепи;
2. Нагруженный контур;
3. Четырехполюсник 3-го порядка. Диаграмма Вышнеградского.

Задание 2.

Тема: Влияние формы входного фронта на фронт выходного импульса четырехполюсника 3 порядка:

1. Линейный фронт;
2. Экспоненциальный фронт;
3. Ступенчатый фронт.

Задание 3.

Тема: Формирование импульсов двухполюсными цепями:

1. Отрезок идеальной длинной линии;
2. Искусственные линии;
3. Корректированные, двойные, неоднородные линии.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Демирчян К.С., Нейман Л.Р. и др. Теоретические основы электротехники. В 3-х т. 4 изд. СПб., «Питер», 2003 г.
2. Хохлов А.В. Теоретические основы радиоэлектроники. Саратов, изд. Саратовского госуниверситета, 2005. 256с.
3. Татур Т.А., Татур В.Е. Установившиеся и переходные процессы в электрических цепях. М., Высшая школа, 2001, 407с.
4. Прянишников В.А. Теоретические основы электротехники, Сп-б, «КОРОНА принт», 2000, 368 с.
5. Каштанов В.В., Сапрыгин А.В. Импульсы двойной формирующей линии // Электротехника, 2001, № 8, С. 16 – 20.
6. Сапрыгин А.В., Каштанов В.В. Импульсы двойной искусственной линии с активными потерями энергии // Труды 8 международного совещания: «Динамика и оптимизация пучков». - Саратов: 25 – 29 июня 2001. -С.145 – 149.
7. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники, т.1, 10 изд., М., "Гардарика", 2000, 640с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Иццоки Я.С., Овчинников К.И. Импульсные и цифровые устройства. М., «Сов. радио», 1973 г.
2. Гольденберг Л.И. Основы импульсной техники. М., «Связь», 1975 г.
3. Иццоки Я.С. Импульсные устройства. М., «Сов. Радио», 1959 г.
4. Ильин В.И. Машинное проектирование электронных схем. М., «Энергия», 1972 г.
5. Гольденберг Л.М. Импульсные и цифровые устройства. «Связь», М., 1973 г. разд. 2-6.
6. Сигорский В.П., Петренко А.И. Алгоритмы анализа электронных схем. М., «Сов. радио», 1976 г., гл. 1
7. Льюс И. Миллимикросекундная импульсная техника., М., «Иностранная литература», 1956 г.
8. Клыков Н.П. Импульсная техника. М., «Связьиздат», 1950 г.
9. Лейбман М.Е. Импульсная техника. М., «Оборонгаз», 1960 г.
10. Каштанов В.В. Анализ фронта выходных импульсов трансформатора // Радиотехника. 1995. №12. С. 38-40.
11. Каштанов В.В., Климов В.А. Устранение колебаний на вершине мощных трансформируемых импульсов // ПТЭ. -1982. - № 4. С. 114-115.
12. Каштанов В.В. Форма импульсов однородных искусственных линий без потерь // Известия вузов СССР. Радиоэлектроника. -1976. Т.19. № 7. С.51- 58.
13. Каштанов В.В. Формирователи мощных импульсов // ПТЭ. 1998. № 1. С. 92 – 95.
14. Каштанов В.В., Сапрыгин А.В., Степанчук В.П., Балаев А.Ю. Импульсный модулятор 3-х сантиметрового магнетрона // ПТЭ. 1992. № 5. С. 40 - 43.
15. Каштанов В.В., Сапрыгин А.В., Андрианов В.Г. Мощный короткоимпульсный модулятор с малой неравномерностью вершины импульсов // ПТЭ. 1999. № 4. С. 109 – 112.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Учебная и монографическая литература
2. Научные статьи
3. Электронные лекции (презентации)
4. Мультимедийное оборудование
5. Компьютерные демонстрационные 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 СГУ
 профессор, д.ф.-м.н. _____ В.М. Аникин

ON THE PROGRAM OF THE COURSE «THE IMPULSE SIGNALS
 IN THE SYSTEMS OF APPLIED PHYSICS»
 FOR BACHELOR PHYSICS STUDENTS

A.S. Shapovalov, I.A. Yermolayev, A.V. Saprygin
 Saratov State University

It is represented the results of development of the work program of a special course, which corresponds to the bachelor direction training 011200 «physics» and profile of learning «applied physics».

УДК 530 (075.8)

О ПРОГРАММЕ КУРСА «ИМПУЛЬСНЫЕ УСТРОЙСТВА
 ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ» ДЛЯ СТУДЕНТОВ-ФИЗИКОВ БАКАЛАВРИАТА.

А.С. Шаповалов, И.А. Ермолаев, А.В. Сапрыгин
 Саратовский государственный университет,
Шаповалов Александр Степанович, д.ф.-м.н., профессор
Ермолаев Игорь Анатольевич, к.ф.-м.н., доцент
Сапрыгин Алексей Владимирович, заведующий учебно-исследовательской
 лабораторией кафедры прикладной физики

Представлены результаты разработки рабочей программы специального курса, соответствующего направлению подготовки бакалавров 011200 «Физика» и профилю подготовки «Прикладная физика».

Предлагаемая работа представляет результаты разработки на кафедре прикладной физики Саратовского государственного университета рабочей программы по специальному курсу «Импульсные устройства прикладной физики» для студентов-физиков бакалавриата. Программа соответствует требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования, положениям основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению 011200 «Физика» (профиль подготовки «Прикладная физика»). Курс относится к блоку дисциплин радиоэлектронной направленности.


