ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА

(микроэлектроника и оптотехника, инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями)

XVI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

25 – 26 апреля 2019 г.

СБОРНИК ТРУДОВ

ТОМ 2

СЕКЦИИ 4,5

СМОЛЕНСК
2019

УДК 621.31+621.3+536+621.1+62.003+621.38
И74

Р е ц е н з е н т ы :
Доктор технических наук, профессор Якименко И.В.
Кандидат технических наук, доцент Беляков М.В.
Кандидат технических наук, доцент Синявский Ю.В.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА (микроэлектроника и оптотехника, инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями). Сб трудов XVI-ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В 3 т. Т 2. – 2019. – 314с.

ISBN 978-5-91412-413-4

В сборнике публикуются труды участников Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Информационные технологии, энергетика и экономика», состоявшейся 25 – 26 апреля 2019 г. в филиале ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, в которых изложены результаты оригинальных научно-технических работ в области микроэлектроники и оптотехники, инновационных технологий и оборудования в промышленности, управления инновациями.

Издание предназначено для научных работников и преподавателей вузов, магистров и аспирантов, осуществляющих исследования в данных научных областях.

ISBN 978-5-91412-413-4

©Авторы
©«Универсум»
© филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. 2019

СЕКЦИЯ 4
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ОПТОТЕХНИКА

В.О. Аббасов, маг.; рук. С.А. Образцов, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ЛАЗЕРНЫЙ ДАЛЬНОМЕР

Лазерные измерители дальности находят широкое применение в современных промышленных и бытовых конструкциях. Основным их преимуществом является высокая точность измерения (лучше 0,1%) при отсутствии непосредственного контакта.

Существует ряд методов измерения дальности с помощью лазеров, из которых выделяют импульсный и триангуляционный методы. Импульсный метод заключается в измерении времени прохождения светового импульса от лазера до объекта и обратно, до приемника. При этом к быстродействию лазера, приемника излучения и аппаратуры измерения временной задержки предъявляются очень высокие требования. Расстояние от лазера до объекта

$$l = \frac{ct_{зд}}{2},$$

где c — скорость света, $t_{зд}$ — время задержки.

Таким образом, времени задержки 1 нс соответствует расстояние 15 см, поэтому при измерении малых расстояний импульсным методом имеется значительная погрешность, связанная с инерционностью лазера и фотоприемника, а также с низкой точностью измерения наносекундных интервалов времени.

Другим методом измерения дальности при помощи лазера является триангуляционный метод [1], основанный на геометрии треугольника (рис. 1).

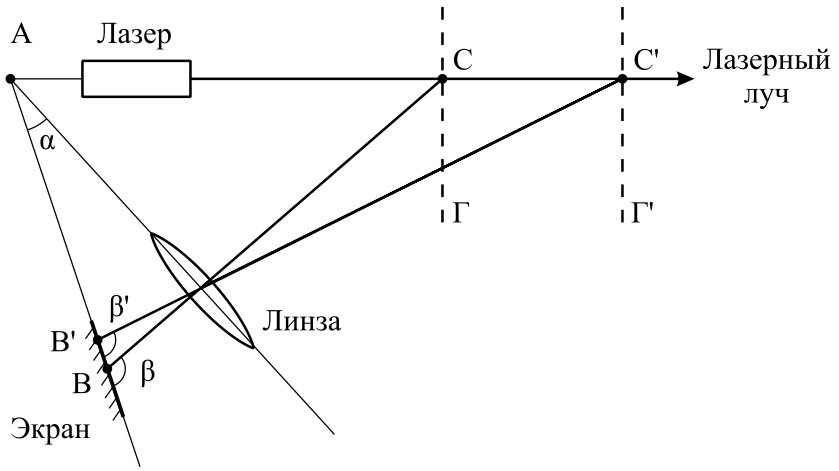


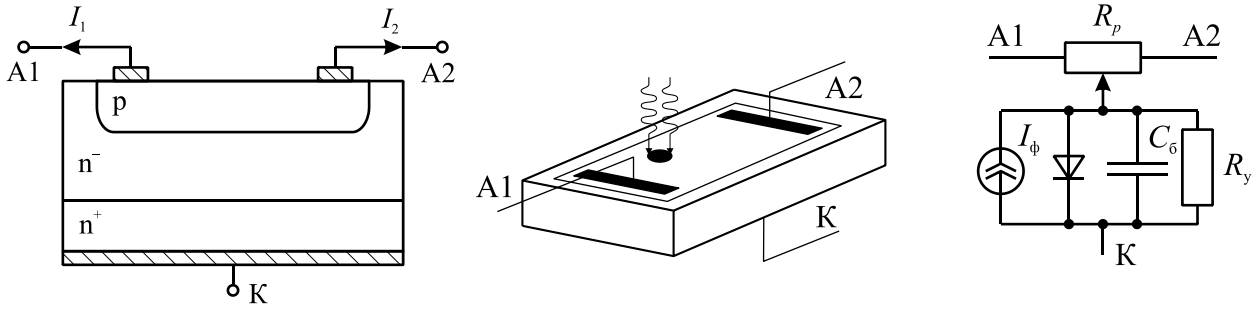
Рис. 1. Триангуляционный метод измерения дальности

По известному положению точек A и B и углам α, β можно однозначно определить положение точки C. Лазер посылает узконаправленный пучок света, который достигает поверхности Г в точке C. Если поверхность Г не зеркальная,

то свет диффузно отражается во всех направлениях, интенсивность отраженного света определяется свойствами поверхности. Если же установить линзу (объектив) таким образом, что его оптическая ось проходит через точку С, то отраженный пучок света, проходя через объектив, будет фокусироваться в точке В. При перемещении поверхности Г в новое положение Г' изображение точки С' переместится в точку В'. Таким образом, расстояние до объекта можно определить по положению его изображения на экране. При измерении расстояний триангуляционным методом полупроводниковый лазер может иметь малое быстродействие.

Для определения позиции падающего на экран пучка света могут быть использованы приборы с зарядовой связью (ПЗС), либо аналоговый датчик положения (PSD — position-sensitive detector). ПЗС представляет собой матрицу дискретных светочувствительных элементов. Фотоны, поглощенные в объеме полупроводника каждого элемента, генерируют неосновные носители, заряжающие МОП-конденсаторы, причем величина заряда пропорциональна интенсивности света. Определение положения светового пучка производится путем считывания информации с ячеек ПЗС.

Структура датчика PSD представлена на рис. 2, а. На полупроводниковой подложке n^- методом ионной имплантации получены 2 слоя: n^+ и р. К противоположным концам резистивного р-слоя присоединены два электрода (анода), на слой n^+ нанесена металлизация катода. Таким образом, датчик PSD представляет собой кремниевый фотодиод с пространственным анодом и двумя анодными электродами. В точке падения пучка света на анод возникает фотоэффект. Образовавшиеся носители заряда движутся в р-области по направлению к анодным электродам, находящимся в общем случае на разном расстоянии от точки падения пучка. Область анода можно представить, как потенциометр с положением движка в точке возникновения фотоэффекта (рис. 2, в).



а) б) в)

Рис. 2. Структура датчика PSD (а), внешний вид (б), схема замещения (в)

Если р-область в горизонтальном направлении легирована равномерно, то положение луча можно определить по соотношению токов

$$x = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2} \cdot \frac{W}{2},$$

где W — расстояние между анодами.

Сравнивая ПЗС и PSD, можно прийти к выводу, что в лазерных дальномерах для определения положения изображения предмета (точки B) на экране предпочтительнее использовать датчики PSD. Это объясняется существенными преимуществами PSD по сравнению с ПЗС: высокая точность позиционирования (0,1%, при калибровке — до 0,05% и лучше), широкий спектр принимаемого сигнала (400–1100 нм), высокое быстродействие, детектирование «центра масс» светового пятна [2]. ПЗС имеет намного меньшую точность позиционирования из-за сравнительно больших размеров светочувствительных элементов и наличия диэлектрической перегородки между ними.

На фотоприемник наряду с отраженным лазерным лучом попадает фоновый свет, который по интенсивности может превосходить полезный сигнал и вносить значительную ошибку в измерения. Для уменьшения влияния фоновой засветки применяют оптические фильтры, ослабляющие интенсивность света с длиной волны, отличной от длины волны используемого лазера.

Для полной компенсации фонового излучения можно измерять не абсолютные величины токов I_1 и I_2, а их приращение — разность при выключенном и включенном лазере [3]. Тогда координата центра светового пятна

$$x = \frac{(I_1^{'} - I_1) - (I_2^{'} - I_2)}{(I_1^{'} - I_1) + (I_2^{'} - I_2)} \cdot \frac{W}{2} = \frac{\Delta I_1 - \Delta I_2}{\Delta I_1 + \Delta I_2} \cdot \frac{W}{2},$$

Фоновое излучение не остается постоянным, поэтому уровень фона измеряется и компенсируется при каждом измерении.

Погрешность позиционирования определяется нелинейностью датчика PSD и уровнем шумов. Нелинейность датчика составляет, как правило, не более 0,1%, причем ошибка нелинейности увеличивается с ростом координаты по закону, близкому к линейному (рис. 3) [4].

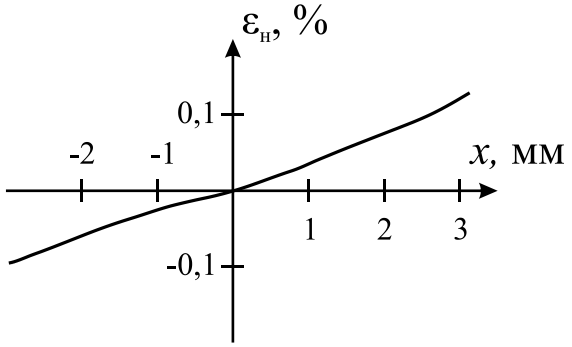


Рис. 3. Зависимость ошибки нелинейности от координаты

Для компенсации ошибки необходимо линейно аппроксимировать зависимость $\varepsilon_н(x)$ и вычислять действительное положение центра светового пучка

$$x = x_{изм} + \varepsilon_н(x_{изм}) \cdot \frac{W}{2} = x_{изм} + \alpha x_{изм} \cdot \frac{W}{2} = x_{изм} \cdot \left(1 + \frac{\alpha W}{2}\right),$$

где $x_{изм}$ — измеренная координата центра пучка.

Коэффициент α линейной аппроксимации зависимости определяется по результатам калибровки датчика с использованием метода наименьших квадратов

$$\sum_i \left(\varepsilon_i - \frac{\alpha W}{2} \cdot x_i \right)^2 \to \min ,$$

где ε_i — относительная погрешность нелинейности датчика PSD при измерении расстояния x_i.

$$\alpha = \frac{2}{W} \cdot \frac{\sum_i \varepsilon_i \cdot x_i}{\sum_i x_i^{\,2}},$$

Минимально возможная погрешность датчика PSD, достижимая после калибровки, определяется уровнем шумов.

Можно показать, что погрешность измерения дальности методом триангуляции

$$\varepsilon = \varepsilon_{PSD} \cdot \frac{W}{2F},$$

где F — фокусное расстояние линзы.

Таким образом, погрешность измерения уменьшается с увеличением фокусного расстояния линзы (т.е. с увеличением габаритов прибора), а также при уменьшении ширины датчика, приводящем к сужению диапазона измерения.

Функциональная схема лазерного дальномера приведена на рис. 4.

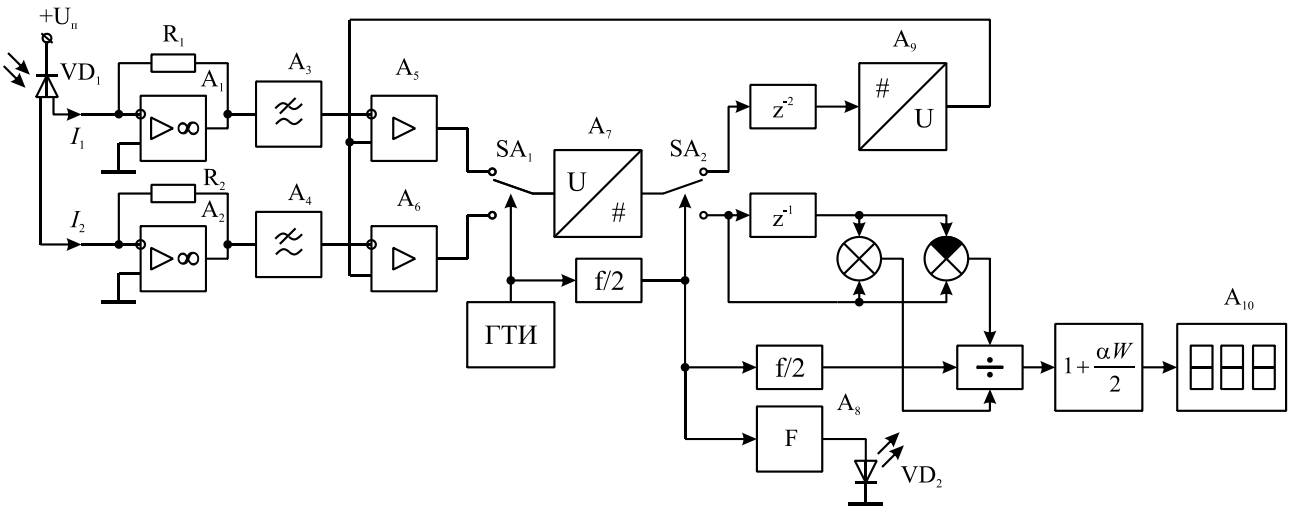


Рис. 4. Функциональная схема лазерного измерителя дальности

Измерение дальности в лазерном дальномере производится за четыре такта генератора тактовых импульсов ГТИ. Операционные усилители A_1 и A_2 преобразуют токи I_1 и I_2 датчика PSD VD_1 в напряжение. Далее сигнал фильтруется ФНЧ и усиливается дифференциальными усилителями A_5, A_6. Коммутатор SA_1, переключающийся на каждом такте, подключает соответствующий канал к входу АЦП A_7. Коммутатор SA_2, переключающийся каждые два такта, подает сигнал в цифровую линию задержки на два такта z^{-2}, либо в цифровой блок расчета координаты, состоящий из линии задержки z^{-1}, сумматоров и делителя.

Выходной сигнал делителя корректируется с учетом ошибки нелинейности. Результат измерения отображается на индикаторном устройстве A_{10}.

Формирователь A_8 управляет лазером VD_2, включая и выключая его через каждые два такта.

Компенсация фонового излучения осуществляется с помощью ЦАП A_8 и дифференциальных усилителей A_5, A_6. Во время измерений с выключенным лазером линия задержки z^{-2} фиксирует значения токов I_1 и I_2, при этом на выходе линии наблюдается нулевой сигнал. Затем по прошествии двух тактов включается лазер, линия z^{-2} выдает сохраненное значение тока I_1, которое вычитается дифференциальным усилителем A_5 из измеряемого при включенном лазере. Аналогичные действия выполняются в течение следующего такта. Таким образом, расчет дальности производится не по абсолютным значениям токов, а по их приращениям.

Разработанный лазерный дальномер может быть применен при измерении габаритов строительных объектов, расстояний в труднодоступных местах, а также при таможенном контроле и проч.

Литература

1. Makynen A. Position-sensitive devices and sensor system for optical tracking and displacement sensing application. — Oulu: Oulun Yliopisto, 2000.

2. Stenberg L. The PSD school. — ESDE AB, 2002.

3. Селиванов Д. Высокоскоростной лазерный дальномер // Схемотехника. — 2003. — №11. — С. 10–12.

4. Position-sensitive detector. Japan: Hamamatsu Photonics, Solid State Division, 2003.

В.А. Дорман, курсант, И.Э. Алексанян, к.т.н., ст. преподаватель.
(ВА ВПО ВС РФ, г. Смоленск, РФ)

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ: НОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ, НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Электроэнергетика – отрасль экономики Российской Федерации, включающая в себя комплекс экономических отношений, возникающих в процессе производства (в том числе производства в режиме комбинированной выработки электрической и тепловой энергии), передачи электрической энергии, оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, сбыта и потребления электрической энергии с использованием производственных и иных имущественных объектов. Основной составляющей (площадкой) электроэнергетики является электроэнергетическая система.