Современные методы исследования физических процессов, разработка систем прикладной физики различного назначения в значительной степени основываются на широком применении импульсной техники нано- микро- и миллисекундного диапазонов длительности. Эти обстоятельства определяют актуальность и практическую значимость рассматриваемого курса, целесообразность включения его в программу профессиональной подготовки бакалавра.

Вместе с другими курсами радиоэлектронной направленности данный курс даёт надёжные знания по проектированию, расчету и моделированию современных импульсных устройств, необходимые для большинства случаев современной инженерной и исследовательской практики. Теоретический курс сопровождается лабораторными занятиями в компьютерном практикуме по моделированию импульсных процессов в электрических устройствах.

Ниже приводится текст 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
"30" августа 2011 г.
Физик - 405



Рабочая программа дисциплины
Импульсные устройства прикладной физики

Направление подготовки
011200 "Физика"

Профиль подготовки
Прикладная физика

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения - очная

Саратов
2011

1. Цели освоения дисциплины

Широкое применение импульсной аппаратуры в современной радиоэлектронике и прикладной физике требует глубокого освоения студентами методов проектирования, расчета и моделирования генераторов, формирователей, преобразователей электрических импульсов и других устройств, в которых переходные и импульсные процессы представляют собой естественный, нормальный режим работы электрической цепи. Поэтому курс лекций “Импульсные устройства прикладной физики” является одной из базовых дисциплин при подготовке бакалавров по профилю “Прикладная физика” направления 011200 “Физика”.

В данной дисциплине студенты четвертого курса (8 семестр) изучают работу современных генерирующих, формирующих, преобразующих, корректирующих, передающих и других радиоэлектронных импульсных устройств различного назначения, их схемное построение и расчет. Рассматриваются достоинства и недостатки устройств, примеры их эффективного применения в системах прикладной физики. Изучаются физические процессы, происходящие при формировании и преобразовании электрических импульсов, а также методы моделирования этих процессов с использованием современного программного обеспечения.

Учебный материал дисциплины обеспечивает надёжные знания по проектированию, расчету и моделированию современных импульсных устройств, необходимые для большинства случаев современной инженерной и исследовательской практики.

Теоретический курс сопровождается лабораторными занятиями в компьютерном практикуме по моделированию импульсных процессов в электрических устройствах.

Цель курса – изучение студентами основ современной импульсной техники микро- миллисекундного диапазонов длительности.

Задача курса – сформировать у студентов твердое представление о современных формирующих, генерирующих, передающих и других радиоэлектронных импульсных устройствах прикладной физики, выработать навыки их практического применения и анализа с использованием современных компьютерных средств.

Цели и задачи курса отвечают задачам профессиональной подготовки бакалавров по направлению 011200 “Физика” по освоению методов научных исследований и их применению в инновационной деятельности.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина входит в вариативную часть профессионального цикла профиля “Прикладная физика” направления 011200 “Физика” в качестве курса обязательного изучения.

Данный курс интегрирован в систему специальных курсов, разработанных на кафедре прикладной физики, имеющих целью подготовку бакалавров 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 изучения курса студенты могут использовать возможности теории переходных (нестационарных) электрических процессов и свои знания теоретических основ электро- и радиотехники при проектировании, анализе и моделировании современных импульсных радиоэлектронных устройств и систем прикладной физики. Полученные знания необходимы студентам и для изучения последующих курсов современной радиоэлектроники (в том числе и импульсной) как в бакалавриате, так и в магистратуре.

Для освоения курса необходимы знания основ теории электричества и магнетизма, радиоэлектронных аспектов теории автоматического управления, методов математического анализа, теории дифференциальных уравнений, теории функций комплексных переменных и операционного исчисления.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины.

Освоение курса способствует формированию следующих компетенций:

ПК-3 – способность эксплуатировать современную физическую аппаратуру и оборудование;

ПК-5 – способность применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов физических исследований (в соответствии с профилем подготовки);

ПК-6 – способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки).

В результате изучения дисциплины студент должен

знать:

- современные области применения и параметры электрических импульсов;

- структуру, принципы построения и достигнутые параметры основных современных импульсных устройств прикладной физики;

- сведения об измерительных устройствах в импульсной технике;

- специфические вопросы генерации и формирования видеоимпульсов;

- вопросы проектирования, анализа и моделирования импульсных устройств с использованием современных компьютерных средств;

уметь:

- использовать возможности теории электрических цепей при анализе и проектировании импульсных устройств;
- использовать эквивалентные схемы импульсных устройств;
- работать с современной, классической и справочной литературой по импульсной технике и теории переходных процессов;

владеть:

- современными методами анализа радиоэлектронных импульсных устройств прикладной физики;
- основами моделирования радиотехнических устройств и систем.
- основами проектирования радиотехнических импульсных устройств.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы 72 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекции	лаборат.	самост. работа		
1	Введение	8	1	2				
2	Диодные ключи	8	2	2	4	2		Устный опрос (собеседование) УО-1
3	Транзисторные ключи	8	3 – 4	4	4	2		Устный опрос (собеседование) УО-1 Контрольная работа ПР – 2
4	Мультивибраторы	8	5 – 6	4	4	2		Устный опрос (собеседование) УО-1
5	Триггеры	8	7 – 8	4	4	4		Устный опрос (собеседование) УО-1
6	Блокинг-генераторы	8	9 - 10	4	4	4		Устный опрос (собеседование) УО-1
	Итого:			20	20	14		Экзамен

Содержание учебной дисциплины

1. Введение

Общие сведения об импульсных процессах. Импульсный режим работы устройств, его особенности, основные характеристики и методы осуществления. Форма и параметры импульсов. Применение импульсных устройств.

2. Диодные ключи

Диодно-резисторный ключ. Многоходовые диодно - резисторные ключи. Многоступенчатые диодно - резисторные ключи. Диодно - трансформаторные ключи. Применение диодных ключей для измерений параметров формы импульсов.

3. Транзисторные ключи

Насыщенные транзисторные ключи с общим эмиттером. Статические режимы. Переходные процессы. Длительности включения и выключения транзисторных ключей. Методы увеличения скорости переключения транзистора. Переключение индуктивной и емкостной нагрузок. Мощность, рассеиваемая транзистором при периодическом переключении.

Транзисторные ключи с общей базой. Транзисторные ключи с общим коллектором. Эмиттерный повторитель. Цепи связи между ключами. Насыщенные транзисторные ключи с общим эмиттером с резистивной, резистивно-емкостной, непосредственной, емкостной, диодной связью. Ненасыщенные транзисторные ключи.

Контрольная работа**4. Мультивибраторы**

Режимы работы. Области применения. Ждущие мультивибраторы с коллекторно-базовыми связями. Схема, принцип действия, основные соотношения. Автоколебательные мультивибраторы с коллекторно-базовыми связями. Принцип действия, основные соотношения. Методы улучшения характеристик мультивибраторов. Ждущий мультивибратор с эмиттерной связью. Типовые схемы мультивибраторов.

Лабораторные занятия Работа мультивибратора в ждущем режиме. Работа мультивибратора в автоколебательном режиме

5. Триггеры

Общие сведения. Симметричный транзисторный триггер. Принцип работы. Статические режимы. Влияние нагрузки на устойчивость работы триггера. Триггер с автоматическим смещением. Переключение и повышение быстродействия триггера. Схемы запуска триггеров. Несимметричный транзисторный триггер (с эмиттерной связью). Статические режимы. Переходные процессы. Расчет и применение триггеров с эмиттерной связью.

Лабораторные занятия Транзисторный триггер.

5. Образовательные технологии

При проведении занятий и организации самостоятельной работы студентов 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; 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 процессе изучения теоретических разделов курса 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 предмете. 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.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**6.1 Вопросы для самостоятельной работы студентов и текущего контроля успеваемости**

1. Форма и параметры импульсов.
2. Диодно-резисторный ключ.
3. Многоходовые диодно - резисторные ключи.
4. Диодно - трансформаторные ключи.
5. Применение диодных ключей для измерений параметров формы импульсов.
6. Насыщенные транзисторные ключи с общим эмиттером.
7. Длительности включения и выключения транзисторных ключей.
8. Методы увеличения скорости переключения транзистора.
9. Переключение индуктивной и емкостной нагрузок.
10. Транзисторные ключи с общей базой.
11. Транзисторные ключи с общим коллектором.
12. Эмиттерный повторитель.
13. Цепи связи между ключами.
14. Ненасыщенные транзисторные ключи.
15. Ждущие мультивибраторы с коллекторно-базовыми связями.
16. Автоколебательные мультивибраторы с коллекторно-базовыми связями.
17. Ждущий мультивибратор с эмиттерной связью.
18. Симметричный транзисторный триггер.
19. Влияние нагрузки на устойчивость работы триггера.
20. Триггер с автоматическим смещением.
21. Переключение и повышение быстродействия триггера.
22. Несимметричный транзисторный триггер.
23. Расчет и применение триггеров с эмиттерной связью.

6.2 Экзаменационные билеты

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Импульсные устройства прикладной физики*
Экзаменационный билет № 01

1. Форма и параметры импульсов.
2. Расчет и применение триггеров с эмиттерной связью.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Импульсные устройства прикладной физики*
Экзаменационный билет № 02

1. Несимметричный транзисторный триггер.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Импульсные устройства прикладной физики*
Экзаменационный билет № 03

1. Многоходовые диодно - резисторные ключи.
2. Переключение и повышение быстродействия триггера.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Импульсные устройства прикладной физики*
Экзаменационный билет № 04

1. Симметричный транзисторный триггер.
2. Диодно - трансформаторные ключи.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Импульсные устройства прикладной физики*
Экзаменационный билет № 05

1. Применение диодных ключей для измерений параметров формы импульсов.
2. Ждущий мультивибратор с эмиттерной связью.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Импульсные устройства прикладной физики*
Экзаменационный билет № 06

1. Автоколебательные мультивибраторы с коллекторно-базовыми связями.
2. Длительности включения и выключения транзисторных ключей.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
 Дисциплина *Импульсные устройства прикладной физики*

Экзаменационный билет № 07

1. Методы увеличения скорости переключения транзистора.
2. Автоколебательные мультивибраторы с коллекторно-базовыми связями.

Заведующий кафедрой –
 д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
 Дисциплина *Импульсные устройства прикладной физики*

Экзаменационный билет № 08

1. Эмиттерный повторитель.
2. Длительности включения и выключения транзисторных ключей.

Заведующий кафедрой –
 д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
 Дисциплина *Импульсные устройства прикладной физики*

Экзаменационный билет № 09

1. Цепи связи между ключами.
2. Ждущий мультивибратор с эмиттерной связью.