Электроэнергетическая система представляет собой совокупность электротехнических устройств, которые обеспечивают производство, преобразование и распределение электрической энергии и тепла при общем управлении этим режимом. В современном, быстро развивающемся мире, в эту совокупность может вклиниться ещё одно устройство, ещё один процесс:3D-принтер и процесс 3D-моделирования. Аддитивные технологии – одно из самых перспективных направлений в российском промышленном секторе. В стране уже сформирован пул производителей настольных и промышленных 3D-принтеров,

подготавливается собственная сырьевая база. Более того, отечественные компании намерены выходить на зарубежный рынок и даже предлагать миру уникальные технологии. Моделирование режимов работы, 3D-моделирование элементов электроэнергетической системы является важной технической задачей, так как позволяет прогнозировать и планировать загрузку оборудования в зависимости от изменения графика потребления электроэнергии, исследовать установившиеся и переходные процессы в энергосистеме для выбора электротехнического оборудования и решать другие задачи. В электроэнергетике 3D-моделирование появилось не так давно, но уже завоевало всеобщую славу. Визуализация объекта и чёткая детализированность энергетических объектов позволяет ещё в процессе моделирование избежать ошибок и просчётов. Ни для кого не секрет, что работа энергетиков связана с определённым риском, так как большинство обслуживаемых конструкций находятся на достаточно большой высоте. И именно такой вид моделирования помогает не только до мельчайших деталей продумать всю конструкцию, но и предусмотреть комфортабельную и безопасную работу сотрудников. Сложные и опасные процессы не обязательно изучать на практике, ломая технику, – их же можно смоделировать.

Например, при моделировании сетей ТЭЦ (теплоэлектроцентраль) можно легко импортировать фотографию нужного сооружения, и топографию местности из Google Earth, а затем построить интересующее виртуальное здание-модель на фундаменте, на котором будет спутниковая фотография здания-прототипа [1]. Виртуальное моделирование энергоблоков тепловых электростанций (ТЭС) может стать универсальным инструментом управления их жизненным циклом. Моделирование технологических процессов может оказать существенную помощь в прогнозировании и определении остаточного ресурса оборудования, может подсказать износ оборудования, спрогнозировать выход из строя того или иного агрегата.

С появлением сверхмощных вычислительных комплексов стало возможным создавать виртуальные модели для реализации жизненного цикла оборудования ТЭС. Специалисты фонда «Энергия без границ» разрабатывают основы виртуального моделирования сложных технологических систем, виртуального моделирования энергоблоков и ТЭС на всех стадиях их жизненного цикла на базе методологии CALS, предсказательного и имитационного моделирования, технологий проектирования 3D, 4D. Данная разработка позволит оптимизировать трудозатраты и обеспечит корректное и вариантное моделирование энергоблоков и станций.

В последнее время все чаще можно услышать о 3D-моделировании и его необходимости. 3D-моделирование – процесс создания визуально-объёмного образа объекта. С помощью трёхмерной графики можно создать любое сооружение, которое даже никогда и не существовало на планете. В промышленном проектировании очень важно моделировать будущий проект: будь это теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) или цементный завод, так как при проектировании учитывается любая, даже самая мелкая деталь, что исключает многие ошибки при воплощении проекта в жизнь.

Однако, на практике, в нашей стране, развивается более-менее моделирование для создания 3D-моделей стационарных объектов. Декларируемые слова о необходимости очередного прорыва, не всегда подкреплены реальными действиями. Команда инженеров концерна Siemens более года разрабатывала путь усовершенствования изготовления конструкции лопаток газовых турбин. Результатом их исследований стал настоящий прорыв в области моделирования. И, как ожидаемо, главное место в новой технологии заняли порошковые материалы и 3D-печать. Успешные испытания новых лопаток служат прекрасным доказательством будущего 3D-печати в нашей отрасли. Процесс литья и ковки лопаток крайне трудоёмкий и энергозатратный, а, следовательно, дорогостоящий. В процессе высок риск получения бракованной продукции. Аддитивное производство существенно упростило производство и сократило срок от начала разработки модели до получения готовой продукции с двух лет до двух месяцев! Не будем сейчас вдаваться в тонкости и детальные подробности изготовления столь важной детали энергетического оборудования. Но хочется особо подчеркнуть, с учётом того, что лопатки – это расходные материалы, обоснована целесообразность покупки, а ещё лучше, самостоятельного производства таких принтеров для нужд ИнтерРАО. К примеру, при плановом ремонте газотурбинных установок это снизит зависимость от импортных комплектующих, что является немаловажным фактором в наши дни с учётом геополитической обстановки, и повысит энергобезопасность РФ. Можно наладить изготовление узлов и агрегатов до состояния полной заводской готовности, без сварных соединений (мест концентрации напряжений) для нужд электростанций, что позволит уменьшить время нахождения при пуско-наладочных работах шеф-инженеров компаний (безумная экономия денег) и сократит сроки пуско-наладочных работ. С помощью 3D-технологий появляется возможность заранее спланировать работу и убедиться, что все получится уже с первой попытки.

Моделирование энергосистем и их вторичного оборудования в реальном времени является общепризнанным и востребованным методом исследования энергосистем, оптимизации их функционирования, анализа работоспособности, обучения и т.д. На данном этапе главными потребителями аддитивных технологий являются такие корпорации как Роскосмос, Ростех, Росатом и различные промышленные организации.[2] Однако в энергетической отрасли уделяется крайне мало внимания столь прорывной технологии.

Литература

1. Ермолаева В. В., Николаев И. С. 3D-моделирование в энергетике // Молодой учёный. – 2014. – №9. – С. 148-150. – URL https://moluch.ru/archive/68/11730/ (дата обращения: 13.03.2019).
2. Интернет-ресурс https://www.innoprom.com/media/letters/additivnye-tekhnologii-v-rossii-unikalnye-razrabotki-rynok-sbyta-i-gospodderzhka-/

А.С. Амелин, студ.; рук. С.А. Амелин, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПОЛУЧЕНИЕ ВНЕШНЕЙ (НАГРУЗОЧНОЙ) ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ПРОГРАММЕ MICRO-CAP

При анализе работы какого-либо устройства силовой электроники как правило, необходимо знать вид его внешней (нагрузочной) характеристики. Обычно такая задача встает при исследовании новых топологий устройств преобразовательной техники. Но она актуальна и при создании непрерывных моделей преобразователей напряжения, поскольку для проверки адекватности таких моделей проводится сравнение расчета по полной (ключевой) модели и по непрерывной [1]. Поэтому исследование особенностей построения внешней характеристики преобразователей напряжения средствами программ схемотехнического моделирования является актуальной задачей.

Классически внешней (нагрузочной) характеристикой источника напряжения называют зависимость выходного напряжения от выходного тока [2]. У идеального источника ЭДС эта характеристика параллельна оси тока (внутреннее сопротивление равно нулю). Чем больше внутреннее сопротивление, тем больше уменьшается напряжение с ростом тока, график становится наклонным («падающая» характеристика). Величина наклона определяется внутренним сопротивлением источника.

На практике эту характеристику снимают, изменяя сопротивление нагрузки и измеряя ток и напряжение при каждом значении сопротивления. Точно так же можно делать и при моделировании в Micro-Cap, задав изменение сопротивления в *Stepping* [3].

Но, к сожалению, получить классическую внешнюю характеристику при этом не удастся. *Stepping* позволяет получить серию графиков зависимости напряжения от времени и тока от времени, по которым лишь косвенно можно оценить зависимость величины тока от напряжения. Чтобы построить какой-либо график, нужно фактически обрабатывать результаты, выведенные на графики: анализировать ток и напряжения на участке, когда переходные процессы уже закончатся. Т.е. в последней точке расчета.

Для анализа результатов, представленных в виде графиков, предназначены функции *Performance*. Но у них есть существенное ограничение — с их помощью можно построить график зависимости только от изменяемого в *Stepping* параметра [3]. Поэтому для получения классической внешней характеристики приходится применять искусственный прием — организовывать *Stepping* не для сопротивления нагрузки, а для тока нагрузки. Т.е. заменить нагрузочное сопротивление источником тока. При этом сам переходный процесс (графики зависимости выходного напряжения от времени) будет существенно отличаться в первом и втором случае. Но для нагрузочной характеристики это не имеет значения, для её построения используется установившейся режим, в котором все переходные процессы уже завершились.

Для примера рассмотрим построение нагрузочной характеристики однотактного прямоходового преобразователя напряжения с размагничивающей обмоткой (рис. 1). Принцип действия этого преобразователя рассмотрен в [2].

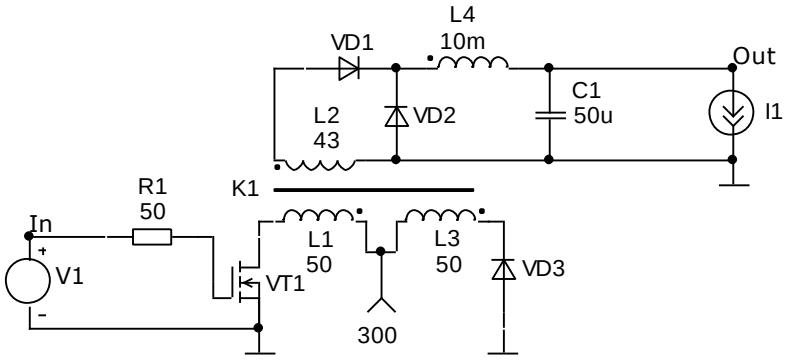


Рисунок 1 – Схема однотактного преобразователя напряжения с размагничивающей обмоткой

Преобразователь работает на частоте f = 40 кГц с коэффициентом заполнения управляющих импульсов D = 0,45, выдает выходное напряжение около 80 В и работает в режиме непрерывных токов дросселя до минимального тока 300 мА. Построение внешней характеристики будет проводиться в диапазоне токов нагрузки от 0,5 А до 10 А.

Сначала необходимо выполнить анализ переходных процессов *Transient* для крайних значений тока, выбирая время расчета таким, чтобы переходный процесс полностью закончился. При этом возникает серьезная проблема. При подключении источника тока вместо резистора переходный процесс становится сильно колебательным и время выхода на установившийся режим существенно возрастает (примерно до 500 мс), что соответствует 20 000 периодам коммутации (рис. 2).

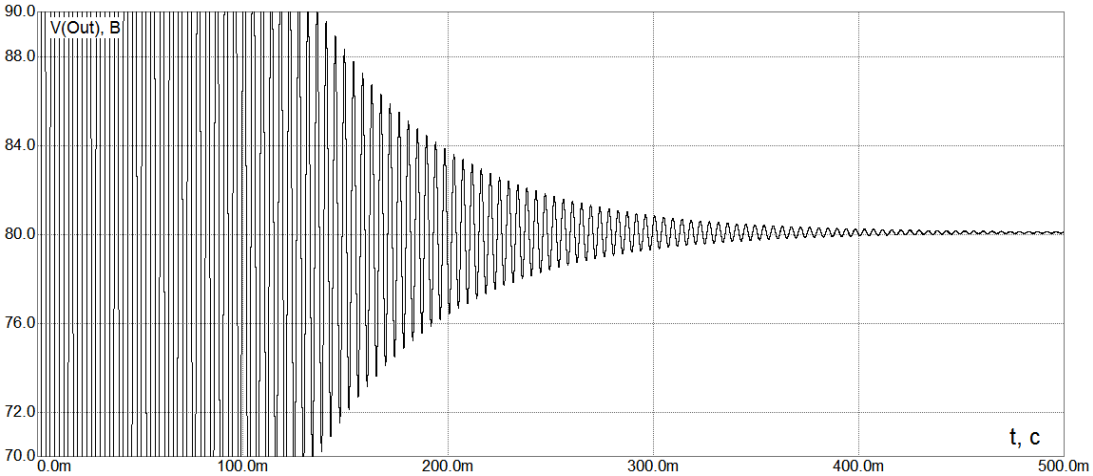


Рисунок 2 – Переходный процесс установления выходного напряжения с источником тока

Расчет 20 000 периодов коммутации даже на современных высокопроизводительных персональных компьютерах занимает достаточно много времени (несколько минут). И при этом вычисляются всего лишь одна точка нагрузочной характеристики. Для получения графика, построенного хотя бы по 20 расчетным точкам, потребуется больше часа. В большинстве практических применений такое время расчета является неприемлемым. Даже если попытаться усреднить

эти колебания функцией AVG (расчет среднего значения функции на заданном интервале), то нужной точности среднего значения выходного напряжения все равно приходится добиваться примерно всё те же 500 мс.

Ускорить процесс можно переключив точность расчета с обычной в точность для силовых схем. Это делается во вкладке *Global Settings* кнопкой *Power Default*. Но этого мало. И снова приходится прибегать к искусственному приему. Ток дросселя в установившемся режиме известен (он равен току нагрузки. Напряжение конденсатора тоже известно (примерно 80 В). Micro-Cap позволяет указать эти значения в качестве начальных условий расчета [3]. Тогда переходный процесс закончится быстрее. Начальный ток дросселя и начальное напряжение на конденсаторе задается директивой IC после параметра (емкости конденсатора и индуктивности дросселя). Т.е. в поле задания емкости надо написать 50u IC=80, а в поле задания индуктивности — 10m IC=10 (для выходного тока 10 А). Переходный процесс для среднего значения AVG(V(Out)) заканчивается существенно быстрее, примерно за 50 мс (рис. 3). Т.е. применение этого приема позволяет увеличить скорость расчета в 10 раз.

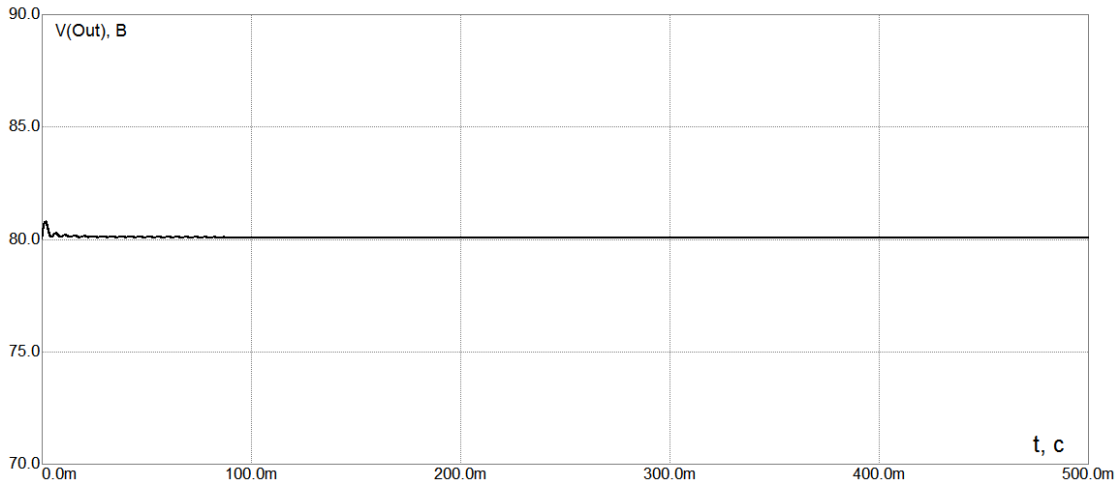


Рисунок 3 – Переходный процесс установления выходного напряжения при принудительной установке токов индуктивностей и напряжений конденсаторов

Такое время расчета уже приемлемо. Однако, если организовать степпинг по току (изменение тока с заданным шагом), то нужно одновременно менять и ток источника тока и директиву IC в параметрах индуктивности. Поэтому необходимо использовать символьную переменную, записать её и в источнике, и в директиве, а в степпинге организовать изменение этой символьной переменной.

Символьная переменная задается директивой .Define на поле схемы. Пусть это будет переменная с именем VAR. Также в директиве зададим её значение по умолчанию (например, 1): .Define VAR 1.

В поле задания индуктивности надо записать 10m IC=VAR, а в поле задания источника тока записать VAR вместо значения тока (рис. 4). Для задания степпинга символьной переменной в параметрах *Stepping* необходимо установить флажок *Symbolic*.