Заведующий кафедрой –
 д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
 Дисциплина *Импульсные устройства прикладной физики*

Экзаменационный билет № 10

1. Диодно - трансформаторные ключи.
2. Симметричный транзисторный триггер.

Заведующий кафедрой –
 д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
 Дисциплина *Импульсные устройства прикладной физики*

Экзаменационный билет № 11

1. Длительности включения и выключения транзисторных ключей.
2. Форма и параметры импульсов.

Заведующий кафедрой –
 д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
 Дисциплина *Импульсные устройства прикладной физики*

Экзаменационный билет № 12

1. Переключение индуктивной и емкостной нагрузок.
2. Ждущий мультивибратор с эмиттерной связью.

Заведующий кафедрой –
 д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Импульсные устройства прикладной физики*

Экзаменационный билет № 13

1. Диодно-резисторный ключ.
2. Транзисторные ключи с общей базой.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Импульсные устройства прикладной физики*

Экзаменационный билет № 14

1. Автоколебательные мультивибраторы с коллекторно-базовыми связями.
2. Расчет и применение триггеров с эмиттерной связью.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Импульсные устройства прикладной физики*

Экзаменационный билет № 15

1. Эмиттерный повторитель.
2. Диодно - трансформаторные ключи.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра *Прикладной физики*
Дисциплина *Импульсные устройства прикладной физики*

Экзаменационный билет № 16

1. Параметры формы импульсов
2. Диодно - трансформаторные ключи.

Заведующий кафедрой –
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Шаповалов

6.3. Задания для контрольных работ

Необходимо изложить основные сведения по следующим темам:

1. Насыщенные транзисторные ключи с общим эмиттером.
2. Длительности включения и выключения транзисторных ключей.
3. Методы увеличения скорости переключения транзистора.
4. Переключение индуктивной и емкостной нагрузок.
5. Транзисторные ключи с общей базой.
6. Транзисторные ключи с общим коллектором.
7. Форма и параметры импульсов.
8. Диодно-резисторный ключ.
9. Многоходовые диодно - резисторные ключи.
10. Диодно - трансформаторные ключи.
11. Применение диодных ключей для измерений параметров формы импульсов.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Демирчян К.С., Нейман Л.Р. и др. Теоретические основы электротехники. В 3-х т. 4 изд. -СПб., «Питер», 2003 г.
2. Хохлов А.В. Теоретические основы радиоэлектроники. Саратов, изд. Саратовского госуниверситета, 2005. 256с.
3. Татур Т.А., Татур В.Е. Установившиеся и переходные процессы в электрических цепях. -М., Высшая школа, 2001, 407с.
4. Прянишников В.А. Теоретические основы электротехники, -Сп-б, “КОРОНА принт”, 2000, 368 с.
5. Каштанов В.В., Сапрыгин А.В. Импульсы двойной формирующей линии // Электротехника, 2001, № 8, С.

16 – 20.

6. Сапрыгин А.В., Каштанов В.В. Импульсы двойной искусственной линии с активными потерями энергии // Труды 8 международного совещания: “Динамика и оптимизация пучков”. Саратов: 25 – 29 июня 2001. -С.145 – 149.
 7. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники, т.1, 10 изд., М., "Гардарика", 2000, 640с.
- ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**
1. Ицхоки Я.С., Овчинников К.И. Импульсные и цифровые устройства. М., «Сов. радио»,1973 г.
 2. Гольденберг Л.И. Основы импульсной техники. М., «Связь», 1975 г.
 3. Фролкин В.Т. Импульсные устройства.М.,«Машиностроение», изд.2, 1966 г.
 4. Будинский Я. Транзисторные переключающие схемы. М., «Связь», 1965 г.
 5. Шопен Л.В. Бесконтактные электрические аппараты автоматики. М., «Энергоатомиздат», изд.2, 1986 г.
 6. Ицхоки Я.С. Импульсные устройства. М., «Сов. Радио», 1959 г.
 7. Ильин В.И. Машинное проектирование электронных схем. М., «Энергия»,1972 г.
 8. Гольденберг Л.М. Импульсные и цифровые устройства. «Связь», М., 1973 г. разд. 2-6.
 9. Сигорский В.П., Петренко А.И. Алгоритмы анализа электронных схем. М., «Сов. радио», 1976 г., гл. 1, П.
 10. Льюс И. Миллимикросекундная импульсная техника., М., «Иностранная литература», 1956 г.
 11. Клыков Н.П. Импульсная техника. М., «Связь издат», 1950 г.
 12. Лейбман М.Е. Импульсная техника. М., «Оборонгаз», 1960 г.
 13. Каштанов В.В. Анализ фронта выходных импульсов трансформатора // Радиотехника. -1995. - № 12. -С. 38-40.
 14. Каштанов В.В., Климов В.А. Устранение колебаний на вершине мощных трансформируемых импульсов // ПТЭ. -1982. - № 4. -С. 114-115.
 15. Каштанов В.В. Форма импульсов однородных искусственных линий без потерь //Известия вузов СССР. Радиоэлектроника. -1976. -Т.19. -№ 7. -С.51- 58.
 16. Каштанов В.В. Формирователи мощных импульсов // ПТЭ. -1998.-№ 1. -С. 92 – 95.
 17. Каштанов В.В., Сапрыгин А.В., Степанчук В.П., Балаев А.Ю. Импульсный модулятор 3-х сантиметрового магнетрона // ПТЭ. 1992. - № 5. - С. 40 - 43.
 18. Каштанов В.В., Сапрыгин А.В., Андрианов В.Г. Мощный короткоимпульсный модулятор с малой неравномерностью вершины импульсов // ПТЭ. 1999. - № 4. - С. 109 – 112.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Учебная и монографическая литература
2. Научные статьи
3. Электронные лекции (презентации)
4. Мультимедийное оборудование
5. Компьютерные демонстрационные 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 СГУ
 профессор, д.ф.-м.н. _____ В.М. Аникин