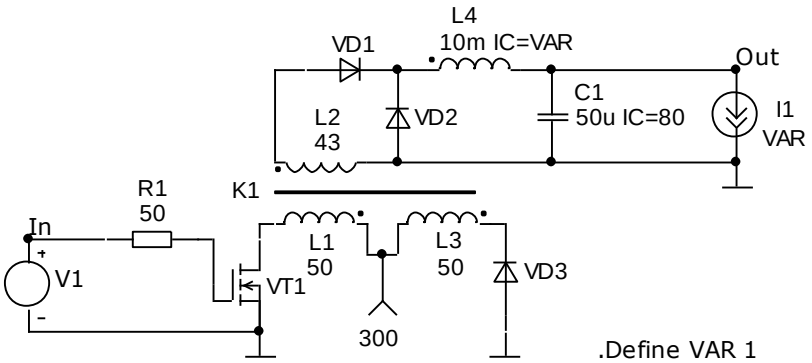
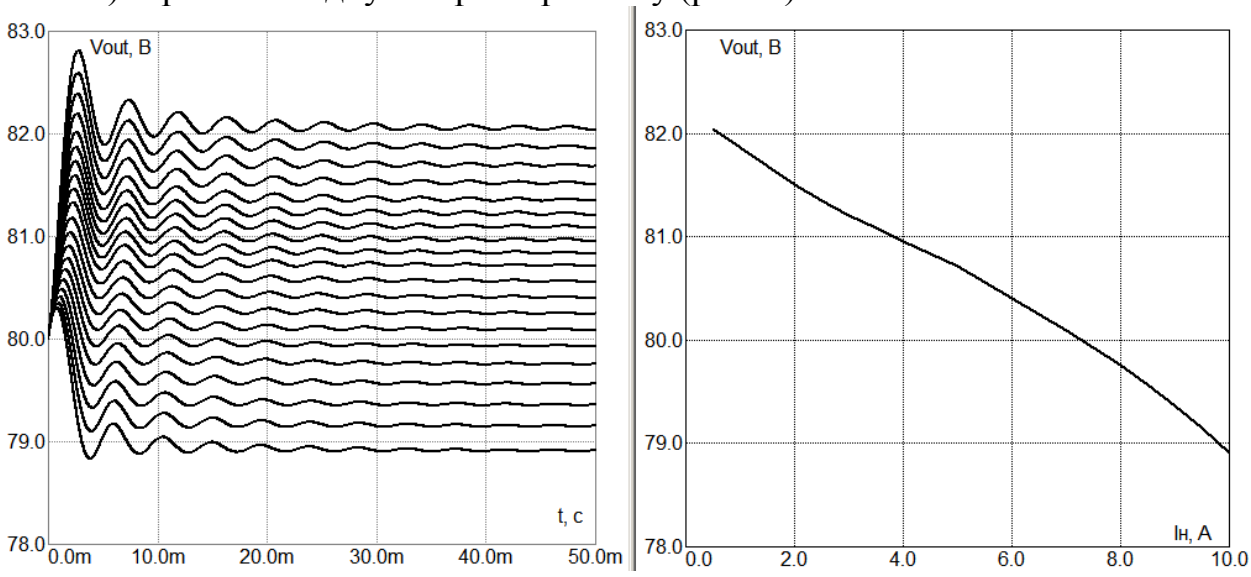


Рисунок 4 – Схема модели Micro-Cap для получения внешней характеристики преобразователя напряжения

Для построения внешней характеристики требуется значение напряжения в последней точке графика, полученного в анализе *Transient*. Значение в последней точке можно получить функцией *Y_Level* (это одна из функций *Performance*). Эта функция вычисляет значение по Y для заданной абсциссы X. В качестве X следует задать время, соответствующее последней точке расчета (т.е. записать Tmax).

После запуска анализа *Transient* с настроенным *Stepping* программа Micro-Cap строит семейство графиков зависимостей среднего значения выходного напряжения от времени при разных значениях выходного тока. Затем по значениям этого напряжения в последней расчетной точке (т.е. в установившемся режиме) строит выходную характеристику (рис. 5).



а б

Рисунок 5 – Результаты выполнения анализа Transient: а – семейство графиков установления выходного напряжения при различных токах нагрузки; б – внешняя характеристика

Теоретически график нагрузочной характеристик для этого преобразователя должен быть прямой линией [2]. Получен результат весьма близкий к прямой (рис. 5, б). Характеристика, как и следует из теории, «жесткая», т.е. напряжение мало меняется при изменении тока (в нашем случае при изменении тока от 0,5 А до 10 А (т.е. в 20 раз) напряжение меняется от 82 до 79 В, т.е. на

3,75%. Но если преобразователь окажется в режиме прерывистых токов дросселя, то выходное напряжение резко возрастет (рис. 6).

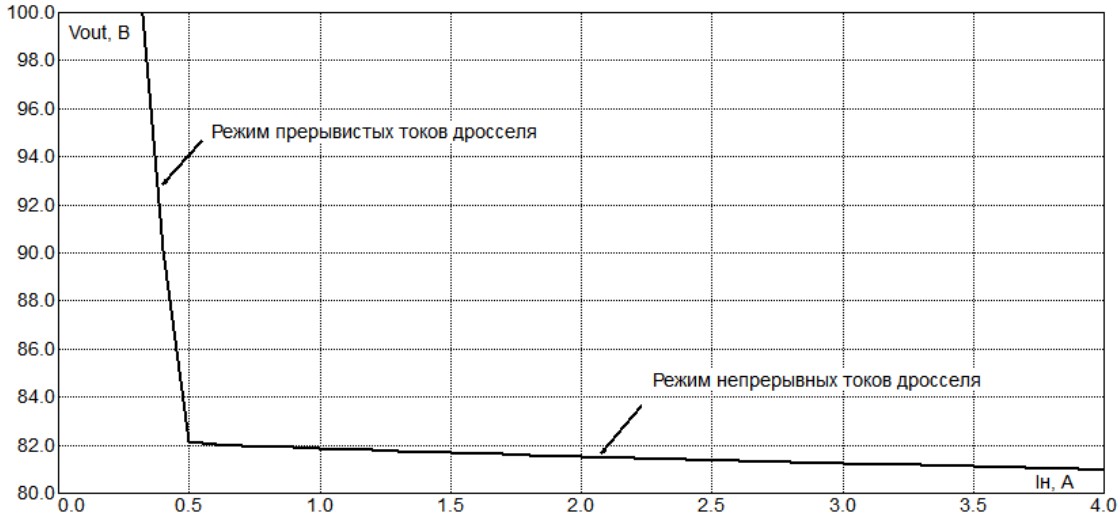


Рисунок 6 – Внешняя характеристика прямоходового преобразователя напряжения, работающего в области малых токов нагрузки в режиме разрывных токов дросселя

Рассмотренный метод можно использовать при построении внешней характеристики преобразовательных устройств в программе Micro-Cap 9. В старших версиях этой программы (v. 10–12) есть специальные средства, позволяющие еще больше ускорить процесс построения этой характеристики.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00343 А «Непрерывные математические модели импульсных преобразователей напряжения со сложной топологией».

Литература

Амелина М.А., Амелин С.А., Фролков О.А. Усовершенствование непрерывной модели импульсного регулятора напряжения // Вестник МЭИ. 2016. № 2. С. 70–74.

Поликарпов А.Г., Сергиенко Е.Ф. Однотактные преобразователи напряжения в устройствах электропитания РЭА. М.: Радио и связь, 1989.

Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10. [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Амелина М.А., Амелин С.А – Электрон. текстовые дан. – СПб. : Лань, 2014. – 632 с. Режим доступа: URL http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=53665

А.С. Амелин, студ.; рук. М.А. Амелина, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПО ЕГО НЕПРЕРЫВНОЙ МОДЕЛИ

Разработанная ранее непрерывная модель последовательно-параллельного преобразователя напряжения (см. статью «Построение непрерывной модели последовательно-параллельного преобразователя напряжения, работающего в режиме непрерывных токов дросселя») обладает очень важными свойствами – её можно использовать для построения частотных характеристик преобразователя

и выполнения анализа устойчивости замкнутых систем стабилизации на его основе [1].

При построении частотных характеристик средствами программы Micro-Cap проводится автоматическая линеаризация этой модели [1]. Представляет интерес проверка того, насколько корректно она выполняется. Для проверки была взята исходная нелинейная модель (рис. 1, а) и дополнительно построена линеаризованная модель (рис. 1, б).

Рис. 1 — Структурная схема моделей последовательно-параллельного регулятора напряжения: а – нелинейная непрерывная, б – линеаризованная непрерывная

Результаты моделирования по двум этим вариантам модели представлены на рис. 2. По полученным графикам видно, что модели ведут себя одинаково, следовательно, линеаризация выполнена верно и верен вывод относительно типа звена (колебательное звено с двойным левым полюсом LHPP последовательно с форсирующим звеном с правым нулём RHPZ), которым является преобразователь.

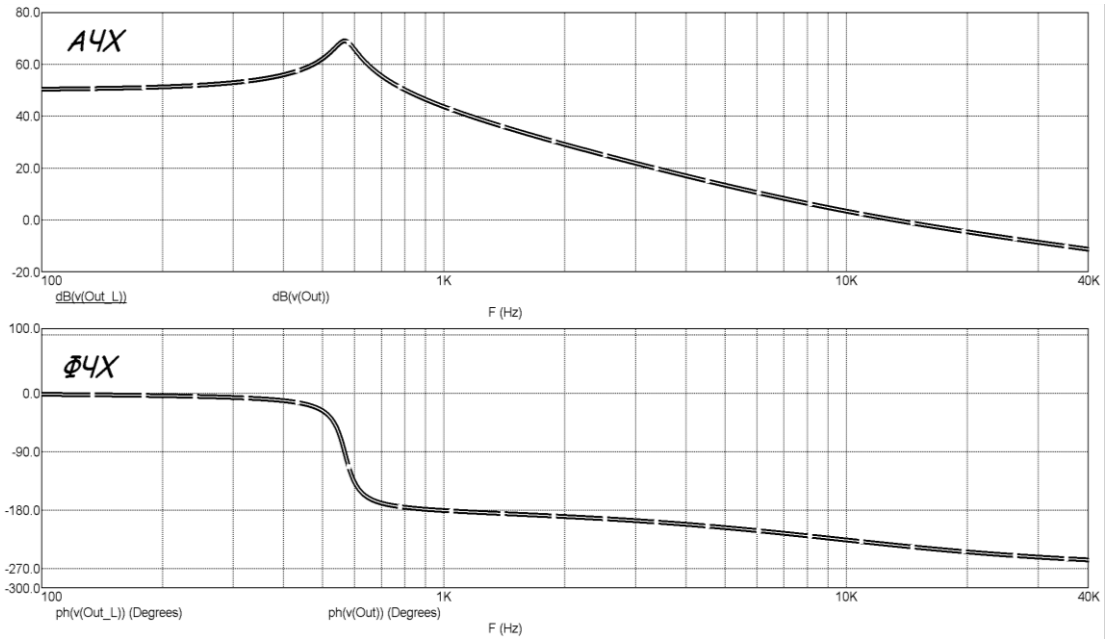


Рис. 2 — Построение частотных характеристик управление-выход с помощью нелинейной и линеаризованной моделей

Однако рассматриваемая система является системой с переменной конфигурацией, следовательно, она не непрерывна, а дискретна. Возникает вопрос о степени верности полученных характеристик силовой части или о частотном диапазоне адекватности характеристик. Для ответа на этот вопрос необходимо снять частотные характеристики полной имитационной (ключевой) модели регулятора. Для этой цели с успехом может использоваться симулятор PSIM [2].

В отличие от SPICE, PSIM сохраняет фиксированный временной шаг во время моделирования и считает все элементы идеальными без каких-либо потерь на проводимость во включённом состоянии (статические потери) или при переключении (динамические потери). Кроме того, симулятор использует кусочно-линейный алгоритм, который разделяет нелинейное поведение на кусочно-линейные фрагменты. При этом время симуляции значительно уменьшается! Схема модели PSIM для частотного анализа представлена на рис. 3.

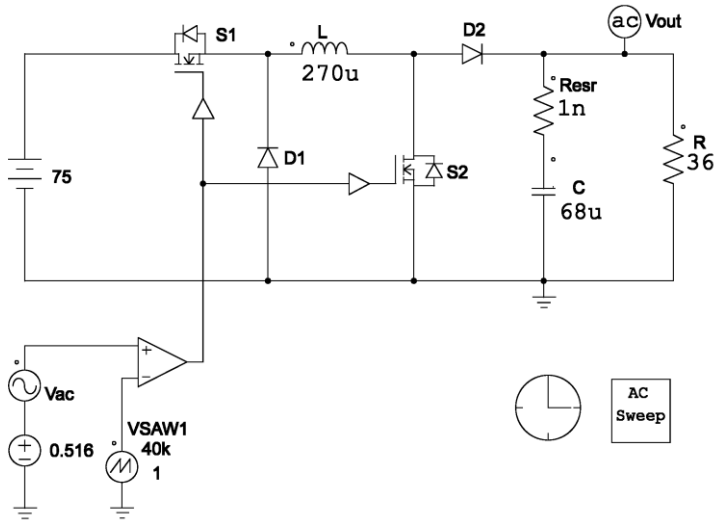


Рис. 3 — Схема для построения частотных характеристик управление-выход с использованием ключевой модели в среде симулятора PSIM

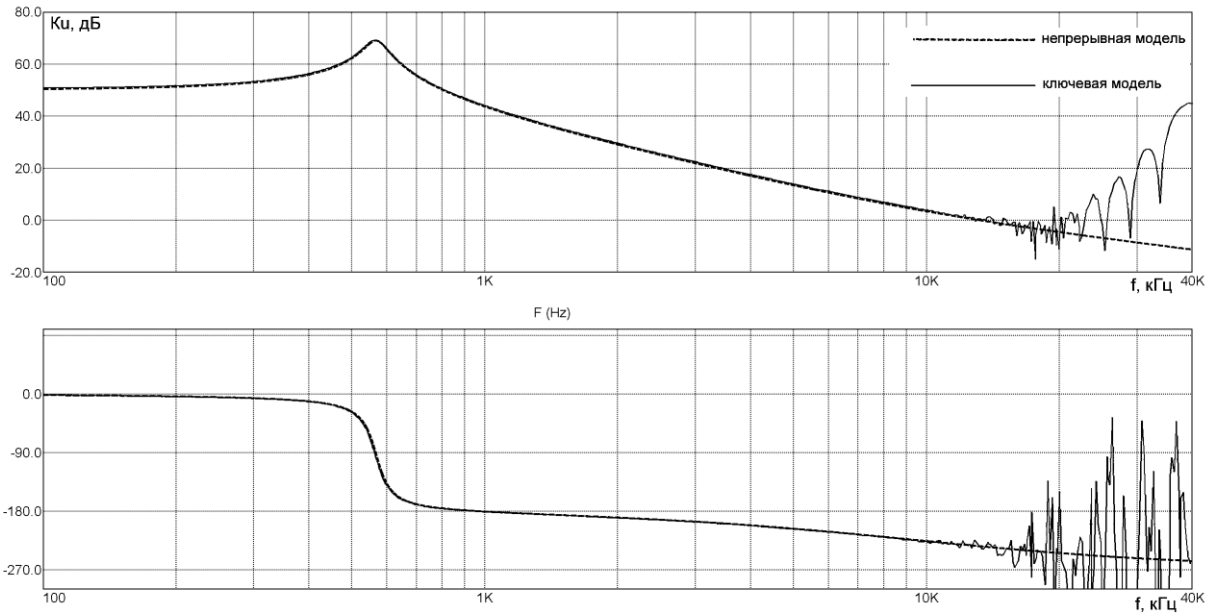


Рис. 4 — Частотные характеристик управление-выход с использованием ключевой модели в среде симулятора PSIM

Частотные характеристики управление-выход для малого возмущения в окрестности стационарного режима D=0.516, полученные с помощью моделирования в PSIM ключевой модели исследуемого преобразователя представлены на рис. 4. Они показывают полное совпадение с характеристиками, полученными с помощью непрерывных моделей примерно до половины частоты коммутации (в рассматриваемом случае — до 20 кГц). Это полностью согласуется с теоремой о дискретизации Котельникова-Найквиста.

Совпадение графиков доказывает адекватность модели и возможность её применения для анализа частотных свойств регулятора напряжения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00343 А «Непрерывные математические модели импульсных преобразователей напряжения со сложной топологией».

Литература

1. А.И. Гатина, М.А. Амелина Обеспечение устойчивости сетевого импульсного источника питания // ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА. Сб. трудов XIV-ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Т 2. 2017. С. 138–143.
2. B R. Redl, “Using PSIM for Analyzing the Dynamic Behavior and Optimizing the Feedback Loop Design of Switch Mode Power Supplies,” a training course on behalf of POWERSYS.

В.И. Антоненков, студ.; К.И. Базылев, студ.; А.А. Рыков, студ.;
рук. В.А. Смолин, ст. пр.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПРИМЕНЕНИЕ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ 3D ПРИНТЕРА

В современных конструкциях 3D-принтеров для домашнего использования отсутствует обратная связь, контролирующая положение экструдера. Это может привести к накоплению ошибки при пропуске шагов. Один из способов обеспечения обратной связи является монтаж на движущие оси торцевых датчиков угла поворота.

Ключевые слова: 3D-принтер, обратная связь, датчик угла поворота, энкодер.