ON THE PROGRAM OF THE COURSE «THE IMPULSE DEVICES OF APPLIED PHYSICS» FOR BACHELOR PHYSICS STUDENTS

A.S. Shapovalov, I.A. Yermolayev, A.V. Saprigin
 Saratov State University

It is represented the results of development of the work program of a special course, which corresponds to the bachelor direction training 011200 «physics» and profile of learning «applied physics».

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 Cyt., 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, \mathbf{W} , \mathbf{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: fiz@sgu.ru; GlukhovaOE@info.sgu.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, p.t. (8452) 11-12-13, д.т. (8452) 11-13-14

Петров Антон Иванович, аспирант, e@mail, p.t. (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.

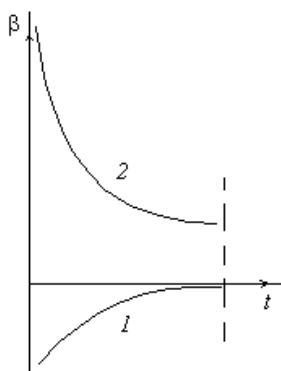


Рис.1

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.

**АДРЕСА РАССЫЛКИ СБОРНИКА
«Вопросы прикладной физики» №20**

КНИЖНАЯ ПАЛАТА РФ, ФГБУН "РКП", Библиотека Волгоградского госуниверситета	119019, г. Москва, Кремлевская наб., 1/9 строение 8, 400063 Волгоград, ул. 2-я Продольная, 20
Научная Библиотека ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»	620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
Научная Библиотека Иркутского госуниверситета	664000 Иркутск, Бульвар Ю. Гагарина
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Библиотека им Н.И. Лобачевского	420008, Казань, ул.Кремлевская, д.35
Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта Научная библиотека	г. Калининград, ул. А.Невского, 14, 236041.
Кубанский государственный университет Научная библиотека	Ставропольская ул., 149, Краснодар, 350040
Новосибирский государственный университет, Научная библиотека	630090 Новосибирск, ул. Пирогова, 2
Пермский государственный национальный исследовательский, Научная библиотека	ул. Букирева, 15, Пермь, Пермский край, 614990
Научная библиотека Южного федерального университета:	ул. Б. Садовая, 105/42, г. Ростов-на-Дону, 344006
Научная библиотека Самарского госуниверситета	443011 г. Самара, ул. Академика Павлова, д. 1
Научная библиотека им. М.Горького СПбГУ	199034 Санкт-Петербург Университетская наб. 7/9
Библиотека РАН	199164 Санкт-Петербург, Биржевая линия, 1
Научная библиотека Томского государственного университета	634050 Томск, пр.Ленина 34а
Научная библиотека Ульяновского госуниверситета	432000 Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42
Башкирский государственный университет Научная библиотека	450074, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32
Научная библиотека, Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова	150000 Ярославль, ул. Советская, 14
Балаковский институт техники, технологии и управления, Научная библиотека	413800 Балаково, ул. Чапаева, 140
Балашовский институт СГУ Научная библиотека	412300 Балашов, ул. К. Маркса, 29
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG	Kennedyallee 40,53175 Bonn
The Library of Congress European & Latin American Acquisition Division	101 Independence Ave., S/E/ Washington/ D.C. 20540- 4180, USA
Фундаментальная библиотека Минского государственного университета	220050, г. Минск, пр-т Независимости, 4
Научная библиотека. Киевского национального университета имени Тараса Шевченко	01601, Київ-33, МСП, вул. Володимирська, 58,
Зональная научная библиотека имени В. А. Артисевич СГУ им. Н.Г. Чернышевского	
Научно-техническая библиотека СГТУ им. Ю.А. Гагарина	
Научная библиотека. СГАУ им. Н.И. Вавилова	
Саратовская областная универсальная научная библиотека	
Центральная городская библиотека Саратова	

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ф.И.О.	Должность, звание	Место работы	E-mail
Буланов Дмитрий Витальевич	начальник лаборатории	ООО НПФ «Этна»	Sennsey51@gmail.com
Гарбер Георгий Евгеньевич		СГУ	garber@saratov.ru
Герасимов Сергей Анатольевич	к.ф.-м.н., доцент	ЮФУ, Ростов-Дон	Gsim1953@mail.ru
Ермолаев Игорь Анатольевич	к.ф.-м.н., доцент	СГУ	iermolaev@rambler.ru
Кобец Мария Александровна	студент 2 курса магистратуры	ФНБМТ СГУ	Sennsey51@gmail.com
Корнев Игорь Александрович	студент 5 курса специалитета	ФНБМТ СГУ	Sennsey51@gmail.com
Крылов Александр Фёдорович	к.ф.-м.н., доцент	СГУ	
Лысенко Владимир Сергеевич,	к.б.н., доцент	ЮФУ, Ростов-Дон	
Мауль Юрий Сергеевич	студент 1 курса магистратуры	ФНБМТ СГУ	Sennsey51@gmail.com
Минкин Леонид Моисеевич	профессор	Portland State University, USA	lminkin@pcc.edu
Новосёлов Владимир Владимирович	к.ф.-м.н., доцент кафедры прикладной физики	СГУ	apd@sgu.ru
Овчинников Вячеслав Александрович	главный метролог	ООО ЭПО «Сигнал», г. Энгельс	shapovalovast@mail.ru
Овчинников Сергей Владимирович	к.ф.-м.н., доцент кафедры общей физики	СГУ	omf@sgu.ru
Пивоваров Александр Викторович	к.ф.-м.н., ген директор	ООО «РИО» г. Саратов	apivov@mail.ru
Сапрыгин Алексей Владимирович	Зав учебно-исследоват. лаборатории	СГУ	email omf@sgu.ru
Старшов Михаил Александрович	Зав учебно-исследоват. лаборатории	СГУ	mastarshov@mail.ru
Тен Галина Николаевна	д.ф.-м.н., проф.	СГУ	TenGN@yandex.ru
Чурочкина Светлана Викторовна	к.ф.-м.н., доцент кафедры прикладной физики	СГУ	klechshevskaya@mail.ru
Шаповалов Александр Степанович	д.ф.-м.н., профессор кафедры прикладной физики	СГУ	shapovalovast@mail.ru
Шаповалов Степан Александрович	инженер	Саратовское электроагрегатное производственное объединение	shapovalovast@mail.ru
Шаповалова Ирина Александровна	учитель английского языка высшей категории	МОУ «Гимназия №31» Кировского района г. Саратова	shapovalovast@mail.ru
Явчуновский Виктор Яковлевич	д.ф.-м.н., директор	ООО НПФ «Этна»	Sennsey51@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОР		
А.В. Пивоваров	ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПИРОЛИЗ В БИОТОПЛИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ	3
ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА		
Д.В. Буланов И.А. Корнев., М.А. Кобец Ю.С. Мауль	ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ СПИРАЛЬНЫХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ТЕПЛОСЪЁМА.	15
В.Я. Явчуновский И.А. Корнев., М.А. Кобец	ЧАСТЬ 1. РЕЖИМЫ ДЛЯ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НАГРЕВА	22
В.Я. Явчуновский .	ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ СПИРАЛЬНЫХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ТЕПЛОСЪЁМА.	22
В.В. Новосёлов., С.В. Овчинников	ЧАСТЬ 2. РЕЖИМЫ, РЕАЛИЗУЕМЫЕ ПРИ ПОСТОЯННОМ И ПЕРЕМЕННОМ СИНУСОИДАЛЬНОМ НАПРЯЖЕНИИ НАГРЕВА	30
В.В. Новосёлов., С.В. Овчинников	РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗА, ПРОХОДЯЩЕГО ЧЕРЕЗ ГАЗОВЫЙ СЧЕТЧИК, В ЕЕ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУР ПОВЕРХНОСТИ СЧЕТЧИКА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, А ТАКЖЕ РАСХОДА ГАЗА	30
ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ		
А.С. Шаповалов, Л.М. Минкин С.А. Шаповалов	ОБ ОДНОМ КОЭФФИЦИЕНТЕ КОЛЛЕКТИВНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ШУМОВ МНОГОДИОДНОГО ГЕНЕРАТОРА СВЧ	35
ОПТИКА		
С.А. Герасимов, В.С. Лысенко	О ТЕПЛОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА В ЖИДКОСТИ	39
А.Ф. Крылов. Г.Н. Тен	О НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВАХ ФУНКЦИЙ МАССЬЕ-ПЛАНКА	41
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА		
Г.Е. Гарбер	ДОКАЗАТЕЛЬСТВО УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ ОРБИТ В ОБОБЩЁННОЙ МОДЕЛИ АТОМА БОРА НА ОСНОВЕ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ	43
ОБРАЗОВАНИЕ: УЧЕБНО – МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ		
А.С. Шаповалов, В.А. Овчинников, С.А. Шаповалов М.А. Старшов, С.В. Чурочкина	О МЕТОДИКЕ И РЕЗУЛЬТАТАХ ПРИМЕНЕНИЯ УЧЕБНОГО АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ТАЙНА 1320 СЕКУНД	48
И.А. Шаповалова	ПРИМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ДИДАКТИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ОБУЧЕНИЯ АНГЛИЙСКОМУ ЯЗЫКУ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПЬЮТЕРА В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ	53
А.С. Шаповалов, И.А. Ермолаев, А.В. Сапрыгин,	О ПРОГРАММЕ КУРСА «АНАЛИЗ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ» ДЛЯ СТУДЕНТОВ-ФИЗИКОВ БАКАЛАВРИАТА	58
А.С. Шаповалов, И.А. Ермолаев, А.В. Сапрыгин,	О ПРОГРАММЕ КУРСА «ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ, ИМПУЛЬСНОЙ И АНАЛОГОВОЙ СХЕМОТЕХНИКИ» ДЛЯ СТУДЕНТОВ-ФИЗИКОВ БАКАЛАВРИАТА	70
А.С. Шаповалов, И.А. Ермолаев, А.В. Сапрыгин,	О ПРОГРАММЕ КУРСА «ИМПУЛЬСНЫЕ СИГНАЛЫ В СИСТЕМАХ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ» ДЛЯ СТУДЕНТОВ-ФИЗИКОВ БАКАЛАВРИАТА	79
А.С. Шаповалов, И.А. Ермолаев, А.В. Сапрыгин,	О ПРОГРАММЕ КУРСА «ИМПУЛЬСНЫЕ УСТРОЙСТВА ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ» ДЛЯ СТУДЕНТОВ-ФИЗИКОВ БАКАЛАВРИАТА	89
ПАМЯТКА АВТОРАМ		
ОБРАЗЕЦ СТАТЬИ		
АДРЕСА РАССЫЛКИ СБОРНИКА «ВПФ №20»		
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ		
СОДЕРЖАНИЕ		
CONTENTS		
В КОНЦЕ НОМЕРА. ИЗ КОЛЛЕКЦИИ М. СТАРШОВА		