Пропуск шагов двигателя в новых устройствах может быть вызван:

- неправильной настройкой драйверов двигателей;
- механическими перегрузками ШД;
- эффект резонанса ШД из за индуктивного характера нагрузки.
- механическими дефектами подвижных деталей;
- дефект линий передачи сигналов на драйвер ШД;

Обычная схема управления 3D принтером включает в себя микроконтроллер, драйвера шаговых двигателей, концевые датчики, датчики температуры и силовые ключи для управления двигателями.

На основе стандартной схемы была разработана функциональная схема 3D-принтера с обратной связью (рис. 1), дополнительно включающая в себя датчики угла поворота.

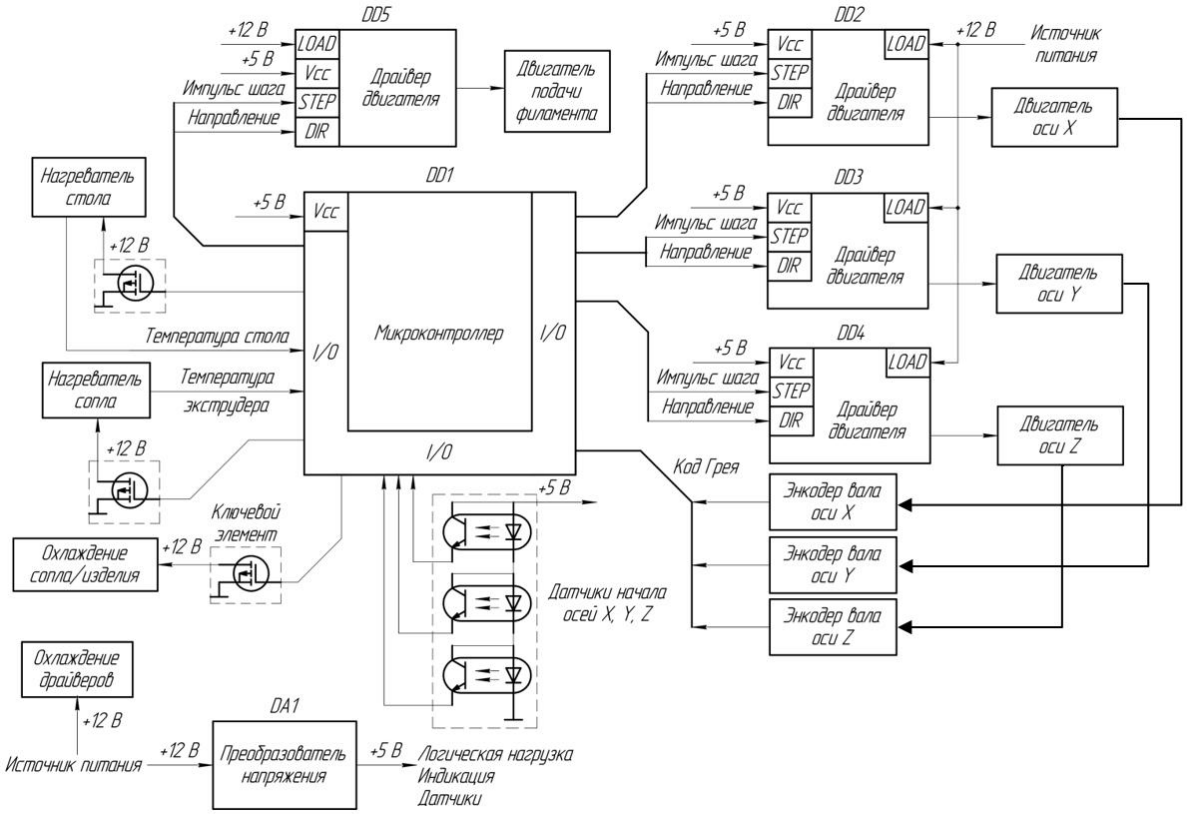


Рисунок 1 — Функциональная схема 3D-принтера

Для считывания угла поворота экструдера предполагается использовать энкодеры с большим количеством шагов на один оборот. Это обеспечит детектирование вплоть до сотых долей градуса. Примером такого устройства является E6D-CWZ1E 6000P/R (рис. 2) [1].

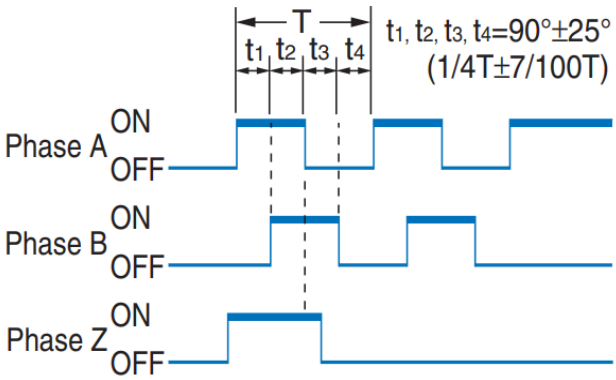


Рисунок 2 — Временная диаграмма импульсов E6D--CWZ1E

Выходной сигнал с датчика угла поворота представляет собой двухбитный код Грея. Такая последовательность данных позволяет избежать ложных срабатываний при переключении контактов энкодера. Микроконтроллер считывает импульсы с каждого канала. Сравнивая полученное значение с предыдущим, определяет направление вращения и запускает счетчик импульсов. По количеству импульсов подсчитывается угол поворота вала. В программе схемотехнического моделирования PROTEUS была построена модель описывающая принцип работы обратной связи (рис. 3).

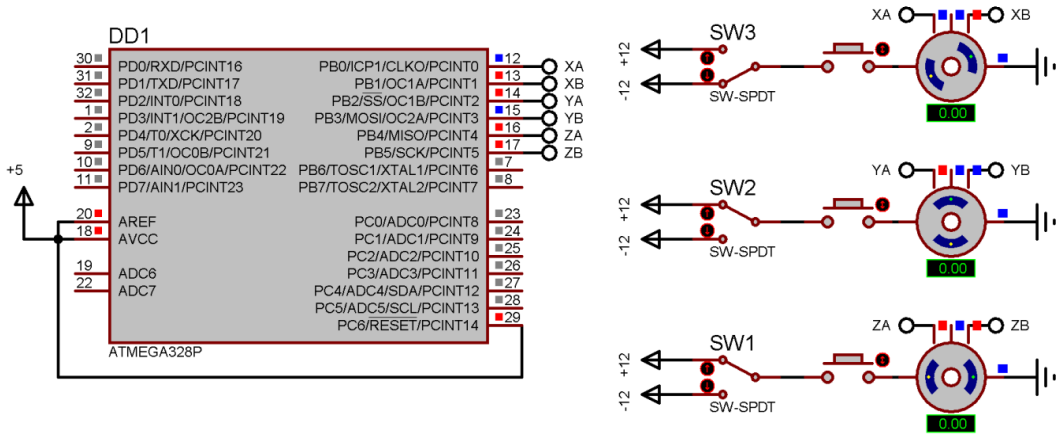


Рисунок 3 — Модель обратной связи контроля перемещения экструдера

Датчиком угла поворота выступает DC-мотор с встроенным энкодером. Максимальное количество пульсаций за оборот для модели составляет 360. Чтобы убрать инерцию ротора, индуктивность обмоток выставлена в 0 Гн, номинальный крутящий момент нагружен на 99%. Переключатели SW1-SW3 отвечают за направление вращения. Запуск двигателя производится замыканием цепи кнопкой. В ходе моделирования получены временная диаграмма импульсов с датчиков осей (рис. 4) и значения угла поворота для контроля экструдера (рис. 5).

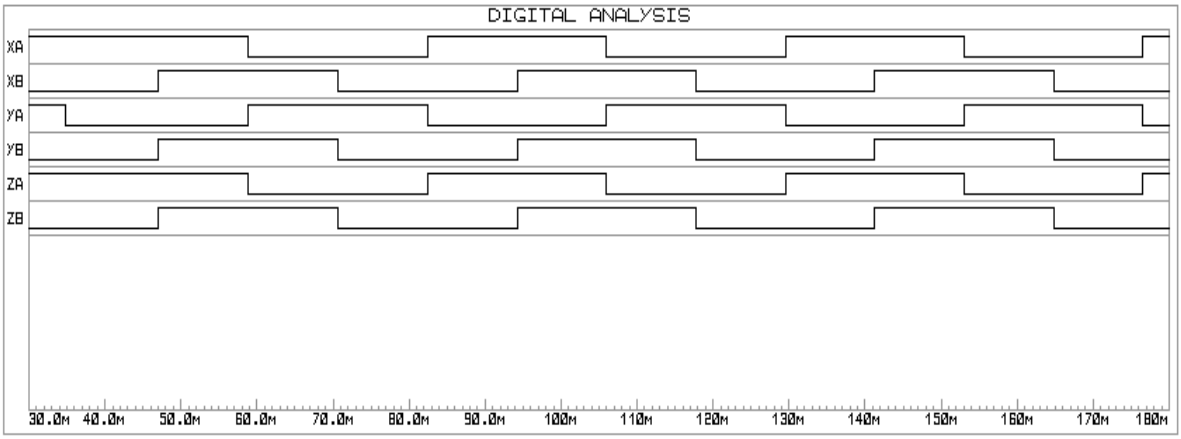


Рисунок 4 — Временная диаграмма импульсов с энкодеров.

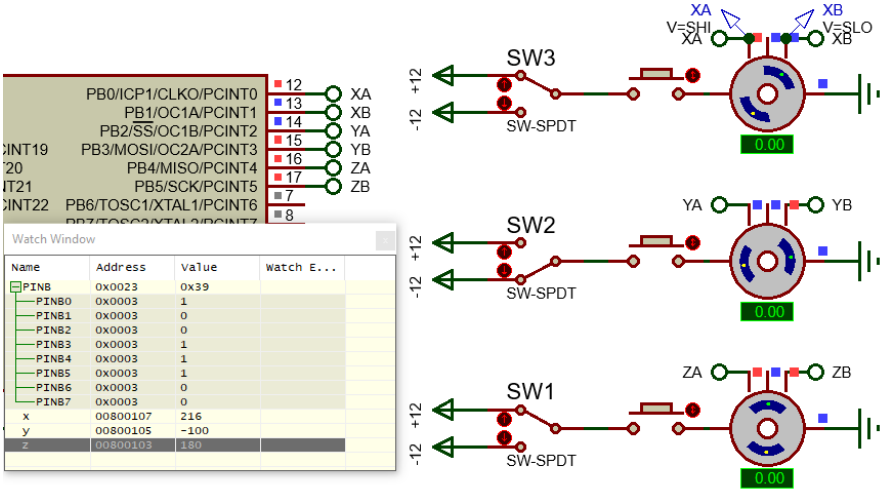


Рисунок 5 — Значения угла поворота с датчиков в реальном времени.

С помощью диалогового окна Watch Window (рис. 5) отслеживаются импульсы, которые поступают с энкодеров на порт МК, и значения счетчиков импульсов каждой направляющей оси. Так как количество импульсов за оборот составляет 360, значения счетчиков являются углом поворота. Для E6D-CWZ1E 6000P/R с 6000 импульсами за оборот градусная мера одно импульса составит $0,06°$. Используя эту меру как множитель для счетчика импульсов получим величину поворота в градусах.

Таким образом, счетчик импульсов можно привязать как к углу поворота вала, так и пройденному расстоянию используя значение шага резьбы вала или к диаметру шкива, если движение приводится за счет ременной передачи. При пропуске шагов двигатель будет вращать вал, пока не сработает условие прерывания от счетчика. Лишние шаги также можно проверять условием и возвращать экструдер в нужное положение.

Литература

E6D-C. High-resolution Encoder. Режим доступа: URL https://www.ia.omron.com/data_pdf/cat/e6d-c_ds_e_5_1_csm497.pdf?id=489

Абраменкова И.В. Применение языка Си для программирования микроконтроллеров семейства AVR в устройствах промышленной электроники. Учебное пособие но курсу «Основы микропроцессорной техники» / И.В. Абраменкова, Н.С. Семченков, Ю.В. Троицкий – Смоленск: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Смоленске, 2007. — 84 с.

В.И. Антоненков, маг.; И.А. Болобин, маг.; рук. С.В. Дроздецкий, асс.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАЗИТНЫХ ЁМКОСТЕЙ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ С ИЗОЛИРОВАННЫМ ЗАТВОРОМ

Одними из основных параметров, влияющих на задержку переключений БТИЗ являются их паразитные ёмкости ($C_{iss}, C_{oss}, C_{rss}$.) [1].

В результате исследования было обнаружено, что методы измерений данных паразитных ёмкостей, предложенные в ГОСТах, не позволяют получить необходимых результатов измерений [2].

Данные ёмкости представляют из себя сумму ёмкостей БТИЗ:

- входная ёмкость БТИЗ: $C_{iss} = C_{GE} + C_{GC}$;
- выходная ёмкость БТИЗ: $C_{oss} = C_{CE} + C_{GC}$;
- передаточная (проходная) ёмкость БТИЗ: $C_{rss} = C_{GC}$.

Решением описанной проблемы являются предложенные фирмой IT тестовые схемы, для измерения паразитных ёмкостей. На основании данных схем и будет осуществлено соответствующее моделирование. Также, при моделировании используется не готовая модель транзистора, а его упрощённая внутренняя структура, в виде ключа и трёх конденсаторов, которые и играют роль паразитных ёмкостей. Данное упрощение связано с тем, что в транзисторе присутствуют нелинейные зависимости, так же при данном упрощении можно сразу

определить правильность измерения.

Для всех измерений используется ёмкостной мост (Capacitance bridge) на частоту 1 МГц. Измеряемая ёмкость последовательно подключается к ёмкости известной величины для разделения по постоянному току [2]. Между коллектором и эмиттером должно быть напряжение порядка 25 В.

Схема измерения паразитной входной ёмкости биполярного транзистора с изолированным затвором показана на рис. 1.

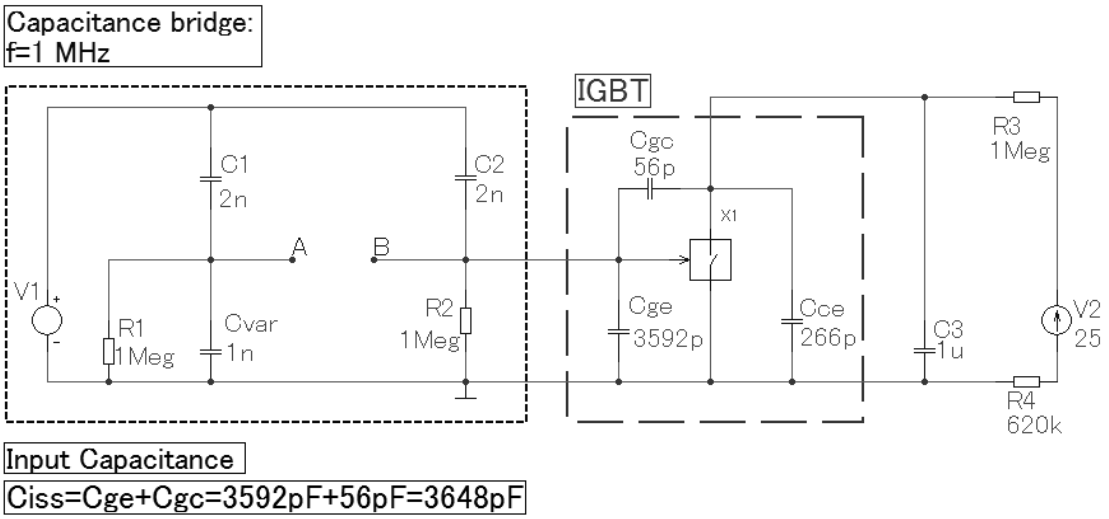


Рисунок 1 — Тестовая схема измерения величины входной ёмкости БТИЗ

Как известно, входная ёмкость представляет из себя сумму двух ёмкостей: $C_{iss} = C_{GE} + C_{GC}$. Чтобы определить данную ёмкость, необходимо построить график зависимости амплитуды синусоидального напряжения (источник V1 на рис. 1) от изменяемой ёмкости (Cvar на рис. 1). Амплитуда напряжения становится минимальной тогда, когда ёмкостной мост становится сбалансированным, то есть величина ёмкости, входящей в состав моста, совпадает с величиной ёмкости, которую необходимо измерить (рис. 2).

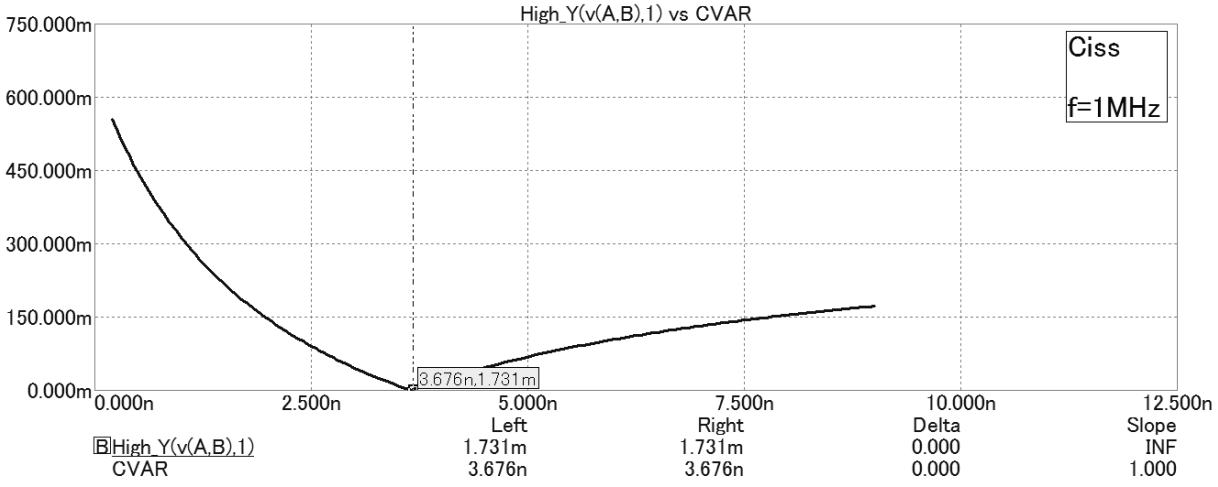


Рисунок 2 — Измерение величины входной ёмкости БТИЗ

Измеренная величина входной ёмкости ($C_{iss} = 3676$ пФ) имеет близкое значение к тому, что указано в технической информации на исследуемый прибор ($C_{iss} = 3648$ пФ).

На основании описанной выше методики, можно измерить величину паразитной выходной ёмкости БТИЗ, причём, тестовая схема практически не отличается от схемы, используемой в предыдущем случае (рис. 3).

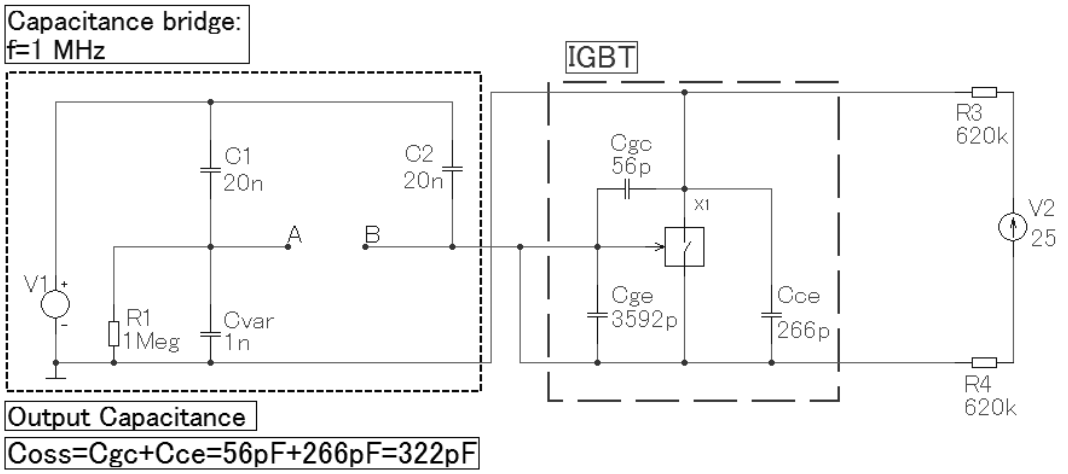


Рисунок 3 — Тестовая схема измерения величины выходной ёмкости БТИЗ

Далее, необходимо получить график зависимости амплитуды синусоидального напряжения от изменяемой ёмкости (рис. 4).

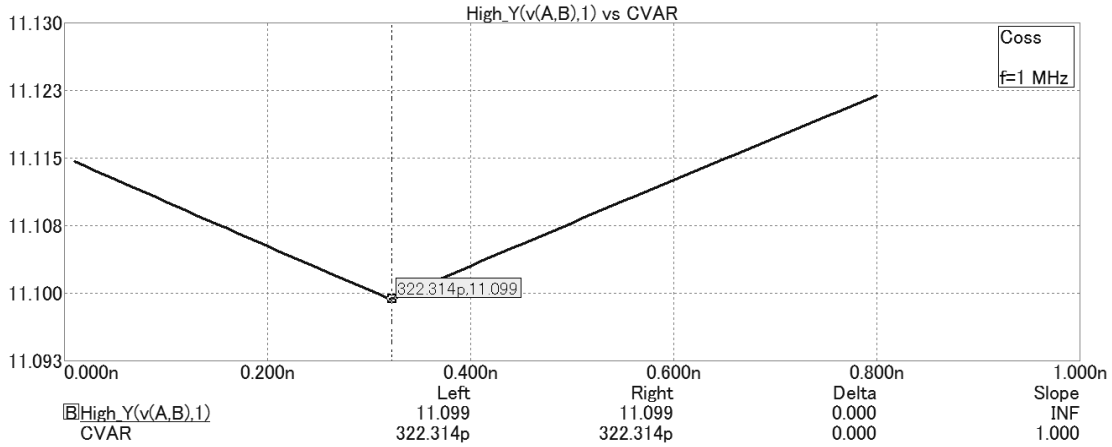


Рисунок 4 — Измерение величины выходной ёмкости БТИЗ

Измеренная величина входной ёмкости ($C_{oss} = 322$ пФ) совпадает с той, что указана в технической информации на исследуемый прибор ($C_{oss} = 322$ пФ).

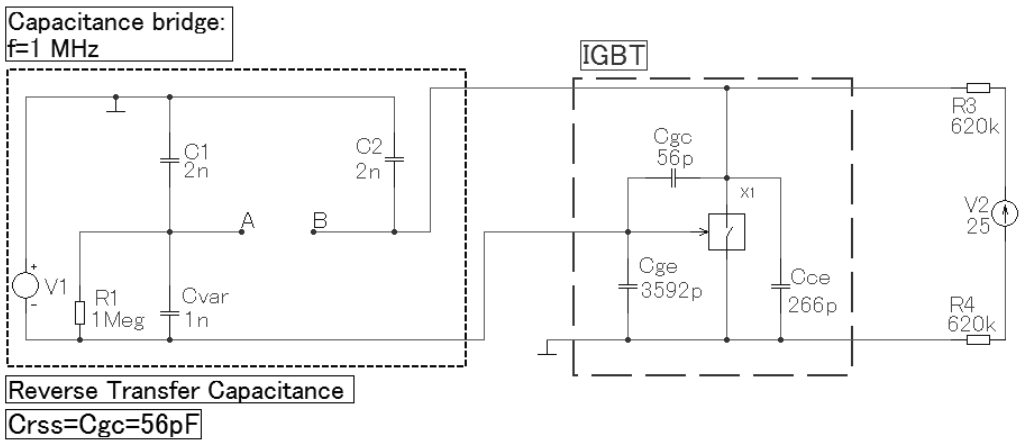


Рисунок 5 — Тестовая схема измерения величины проходной ёмкости БТИЗ

Также, разработчики фирмы IT предлагают тестовую схему для измерения проходной (передаточной ёмкости), или, как её ещё называют, ёмкость Миллера (рис. 5).

Далее, необходимо получить график зависимости амплитуды синусоидального напряжения от изменяемой ёмкости (рис. 6).

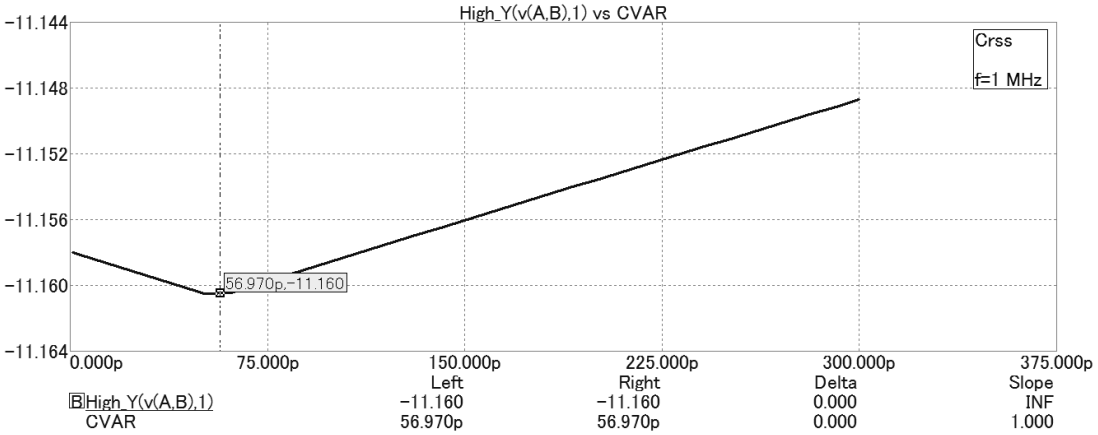


Рисунок 6 — Измерение величины проходной ёмкости БТИЗ

Измеренная величина входной ёмкости ($C_{rss} = 56$ пФ) совпадает с той, что указана в технической информации на исследуемый прибор ($C_{rss} = 56$ пФ).

Таким образом, исходя из измеренных при моделировании значений параметров, можно сделать вывод, что предложенные методы измерения позволяют получить требуемый результат с минимальной погрешностью.

Литература

1. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. — М.: Техносфера, 2005. — 632 с.
2. ГОСТ 20398.5–74. Транзисторы полевые. Метод измерения входной, проходной и выходной ёмкостей. – Введ. 1976-01-07. – М.: Изд. стандартов, 1976.
3. Блейк К., Булл К. IGBT или MOSFET: выбирайте с умом // Силовая электроника. 2015. № 5.
4. Семёнов Б.Ю. Силовая электроника: профессиональные решения. — М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2011.—416с.

Т.С. Астахова, уч; М.М. Жендарева, уч; П.А. Фадеичева, уч;
рук. И.В. Якименко, д. т. н., доц.
(МБОУ СОШ № 21; МБОУ СОШ № 33; МБОУ «Гимназия № 4»; г. Смоленск;
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАЛКОННОЙ ФОТОВОЛЬТАИКИ В БЫТУ

В ряде стран уже стало привычным направление децентрализованного обеспечения некоторой части потребностей в электрической энергии квартир в многоквартирных домах, получившее название балконной фотовольтаики [1], заключающееся в установке на балконе или рядом с окнами (рисунок 1) комплектов из солнечной панели и преобразователя постоянного тока в переменный (*DC*/*AC*–преобразователя или инвертора): существуют даже специализированные балконные солнечные панели с уже встроенными в их корпуса инверторами.

Рисунок 1 – Пример расположения солнечной панели на балконе

Принцип работы таких комплектов заключается в том, что они последовательно выполняют следующие функции:

- преобразуют падающий на солнечную панель поток оптического излучения в постоянный электрический ток;
- преобразуют постоянный электрический ток в переменный электрический ток с параметрами (напряжением и частотой), соответствующими параметрам сети поставщика электрической энергии;
- «подмешивают» вырабатываемую электрическую энергию в сеть поставщика электрической энергии.

Недостатками такого способа получения электроэнергии являются:

- несовпадение времени выработки электроэнергии и времени ее интенсивного потребления (интенсивная выработка приходится на светлое время суток (рабочее время), тогда как потребность в интенсивном потреблении приходится на темное время суток (нерабочее время);
- отсутствие правового регулирования вопросов связанных с поставкой электрической энергии от потребителя поставщику.

Практически единственным техническим результатом, достигаемым с помощью такого способа получения электроэнергии является уменьшение платы за потребление электрической энергии из сети поставщика, обусловленное уменьшением показаний индивидуального счетчика электрической энергии и только лишь в том случае, если он обладает функцией «реверса»: если индивидуальный счетчик электрической энергии учитывает ее «по модулю» (а таких большинство), за электрическую энергию, отдаваемую в сеть поставщика еще и придется платить.

Наиболее рациональным направлением балконной фотовольтаики, является использование комплектов оборудования, обеспечивающего накопление электрической энергии в светлое время суток (рабочее время) с последующим потреблением ее стандартным объектом бытовой нагрузкой (осветительным прибором – светодиодной лампой) в темное время суток (нерабочее время), включающих в свой состав (рисунок 2) [2]:

- солнечную панель (панели);
- аккумуляторную батарею;
- универсальный контроллер, управляющий процессами заряда и разряда аккумуляторной батареи;
- *DC*/*AC*–преобразователь:
- нагрузка (светодиодная лампа) .

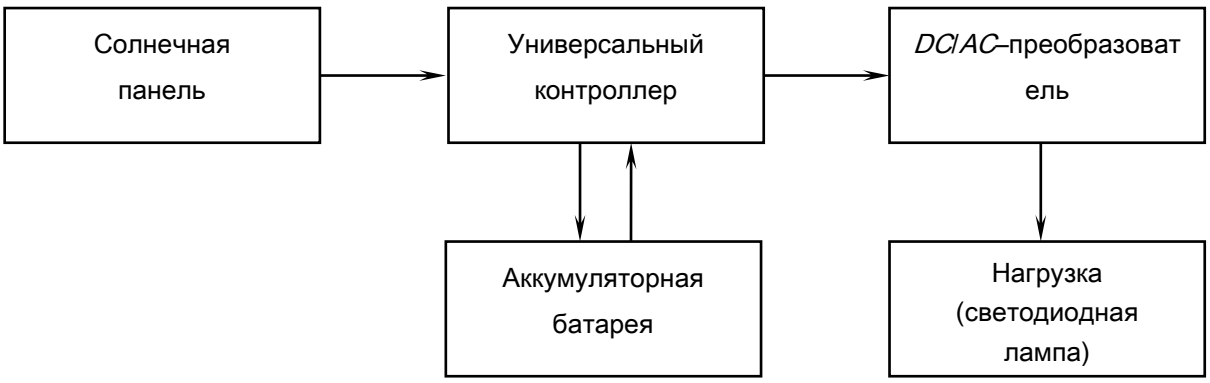


Рисунок 2 – Структурная схема комплекта оборудования фотовольтаики для питания стандартной бытовой нагрузки – светодиодной лампы

Вместе с тем, возможность использования такого комплекта оборудования, существенно ограничивается такими факторами, как:

- величиной электрической мощности, потребляемой стандартным объектом бытовой нагрузки (осветительным прибором – светодиодной лампой) временем и периодичностью ее потребления;
- нестационарностью процесса выработки электрической энергии комплектом оборудования фотовольтаики в годовом и суточном циклах;
- нерациональными потерями энергии за счет необходимости двукратного преобразования вида энергии (*DC*/*AC* – в инверторе комплекта; *AC*/*DC* – в драйвере питания светодиодной лампы).

Альтернативный вариант комплекта оборудования балконной фотовольтаики, позволяющий избавиться от указанных недостатков, включает в свой состав (рисунок 3):

- солнечную панель (панели);
- аккумуляторную батарею;
- универсальный контроллер, управляющий процессом заряда аккумуляторной батареи и потреблением энергии нагрузкой.

Рисунок 3 – Структурная схема комплекта оборудования фотовольтаики для питания светодиодной ленты

Применение в качестве нагрузки комплекта оборудования фотовольтаики светодиодной ленты позволит:

- обеспечить баланс между количеством вырабатываемой и потребляемой нагрузкой энергии путем выбора рациональной длины отрезка светодиодной ленты;

- обеспечить автономное питание элемента подсветки интерьера за счет экологически чистой и относительно дешевой (с учетом времени окупаемости приобретенных элементов комплекта) электрической энергией.

Литература

1 Солнечная электростанция на балконе. https://econet.ru/articles/180972-solnechnaya-elektrostantsiya-na-balkone

2 Солнечная батарея на балконе, опыт использования. https://habr.com/ru/post/403523/

У.С. Балыкина, студ.; М.А. Толков, студ.; рук. Е.Л. Царегородцев, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ПОИСКА СКРЫТЫХ ПРОТЕЧЕК В СИСТЕМАХ ПОДАЧИ ОТОПЛЕНИЯ

Одной из основных задач служб, эксплуатирующих водопроводные сети, является повышение качества и надежности водоснабжения потребителей. Для ее успешного достижения необходимо решить задачу по снижению количества повреждений на водопроводной сети, уменьшать затраты на ремонтные работы. Это возможно только при своевременном обнаружении неисправностей и их устранению в максимально короткие сроки. Современное состояние науки и техники позволяет с достаточной эффективностью с помощью систем мониторинга обнаруживать скрытые протечки - потери теплоносителя, не проявляющиеся выбиванием на поверхность или подтоплением различных подземных коммуникаций или сооружений.