CONTENTS

REVIEW		
A.V. Pivovarov	FAST PYROLYSIS IN POWER GENERATION OF ORGANIC FUEL	3
ENGINEERING		
D.V. Bulanov, U.A. Kornev, M.A. Kobets, Y.S. Maul, V.Y. Yavchunovsky	STUDY OF TEMPERATURE REGIMES OF THE HEATING COIL ELEMENTS IN DIFFERENT CONDITIONS OF HEAT SINK PART 1. MODES FOR DIRECT AND ALTERNATING SINUSOIDAL VOLTAGE HEATING	15
I.A. Kornev, M.A. Kobets, V.Y. Yavchunovsky	STUDY OF TEMPERATURE REGIMES OF THE HEATING COIL ELEMENTS IN DIFFERENT CONDITIONS OF HEAT SINK PART 2. CASES WITH DC AND AC VOLTAGE HEATING AND VARIABLE CONDITIONS OF HEAT SINK ALONG THE LENGTH OF HEATING ELEMENT	22
V.V. Novoselov, S.V. Ovchinnikov	CALCULATION OF THE TEMPERATURE OF GAS, PASSING THROUGH A GAS METER, DEPENDING OF THE AMBIENT TEMPERATURE AND THE TEMPERATURE OF THE SURFACE OF THE COUNTER, AS WELL AS OF GAS FLOW	30
ELECTROMAGNETISM		
A.S. Shapovalov, L.M. Minkin, S.A. Shapovalov	ABOUT ONE COEFFICIENT OF THE COLLECTIVE TRANSFORMATION OF NOISES OF THE MULTIDIODE MICROWAVE OSCILLATOR	35
OPTICS		
S.A. Gerasimov, V.S. Lysenko	ON HEAT CONTRIBUTION TO PHOTOELECTRIC CURRENT IN A LIQUID	39
G.N. Ten, A.F. Krylov	ABOUT SOME PROPERTIES OF FUNCTIONS MASSIE-PLANK	41
THEORETICAL PHYSICS		
G.E. Garber	PROOF OF THE STABILITY OF ELECTRON ORBITS IN THE GENERALIZED BOHR'S MODEL OF ATOM ON THE BASIS OF QUANTUM THEORY	43
EDUCATION: METHODOLOGICAL DEVELOPMENT		
A.S. Shapovalov, V.A. Ovchinnikov, S.A. Shapovalov	ABOUT A METHOD AND RESULTS OF APPLICATION OF THE TRAINING AERODYNAMICS STAND FOR MEASURING OF THE HYDRAULIC COEFFICIENT OF FRICTION	48
M.A. Starshov, S.V. Churochkina I.A. Shapovalova	THE MYSTERY OF 1320 SECONDS	53
	USING OF BASIC DIDACTIC PRINCIPLES IN TEACHING OF ENGLISH LANGUAGE WITH THE HELP OF COMPUTER	56
A.S. Shapovalov, I.A. Ermolaev A.V. Saprygin	ON THE PROGRAM OF THE COURSE «ANALYSIS OF NON-STATIONARY PROCESSES IN SYSTEMS OF APPLIED PHYSICS» FOR BACHELOR PHYSICS STUDENTS	58
A.S. Shapovalov, I.A. Ermolaev A.V. Saprygin	ON THE PROGRAM OF THE COURSE « FUNDAMENTALS OF DIGITAL, PULSE AND ANALOG CIRCUITRY» FOR BACHELOR PHYSICS STUDENTS	70
A.S. Shapovalov, I.A. Ermolaev A.V. Saprygin	ON THE PROGRAM OF THE COURSE «THE IMPULSE SIGNALS IN THE SYSTEMS OF APPLIED PHYSICS» FOR BACHELOR PHYSICS STUDENTS	79
A.S. Shapovalov, I.A. Ermolaev A.V. Saprygin	ON THE PROGRAM OF THE COURSE «THE IMPULSE DEVICES OF APPLIED PHYSICS» FOR BACHELOR PHYSICS STUDENTS	89
	INFORMATION FOR THE AUTHORS	98
	SAMPLE OF AN ARTICLE	99
	LIBRARIES, RECEIVING THE COPIES OF THE CURRENT ISSUE	100
	LIST OF THE AUTHORS	101
	CONTENTS IN RUSSIAN	102
	CONTENTS IN ENGLISH	103
	AT THE END OF THE ISSUE. FROM THE COLLECTION OF M.STARSHOV	105

ПРИБЛИЖАЕТСЯ ЮБИЛЕЙ
ПРОФЕССОРА **ВИКТОРА ПЕТРОВИЧА СТЕПАНЧУКА**.
РЕДАКЦИЯ СБОРНИКА
«ВОПРОСЫ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ»
ПРИСОЕДИНЯЕТСЯ К ПОЗДРАВЛЕНИЯМ
КОЛЛЕГ ПО КАФЕДРЕ И ФИЗИЧЕСКОМУ ФАКУЛЬТЕТУ!!!