В современной промышленности без прокладки труб не обойтись. Будь то обыкновенный водопровод, теплотрасса – коммуникация из труб используется повсеместно, и в быту, и в промышленности.

Протечка в системе отопления является аварийной ситуацией, которую необходимо устранить как можно быстрее. Наибольшую трудность при этом

вызывают скрытые протечки, которые очень сложно своевременно обнаружить. Для этого необходимо определить ряд исходных данных:

какой тип трубопровода - пластиковый или металлический;

каково назначение трубопровода - канализация, горячее или холодное водоснабжение;

какова глубина расположения исследуемого трубопровода?

При современном уровне развития электроники, математических способах обработки исходных данных интерес вызывает метод обнаружения течи с помощью чувствительного микрофона. Жидкость (вода), вытекая из поврежденной трубы из-за давления создает шум, так называемый “звуковой портрет”.

Причем металлический трубопровод будет создавать звуковую волну высокой частоты, а пластиковый - низкой частоты. Кроме того, именно на локальном участке будет наибольшая ее интенсивность.

Таким образом, путем анализа данных акустического сигнала (шума протечки) можно с достаточной точностью определять поврежденный участок.

Анализ параметров звукового сигнала на временной шкале не обладает предъявляемыми к нему требованиями, особенно в условиях неопределенности и многих мешающих факторов. Известно, что более точным по оценке параметров является спектральный анализ.

Микроэлектроника и вычислительная техника с использованием различных преобразователей неэлектрических величин в электрические (датчиков состояния) дает возможность применять такой анализ в различных областях механики, теплоэнергетики, акустики и т.д.

Интерес вызывает два метода оценки параметров спектра сигналов:

метод фильтрации;

метод преобразования Фурье.

Среди разновидностей методов фильтрации целесообразно выделить:

анализ спектра с помощью полосовых фильтров;

анализ спектра с помощью одного перестраиваемого фильтра;

анализ с помощью дисперсионных линий задержки.

Вместе с тем, преобразование Фурье незаменимо при работе со спектром низких частот (до 10^7 Гц). Спектральную выборку можно сохранять в памяти анализатора. Что позволяет производить с ней любые действия.

Система компьютерной алгебры Mathcad из класса систем автоматизированного проектирования, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением, позволяет решать большое множество инженерных задач. В комплексе с аппаратным обеспечением можно получать достаточно адекватные результаты [1].

В качестве эксплуатации в учебных целях был собран лабораторный макет детектора звука, состоящий из специального вычислителя на базе Arduino Uno; trema Set Shield (платы расширения для подключения необходимых устройств); trema-модуль потенциометра; trema-модуль светодиода; trema OLED-дисплея; trema-модуль датчика звука. Вид макета представлен на рисунке 1.

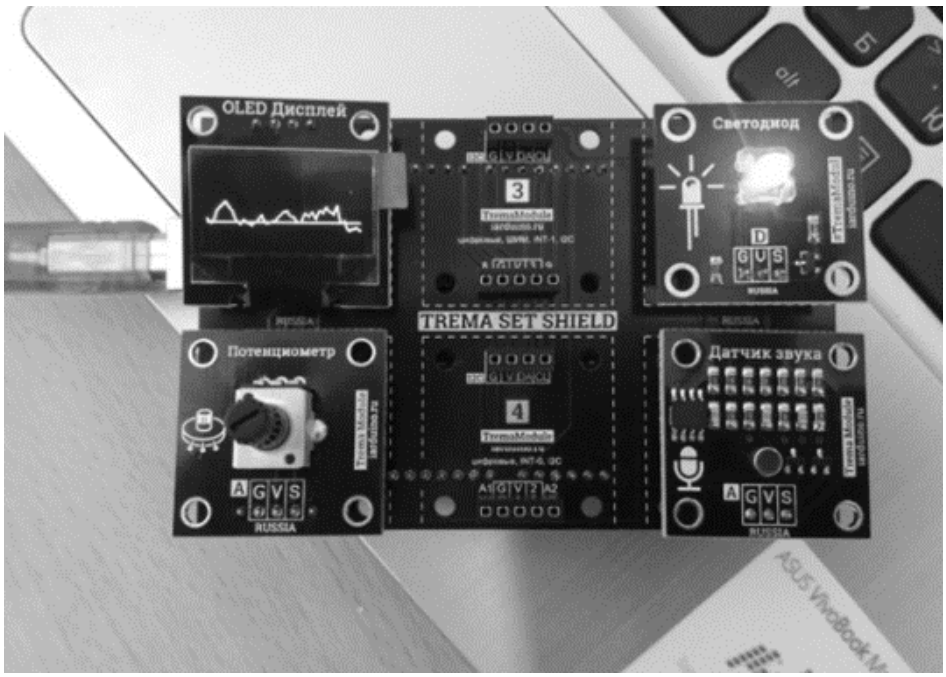


Рисунок 1- Детектор звука

Потенциометр предназначен для настройки порога срабатывания индикации светодиода при превышении соответствующего уровня звукового сигнала (шума). На дисплее показывается изображение звука. Горизонтальная прямая характеризует порог срабатывания светодиода по уровню звукового сигнала.

Если уровень шума окружающей среды больше заданного предельного значения на потенциометре, то загорится светодиод. Для обеспечения работы такого устройства был написан программный код, который загружен в микроконтроллер модуля Arduino Uno.

Лабораторный макет позволяет снимать, записывать и анализировать сигнал, используя, например, систему компьютерной алгебры Mathcad.

На рисунке 2 показан листинг программы фильтрации звукового портрета конкретного вида и процесс его фильтрации, с целью выделения конкретного частотного диапазона.

На ней N отсчётов дискретного сигнала x_i на интервале времени от 0 до N—1 синтезируются, как сумма конечного числа синусоидальных колебаний с амплитудами W(Ω). Частоты этих синусоид равны $N/(2xMAX)$, где x – частота дискретизации сигнала, а N – число отсчётов исходного сигнала y_i на анализируемом интервале.

Таким образом, из рис. 2 видно, что имеется возможность фильтрации мешающих спектральных составляющих и сосредотачивать свое внимание только на конкретном частотном диапазоне, анализируя наличие и уровень того спектра, который интересует.

Основываясь на результатах экспериментальных данных для исследования и выявления общей закономерности того или иного “звукового портрета” можно с уверенностью утверждать о достаточной степени эффективности своевре-

менного установления факта скрытых протечек, их места положения и устранения.

$$N := 128 \qquad xMAX := 200 \qquad \Delta := \frac{(xMAX)}{N} \qquad i := 0..N-1$$

$$x_i := i \cdot \Delta \qquad y_i := \cos\left(2 \cdot \pi \cdot 1.5 \cdot x_i\right) + \sin\left(\pi \cdot 0.5 \cdot x_i\right) + (md(2) - 0.5)$$

$$z := fft(y) \qquad i := 0..\left(\frac{N}{2}\right) \qquad a_i := |z_i| \qquad \Omega_0 := \frac{1}{xMAX} \qquad W(\Omega) := \exp\left[\frac{\left(-\Omega^2\right)}{0.3}\right]$$

$$\Omega N := \frac{N}{2 \cdot xMAX} \qquad \Omega D_i := (i+1) \cdot \Omega_0 \qquad b_i := z_i \cdot \left(W\left(\Omega D_i\right)\right)$$

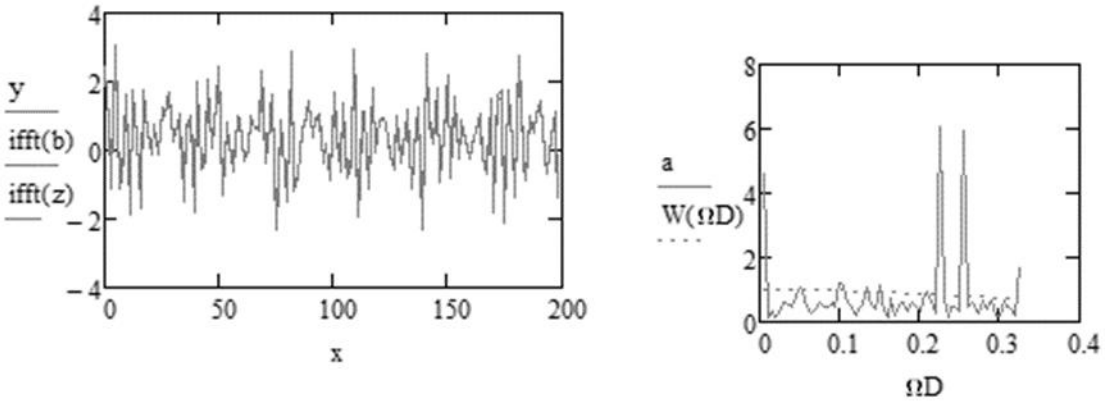


Рисунок 2 - Результаты фильтрации звукового портрета

Литература
1. **Mathcad //** WIKIPEDIA.RU. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Mathcad.

Т.Л. Баран, маг.; рук. Н.Н. Строев, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПАРАМЕТРЫ АНТЕНН И ИХ УЧЕТ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ РЭА

Передача информации с помощью радиоволн осуществляется с применением передающих и приемных антенн и антенных комплексов. Передатчик формирует сигнал в заданной полосе несущей радиочастоты с закодированной на ней информацией. Приемник декодирует полученные колебания с выделением полезной информации. Прохождение радиоволн в эфире обеспечивается антеннами. От видов модуляции и кодирования зависит ширина спектра, используемого для работы информационного канала. Характеристики антенн должны соответствовать параметрам приемопередающей аппаратуры и заданным параметрам передачи информации.

По сути, антенна представляет собой двухполюсник или многополюсник. Мощность источника, выделяемая на активной составляющей входного сопротивления антенны, расходуется на создание электромагнитного излучения. В системах управления антенна рассматривается как угловой дискриминатор - датчик угла рассогласования между направлением на источник (отражатель) сигнала и направлением антенны (например, антенна с суммарно-разностной диаграммой направленности). В системах пространственно-временной обработки сигнала антенна рассматривается как средство дискретизации электромагнитного поля в пространстве.

В большинстве случаев, антенны являются стандартизованными изделиями. В первую очередь, учитываются частотные диапазоны в соответствии с международной классификацией. Самыми распространёнными системами передачи данных с помощью радиоволн в РФ являются GPS (1.58 ГГц), ГЛОНАСС (1.60 ГГц), GSM (890 - 960 МГц, 1710 - 1880 МГц), WiFi (2.4 ГГц), FM (85.5 - 108 МГц).

В зависимости от назначения, антенны подразделяются на три типа: приёмные, передающие и приёмопередающие. Типы антенн регламентированы в ГОСТ Р 55787-2013, там же разъяснены термины параметров и характеристик. Приёмная антенна преобразует энергию электромагнитной волны в электромагнитное колебание, поступающее в приёмник. Передающая антенна преобразует энергию передатчика электромагнитного колебания в электромагнитную волну. Другими словами, антенна является преобразователем электромагнитного колебания в электромагнитное излучение и наоборот.

В особый класс можно выделить антенны с обработкой сигнала. Одним из таких устройств являются антенны с синтезированной (виртуальной) апертурой, которые применяются в авиационной и космической технике для задач картографирования и увеличения разрешающей способности за счёт использования когерентного накопления и обработки сигнала.

В современной радиоэлектронной аппаратуре используется множество типов антенн, и для каждого типа при проведении измерений требуется учет их особенностей. Например, для волн дециметрового диапазона часто применяется «волновой канал» с дипольным (петлевым) излучателем. Основной прием/передача «волнового канала» идет в направлении директора. Директоров в канале может быть несколько. При добавлении нового элемента повышается коэффициент усиления, и уменьшается угол действия. Другими словами повышается направленность антенны.

Альтернативой «волнового канала» при приеме телевизионного сигнала может послужить логопериодическая антенна. Она представляет собой широкополосную радиоантенну с коэффициентом усиления 6-7 дБ. Логопериодическая антенна состоит из активных элементов (диполей), которые расположены в порядке убывания их длины. Добавление новых элементов увеличивает полосу пропускания. Пик диаграммы направленности будет расположен со стороны короткого диполя.

Также в настоящее время очень распространены панельные антенны (патчи), Они представляют собой узкополосную направленную антенну с коэффициентом усиления 5-10 дБ, состоящую из прямоугольной (эллиптической) пластины и пластины-отражателя (экрана), разделенных слоем диэлектрика. Такие антенны применяются для WiFi, 3G, 4G, GSM, GPS. Наибольшее распространение они получили в 70-х годах 20-го века, когда панельные антенны стали массово применять на печатных платах. Длина стороны прямоугольной пластины патча сопоставима с половиной длины волны, если между пластиной и экраном находится воздух или другой материал со схожей диэлектрической проницаемостью.

Параболическую антенну можно получить из любой, поместив ее в фокус отражателя. «Тарелка» делает произвольную антенну узконаправленной, доводя коэффициент усиления до 30-40 дБ. В распоряжении ученых есть несколько гигантских отражателей с усилением 80 дБ, которые используются в составе радиотелескопов.

Для того, чтобы сделать полосу пропускания шире или использовать в работе несколько диапазонов, изготавливают комбинированные антенны. Например, распространены наружные телевизионные антенны для дециметровых волн, совмещенные с диполем для метровых волн.

При проведении контрольно-измерительных испытаний радиоэлектронной аппаратуры должны контролироваться (измеряться или рассчитываться на основе комплекса измерений) параметры и характеристики антенн:

- Полоса пропускания - рабочий интервал частот в котором определяются параметры антенны как части волновой системы.

- Коэффициент усиления - соотношение мощностей излучения исследуемой и эталонной антенн. Антенны излучают сигнал в каком-то направлении больше, в каком-то меньше. Как правило, в характеристиках указывают пиковый коэффициент усиления. Если в составе антенны присутствует усилитель, ее называют активной. Производители указывают коэффициент усиления таких изделий с учетом усилителя. Нужно учитывать, что электронные усилители создают шумы, искажающие сигнал.

- Направленность - антенну называют направленной, если мощность ее излучения в одну из сторон существенно больше, чем в остальные. Для того, чтобы наглядно показать, как меняется мощность в зависимости от направления, строят диаграммы направленности. Ненаправленные антенны одинаково действуют во все стороны, поэтому их диаграмма имеет круговую форму. Радиоантенна с диаграммой направленности в форме сферы называется изотропной. Теоретически доказано, что построить ее невозможно. Тем не менее изотропный излучатель используют в качестве эталона для того, чтобы сравнивать антенны.

- Размер - для большинства антенн это половина длины волны. Но есть исключения. Например, в состав параболических антенн входит отражатель («тарелка»), диаметр которого может намного превышать длину волны. Размеры антенн, изготовленных на печатных платах, бывают существенно меньше половины длины волны благодаря применению материалов с большой диэлек-

трической проницаемостью. К ним относятся антенны WiFi. GPS, GSM. Существуют антенные поля площадью в несколько гектаров и антенны, размеры которых измеряются в миллиметрах.

- Входное сопротивление - отношение напряжения к силе тока на клеммах антенны. Если входное сопротивление антенны не соответствует волновому сопротивлению кабеля (фидеру), по которому она подключается, необходимо применить согласующие устройства. Телевизионные кабели в подавляющем большинстве стран (включая РФ) имеют волновое сопротивление 75 Ом. Кабели для WiFi, GSM, 3G, 4G, GSM, GPS, FM выпускают с волновым сопротивлением 50 Ом. Производители изготавливают антенны с входным сопротивлением, согласующимся с волновым сопротивлением кабеля.

Задача анализа параметров антенн с появлением средств автоматизации, как правило, успешно решается, несмотря на появление всё новых и разнообразных видов антенн.

В качестве интегральной характеристики используется диаграмма направленности антенны, то-есть графическое представление зависимости коэффициента усиления антенны или коэффициента направленного действия антенны от направления антенны в заданной плоскости. Диаграмма направленности обычно описываются не только в плоскости, но и в трехмерном отображении. Для упрощения её рассмотрения, принимается две проекции: горизонтальная (азимутальная) и вертикальная (по углу места). Существуют амплитудные, фазовые и поляризационные диаграммы направленности.

По форме диаграммы направленности антенны обычно подразделяются на узконаправленные и широконаправленные. Узконаправленные антенны имеют основной лепесток, то-есть один ярко выраженный максимум. Амплитуду остальных лепестков при разработке стараются уменьшить. Узконаправленные антенны применяются для концентрации мощности излучения сигнала в одном направлении для увеличения дальности действия радиоаппаратуры, а также, для повышения точности угловых измерений в радиолокации. Широконаправленные антенны имеют круговую диаграмму направленности. Такие антенны используются в телерадиовещании. Часто лепестки диаграммы направленности называют «лучами» антенны.

Диаграмму направленности обычно измеряют в горизонтальной или вертикальной плоскостях (для облучателей в плоскостях E или H). Она обладает свойством взаимности, то есть имеет аналогичные характеристики на передачу и приём в одном и том же диапазоне волн.

Благодаря универсальности диаграммы направленности, как интегральной характеристики антенн, при проведении испытаний в большинстве методик производится ее построение на основе серии измерений поля в точках пространства с инструментальным контролем радиочастотного тракта.

Исследование диаграммы направленности небольших антенн производят в безэховых камерах. Безэховая камера – это помещение, в котором не возникает эхо при многократных переотражениях. Обычно такие камеры конструируют так, чтобы они ещё и изолировали камеру от внешних радиочастотных сигналов.

Это позволяет производить измерения сигнала, пришедшего непосредственно от источника, исключив отражение сигнала и внешние факторы, сформировав нахождение источника в свободном пространстве. Стены, потолок и пол таких камер покрыты материалом, поглощающим соответствующие волны. Значительную сложность представляет организация рабочих мест при проведении измерений антенн, так как наличие аппаратуры и персонала в точках пространства должно быть увязано с пространственными и энергетическими характеристиками диаграммы направленности.

Если антенна не помещающихся в камеру, используется её уменьшенная модель. При этом длину волны излучения тоже уменьшают в соответствующее число раз.

В настоящее время нами подготовлены методики проведения контрольных испытаний антенн, использующихся в РЭА, производимой предприятием АО «НИИ СТТ», обеспечена автоматизированная обработка измерений и протоколирование результатов.

Литература

1. Назначение и характеристики антенн [Электронный ресурс] https://video-praktik.ru/antenny.html
2. ГОСТ Р 55787-2013[Электронный ресурс] http://docs.cntd.ru/document/1200107481

К.В. Богатов курсант, рук. В.А. Костенков, к.т.н., доцент
(ВА ВПВО ВС РФ, Смоленск)

К.В. Богатов курсант, рук. В.А. Костенков, к.т.н., доцент
(ВА ВПВО ВС РФ, Смоленск)

ПРИМЕНЕНИЕ РС-ПРИБОРОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

По дисциплинам, где изучаются радиотехнические устройства, часть лабораторных работ выполняется на специальных макетах в лабораториях с использованием контрольно-измерительной аппаратуры, а часть в классах ПЭВМ, где для исследования электронных устройств используются соответствующие программы.

В данной статье рассматривается универсальный вариант проведения исследований электронных устройств в классе ПЭВМ, при котором электронное устройство, например, усилитель, исследуется на макете, а затем та же схема исследуется с помощью программы схемотехнического моделирования, например, MicroCap. Таким образом на практическом занятии реализуются компетенции:

владение методами решения задач анализа и расчета характеристик радиотехнических цепей, аналоговых и цифровых узлов современной электроники;

способность разрабатывать электрические схемы специальных радиотехнических систем и устройств с использованием компьютерных средств проектирования;

способность учитывать в профессиональной деятельности современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники.

При таком подходе, вместо штатной контрольно-измерительной аппаратуры предлагается использовать виртуальные осциллографы и генераторы, выполненные в виде приставки к персональным компьютерам, поэтому их называют также PC-осциллографы и PC-генераторы. Они имеют малые размеры и могут даже иметь конструкцию карандашного типа (PC-осциллограф АКИП-4106). Их «виртуальность» проявляется в том, что передняя панель осциллографа и генератора создается на экране монитора соответствующими программными средствами. Управление PC-приборами осуществляется помощью графического манипулятора – мыши. С их помощью можно разработать целый комплекс лабораторных работ по электротехническим и радиотехническим дисциплинам.

Принцип действия таких осциллографов заключается в стробировании входного сигнала путем выделения из него коротких вырезок-отсчетов. Они оцифровываются с помощью быстродействующего аналого-цифрового преобразователя, и коды отсчетов передаются в ПК. Применение стробоскопических осциллографических приставок ПК дает следующие преимущества: резко упрощается конструкция прибора, поскольку становятся ненужными индикатор и органы управления осциллографа, мощный источник питания и др. Уменьшается стоимость приборов. Появляется возможность легко реализовать цифровые методы обработки сигналов, например построение спектра методом быстрого преобразование Фурье или регистрации сигналов на протяжении длительного промежутка времени с записью сигнала в память ПК. Стоимость комплекта PC-приборов, в который входит осциллограф и функциональный генератор, составляет от 10 до 25 тыс. руб. в зависимости от комплектации и характеристик, что в несколько раз меньше стоимости обычных приборов.

Для примера рассмотрим технические характеристики осциллографа PCS500:

Число каналов	2
Входной импеданс	1 МОм/3 пФ
Разрядность	8 бит
Чувствительность	5 мВ - 15 В/деление
Максимальное U_{BX}	100 В
Диапазон частот	0...50 МГц
Неравномерность АЧХ	+3 дБ 2,5%
Погрешность отсчета	2,5%
Временная развертка	20 нсек-100 мсек/дел
Частота стробирования	1,25 кГц - 50 МГц
Длина записи	4096/канал
Напряжение питания	9...10 В/1А

Размеры, вес	230x165x45 мм, 490 г
Режимы входов	AC, DC, Ground

Маркеры для напряжения и частоты

Требования к системе ПК следующие: операционная система Windows 95, 98, 2000, NT или XP; SVGA видеокарта (минимальное разрешение 800 x 600);

Это устройство имеет следующие особенности:

- внешний триггер с запуском по нарастанию и спаду сигнала;
- улучшенная входная чувствительность;
- пониженный уровень шумов в канале вертикального отклонения;
- улучшенная временная развертка осциллографа;
- возможность отображения периодических сигналов с частотой стробирования до 1 ГГц;
- расширенный до 25 МГц частотный диапазон Фурье - анализатора.

Сзади приставка имеет стандартный разъем параллельного принтерного порта и разъем для подключения внешнего адаптера питания от сети переменно тока с выходным напряжением 9 В.

Фурье - анализатор на базе виртуального осциллографа PCS500 позволяет строить спектры сигналов, используя для этого преобразования Фурье (БПФ) с достаточно большим числом отсчетов выше 4000. Фурье-анализатор приборов обеспечивает следующие характеристики:

Частотный диапазон	0...1,2 кГц до25 МГц
Разрешение БПФ	2048 строк.

В режиме Фурье-анализатора возможен выбор различных видов частотных окон: прямоугольное, Барлетта, Хамминга, Ханнинга или Блэкмана. Возможна регистрация максимумов пиков и с усреднением. На рис. 1 показана панель осциллографа PCS500.

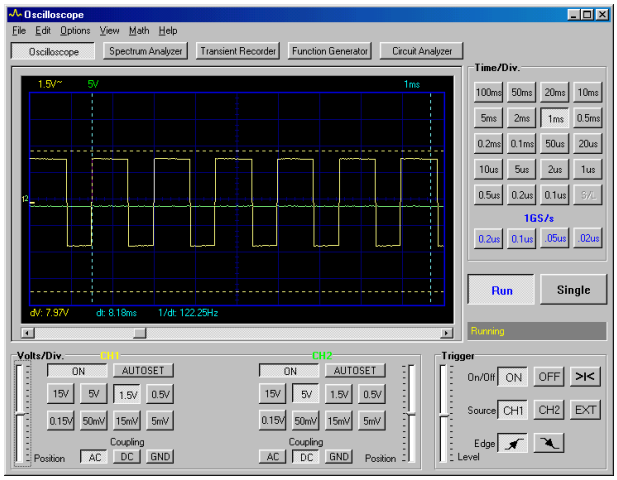


Рисунок 4 – Панель PC-осциллографа

Функциональный генератор PCG10A предназначен для генерации сигналов произвольной формы. Частотный диапазон до 1МГц, синхронизация выходного сигнала по TTL-уровню, возможность запоминания генерируемого сигнала до 32 кБайт. Формы сигнала: синус, треугольник и прямоугольник. Технические

данные: напряжение питания 12В=/800мА, частотный диапазон 0,01Гц-1МГц, точность 0,01%, амплитуда 100мВ-10В при 600 Ом, выходное сопротивление 50 Ом, размер 47х165х235мм. На рис. 2 показана панель управления функционального генератора.

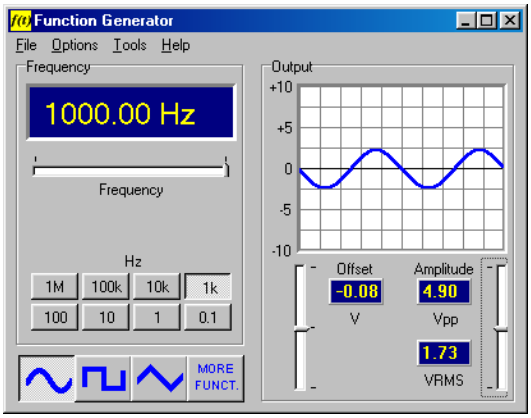


Рисунок 2 – Панель функционального генератор

Литература

Дьяконов В.П. MATLAB 6.0/6.1/6.5/6.5+SP1 Similulink 4/5/. Обработка сигналов и изображений. М.: СОЛОН – Пресс, 2005, 591 с.

И.А. Болобин, В.И. Антоненков, студ.; рук. С.А. Амелин, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ИСТОЧНИК НАПРЯЖЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПРОБОЯ МДП-ТРАНЗИСТОРОВ

В последнее время участились случаи появления на рынке электронных компонентов поддельных МДП-транзисторов. Такие случаи зафиксированы даже у известных и уважаемых поставщиков. Поэтому актуальной задачей является входной контроль основных параметров этих полупроводниковых приборов. Одним из таких параметров является напряжение пробоя.

Метод определения напряжения пробоя основан на использовании высоковольтного источника напряжения с ограничением тока пробоя безопасной величиной [1]. В данной работе рассматривается вариант построения такого источника, который обеспечивает выходное напряжение до 600 В и ограничивает ток пробоя на уровне 250 мкА (рис. 1).

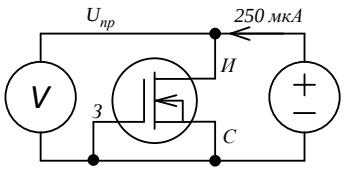


Рисунок 1 – Схема измерения напряжения пробоя

В качестве основы такого высоковольтного источника напряжения можно использовать любую топологию повышающего преобразователя напряжения. Наиболее простым и распространенным вариантом является обратноходовой преобразователь напряжения. Такое схемное решение используется, в схемах заряда конденсаторов вспышек, дефибрилляторов и различных устройств зажигания. Отличием разрабатываемого устройства от стандартного преобразователя является наличие ограничение выходного тока в случае возникновения пробоя. Это ограничение реализовано при помощи цепи обратной связи, отслеживающей падение напряжения на резисторе R4 (рис. 2).

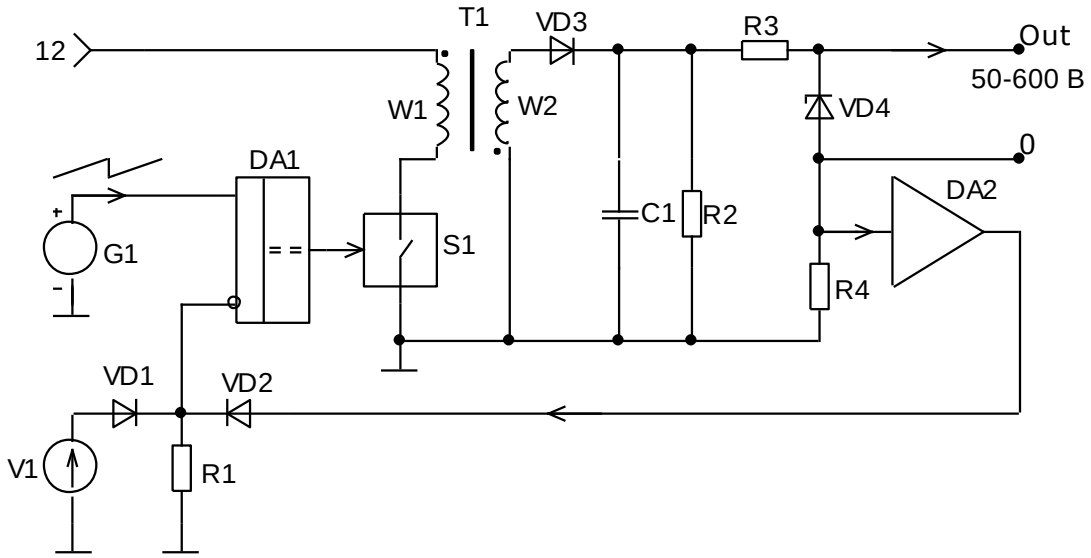


Рисунок 2 – Функциональная схема высоковольтного источника напряжения

Резистор R3 ограничивает выходной ток источника на безопасном для человека уровне и служит для обеспечения электробезопасности при работе с прибором. Диод VD4 является защитным. Он ограничивает выходное напряжение источника и служит дополнительной мерой безопасности. Резистор R2 разряжает конденсатор C1 после выключения прибора.

Работоспособность такого алгоритма управления проверялась в программе Micro-Cap [2]. Преобразователь работает в режиме прерывистых токов (рис. 3). Алгоритм расчета накопительного дросселя приведен в [3].

На начальном этапе преобразователь работает с постоянном коэффициентом заполнения D=0.8 (рис. 4). Импульсы управления силовым ключом при этом формируются компаратором DA1 в интервалы времени, когда пилообразное напряжение V(G1), поступающее на неинвертирующий вход компаратора больше, чем пороговое напряжение (напряжение на инвертирующем входе V(R1)). На этом этапе это напряжение задается источником опорного напряжения V1. Далее при пробое защитного диода VD4 напряжение на датчике тока R4 начинает расти. Что в свою очередь вызывает рост напряжения на инвертирующем входе V(R1), и при превышении напряжения опорного источника V1 ширина управляющих импульсов уменьшается до тех пор, пока напряжение V(R1) не установится на том уровне, при котором ток через датчик стабилизирован и равен 250 мкА.

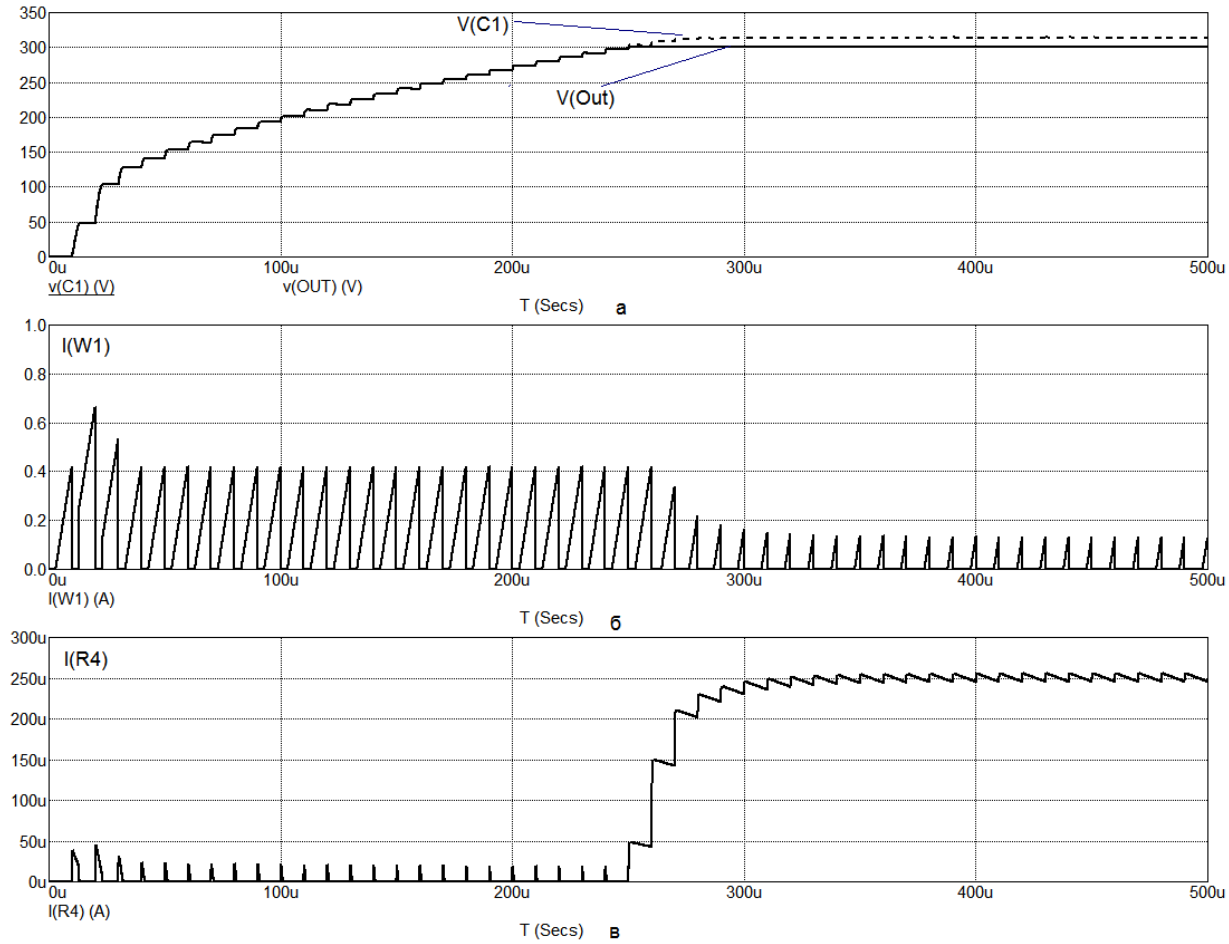


Рисунок 3 – Временные диаграммы работы преобразователя: а – напряжение на выходе V(Out) и напряжение на накопительном конденсаторе V(C1); б – ток первичной обмотки трансформатора I(W1); в – ток через датчик тока I(R4)

Алгоритм работы широтно-импульсного модулятора в этой схеме является типичным для подобных устройств, поэтому для схемотехнической реализации этого высоковольтного источника можно применять стандартные решения для схем управления ключевым элементом. В частности, схему управления можно реализовать на любом ШИМ-контроллере, обеспечивающим коэффициент заполнения больше 0.5, например UC3843.