Дорогому коллеге
профессору
Виктору Петровичу **Степанчуку**

День рождения не нов. Где уж нам – ведь даже гений
Не найдёт для поздравлений подходящих новых слов.
Но в потоке славословья всё же поиски нужны.
Счастья, радости, здоровья – разве нет в них новизны?

*Твои друзья с факультета нелинейных процессов и
особенно с родной тебе
кафедры электроники, колебаний и волн.*



Слева – молодой декан физического факультета СГУ.

«...Именно в тот период появляется один из прекрасных примеров для всего СССР – созданный М.М. Лаврентьевым Новосибирский Академгородок, куда приезжает молодая талантливая молодёжь...»

АБРАМОВА Мария Алексеевна, дпн, снс ИФРСО РАН, профессор, Новосибирск// Философия образования, 2012, №4(43), С.198.

Всё бы хорошо, только отца создателя звали *Алексеем!*

Литература к статье докторанта Ф. ШИШКИНА в журнале «Наука и школа», 2008, №5, С.30:

1. М. Джермер...
2. Крижниц Д.А....
3. Мяснищев В.Н....

Конечно, имеются в виду М. Джермер, Д. Крижниц и В. Мяснищев.

«...в XVIII в. химики также устремились к математике, желая привести и *e*’*e*, вслед за механикой, к образцовой точности и математической строгости».

СОЛОВЬЁВ Ю.И., КУРАШОВ В.И. Химия на перекрестке наук. М., 1989. С.80.

«...издательской деятельности Николая Святогорца (VXIII в.)...»

НЛО 2006, №4, С.423.

«25.01.13 – Орск

II-я международная заочная конференция “Инновационные материалы и технологии в машиностроительном производстве”...»

25-27 сентября 2012 года в Москве на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана состоится *XII-я* конференция стран Содружества "Современный физический практикум".

и это заразная болезнь – в апреле состоялся съезд журналистов, десятый, так там все любовались этим номером: X-

Томск. The *XXVth* International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum (*XXVth* ISDEIV) 1 сен. 12 г. сайт Элементы

«...Удельный вес ртути был специально измерен Робертом Бойлем в 1627 г...»

ДОРФМАН Я.Г. Всемирная история физики. М., 1974. С.95. +С.161: «...знаменитым Робертом Бойлем (1627-1691)...»

«...*PV=RT*. Это уравнение было найдено Менделеевым И НЕЗАВИСИМО от него КЛАПЕЙРОНОМ»

ЧУЛАНОВСКАЯ И.В. Курс физики для биологов. Л., 1972. С.78. По Храмову Д.И. Менделеев это сделал в 1874, Клапейрон умер в 1864-м...

Ну и Ван дер ВААЛЬС в 1873-м внёс в уравнение 1874 года свои поправки...

«...Опыт показывает, что две покоящиеся частицы среды, обладающие зарядами e_1 и e_2 , взаимодействуют между собой с силой, АНАЛОГИЧНОЙ СИЛЕ ПРИТЯЖЕНИЯ МЕЖДУ МАССАМИ...», СЕДОВ Л.И, акад. Механика сплошной среды. 6-е изд., Т.1. М.: Лань, 2004.

Матросов, Виктор Леонидович, ректор МПГУ. *Теоритические основы информатики*. Академия, б.г. ISBN отсутствует
22 июн. 12 г. на сайте.

Журнал «Медицинская техника», 2008, №2. С.24.
В.И. ВОЛКОВ, Д.Ю. КОЗЛОВ
Алгоритм г.м.у.

В конце статьи: *V.I. KOZLOV, D.Yu. VOLKOV*

«...в 2012 доля учёных пенсионного возраста превысила 40%, это просто кадровая катастрофа!» министр образования Д. ЛИВАНОВ.
Поэтому на три года заморозим приём новых членов в академию...

«...на Россию приходится 2% публикаций в международных научных журналах...» Видимо, по этой причине вынужден работать профессором в Париже экономист с мировым именем С. Гуриев...

«...Проверка 1,5 тысяч работ с высокими баллами дала 77% выявленных нарушений...» депутат Госдумы В. Бурматов о ЕГЭ
Учительская газета, 2013, №27, С.22..

«... первоначально галактика HFL53 была замечена на снимке в субмиллиметровом диапазоне, как маленькое *КРАСНОЕ* пятно...»
НЖ 2013, №7, С.15.

«...Если, скажем, $N=100$, то мы получим выигрыш в 2^{100} раз, что ПРИМЕРНО равно миллиону...»
МЕНСКИЙ М.Б., профессор, ФИАН им. П.Н.Лебедева, г. Москва //ФИЗИКА, 2006, №4. $100/\lg 2=30$, 10^{30} =миллион?! Пора повторить логарифмы...

ИЗ РЕФЕРАТИВНОГО ЖУРНАЛА «ФИЗИКА»:

1987-3A77. Охлаждение образца в жидкий азот при погружении. Cooling by immersion in liquid nitrogen.

1996-1A76. Как *Martian* может нас видеть: неутешительные мысли об экспериментальной физике. As a Martian might see us: Subversive reflections on the practice of physics.