Помимо аппаратуры обнаружения поделок и аппаратуры входного контроля разработанный высоковольтный преобразователь можно использовать для измерения параметров МОП-транзистора при создании его SPICE- модели.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 17-07-00148 А «Разработка оптимального алгоритма определения системы параметров полупроводниковых приборов на основе МОП-структур с целью формирования их математических SPICE-моделей».

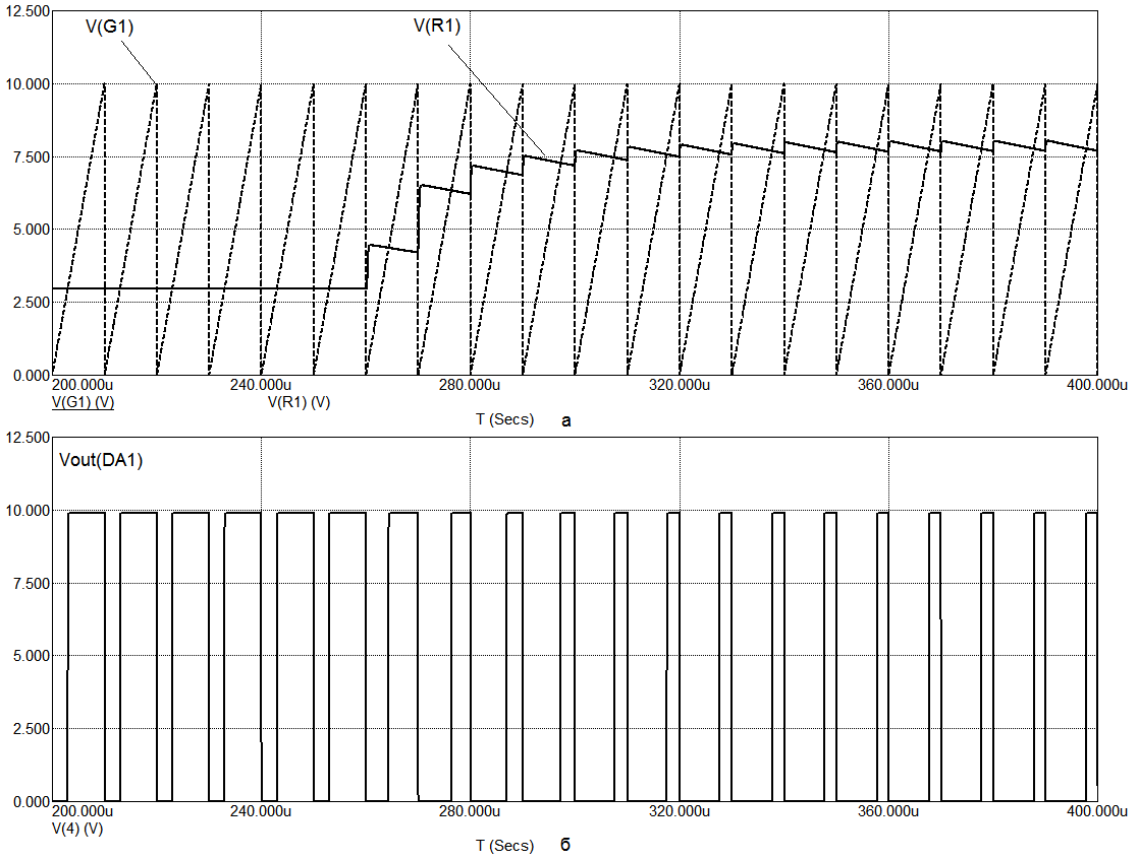


Рисунок 4 – Временные диаграммы работы системы управления: а – напряжение с генератора V(G1) и напряжение на инвертирующем входе компаратора V(R1); б – сигнал с выхода компаратора Vout(DA1).

Литература

3. AN-975B. Измерение характеристик МОП-транзистора // International Rectifier/
4. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10. [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Амелина М.А., Амелин С.А – Электрон. текстовые дан. – СПб. : Лань, 2014. – 632 с. Режим доступа: URL http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=53665
5. Браун М. Источники питания. Расчет и конструирование.: Пер. с англ. – К.: «МК-Пресс», 2007. 288 с.

Е.А. Бондарев, бакалавр; И.И. Хайрутдинов, бакалавр;
рук. А.В. Селихов, к.т.н. ст. преподаватель
(ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

Все виды снежно-ледяных отложений на поверхности автомобильной дороги приводят к возникновению зимней скользкости, снижению коэффициента сцепления колеса автомобиля с покрытием дороги и увеличению риска возникновения ДТП. Они приводят к снижению скорости движения автомобилей в 2-2,5 раза, производительности транспортных средств на 30-40% и увеличению себестоимости перевозок на 25-30%. Опасность движения при гололеде по сравнению с сухим покрытием увеличивается примерно в 10 раз, при снежном накате - в 3-4 раза. [1]

Для решения данной проблемы предлагается создать систему, которая будет в реальном времени информировать дорожные службы и водителей о неудовлетворительном состоянии дорожного покрытия.

Анализируя ОДМ 218.2.003-2009 можно заметить, что на образование зимней скользкости на дорожном покрытии влияют:

- метеорологические факторы (температура и влажность воздуха, осадки, их вид, количество и интенсивность их выпадения);

- геофизические и ландшафтные факторы (географическая высота, наличие растительности, водоемов и т.д.), определяющие температурный режим поверхности дорожного полотна и условия накопления влаги, переноса и накопления снега. [2]

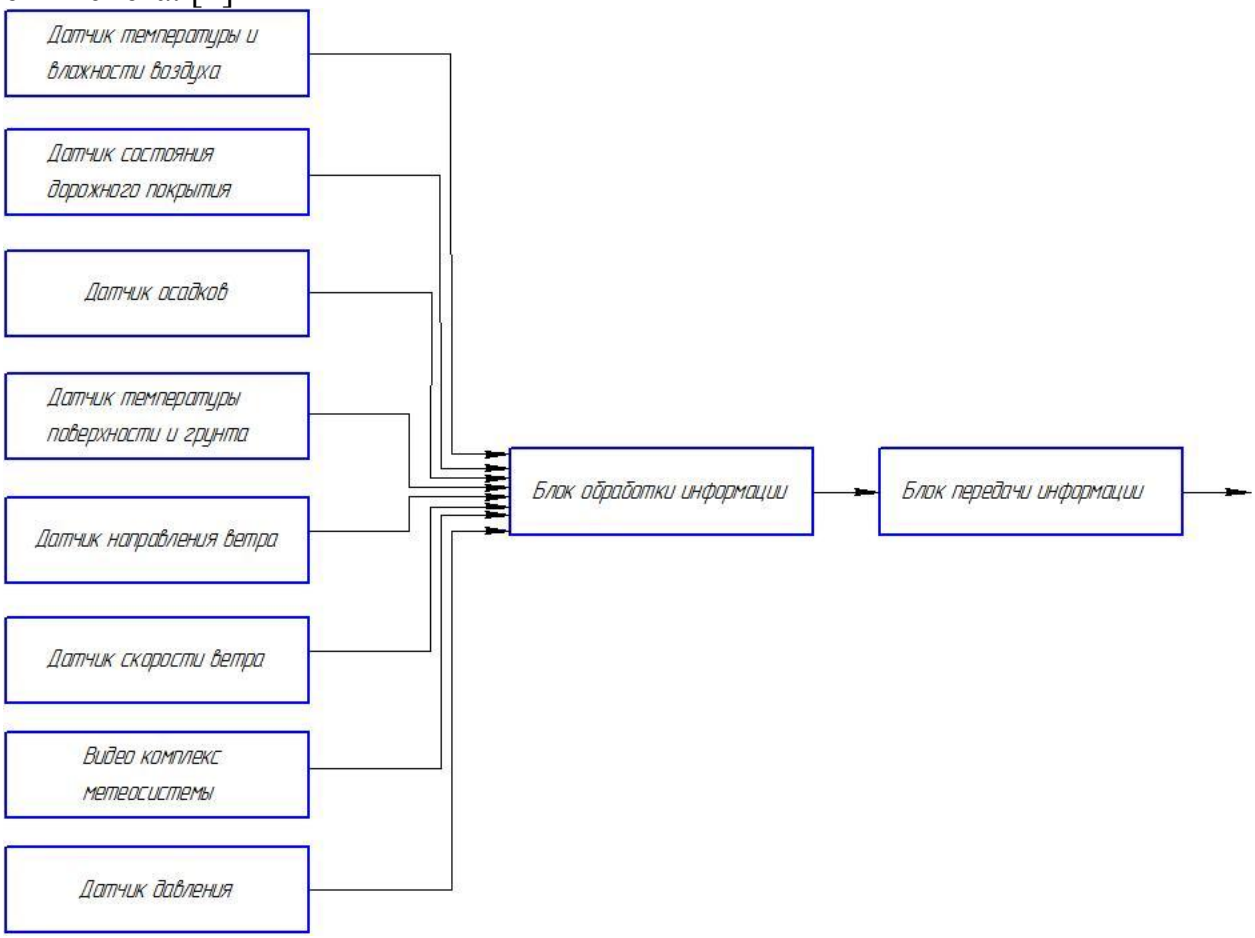


Рисунок 1 – Структурная схема системы

Структурная схема системы представлена на рисунке 1. В состав входят следующие аналоговые и интегральные цифровые датчики:

- Датчик температуры и влажности воздуха

Температура и влажность воздуха определяют погоду в настоящее время и на данном участке дороги. В составе дорожной метеостанции датчик влажности необходим для определения точки росы – температуры, при которой происходит конденсация водяного пара из воздуха. Для вычисления температуры точки росы, помимо влажности, необходимо знать температуру самого воздуха. Дан-

ные показатели напрямую связаны с возможностью образования тумана, выпадением осадков, обледенением на дорогах.

- Датчик осадков

Для содержания дороги необходимо с достаточной точностью знать время начала выпадения осадков, их тип (дождь, снег, дождь со снегом, и т.п.), а также интенсивность. Причём, когда мы имеем дело с так называемыми твёрдыми осадками, для нужд дорожной отрасли более существенным является не количество осадков после превращения их в воду, как это принято в метеорологии, а какой слой таких осадков образуется на поверхности дороги.

- Датчик состояния дорожного покрытия

Состояния дорожного покрытия «сухо», «лед», «снег», «вода» позволяют правильно планировать работу дорожных служб, заблаговременно оценивать необходимый объём работ и объем реагентов в зимнее время.

- Датчик температуры поверхности и грунта

Температура дорожного покрытия - важный параметр для правильной эксплуатации дороги. Зная температуру дороги в холодное время года можно прогнозировать скользкость и планировать использование противогололедных реагентов, а в летние месяцы - ограничивать движение транспорта при превышении температуры предельных значений.

- Датчик направления ветра

Параметр, показывающий направление ветра, является основополагающим для выявления такого опасного явления как боковой ветер. Однако, данный параметр играет важную роль и в определение появления «перемётов», которые образуются на автомобильных дорогах низовыми метелями. При разрывах или полном отсутствии посадки с одной стороны автомобильной дороги и наличии бокового ветра происходит перенос снега, который откладывается в полях, на проезжую часть автомобильных дорог, в результате чего образуются сугробы снега.

- Датчик скорости ветра

Информация о скорости ветра необходима для предупреждения такого опасного явления как сильный боковой ветер. Известно, что сильные порывы бокового ветра могут привести к аварийной ситуации с транспортными средствами, имеющими большую парусность (автобусы, большегрузные фуры). Учёт переноса воздушных масс над поверхностью дороги позволяет более точно прогнозировать температуру дорожного полотна.

- Видео комплекс метеосистемы

Общая протяжённость сети автодорог не позволяет провести визуальный контроль метеоусловий на каждом из её участков без дополнительных технических средств. Видео комплекс метеосистемы позволяет осуществлять непосредственный визуальный контроль состояния дороги, контролировать качество работы дорожных бригад и иметь оперативную информацию о дорожном движении.

- Датчик давления

Используя данные об атмосферном давлении дорожные службы, могут получать прогноз на несколько часов вперед, что позволяет заранее быть готовым к неблагоприятным условиям и иметь время на подготовку уборочной техники.

Один из способов повышения точности является оптимизация параметров. Например, при измерении температуры воздуха по схеме, представленной на рисунке 2.

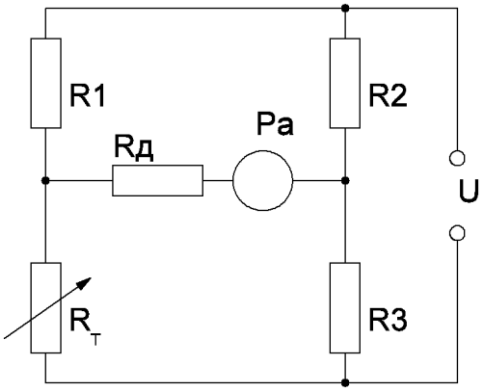


Рисунок 2 – Схема для измерения температуры

Данная схема состоит из постоянных резисторов *R1, R2, R3*, терморезистора *R*т, нагрузочного резистора *Rd* и амперметра *PA.*

Необходимо определить оптимальные значения параметров схемы (*R1, R2, R3, U)*, которые будут обеспечивать минимальное значение погрешности приближения, определяемой согласно выражению [3]:

$$\Delta I_{\text{сх}} = \frac{R_{\text{Т}} R_2 - R_1 R_3}{R_{\text{д}}\ \ R_{\text{Т}} + R_1\ \ \ R_3 + R_2\ \ + R_{\text{Т}} R_1\ \ R_3 + R_2\ \ + R_3 R_2\ \ R_{\text{Т}} + R_1} - k\ \ T - T_{\text{Н}}$$

где $k = 1 мкА/°C$ – масштабный коэффициент,

*T*н – нижний предел измерения;

T – измеряемая температура.

Для определения оптимальных параметров применяем полиномы Чебышева. [3]

При решении системы уравнений с помощью блока Given Find в программе Mathcad были получены следующие значения: R3=37.795 Ом; R1=R2=39.2499 Ом; U=-0.187 В.

Вся совокупность данных получаемых с представленных датчиков поступает в единый центр (приложение), где с помощью определенных программ происходит комплексная обработка и представление результата, который в последующем может быть использован метеослужбами для своевременного обслуживания дорожного полотна, либо автомобилистами для корректировки поведения на дороге.

Предполагается, что такая система будет востребована в городах, где автомобильный трафик очень высок и поэтому обслуживание дорог должно быть достаточно быстрым для предотвращения аварийных ситуаций, использование

интегральных датчиков в совокупности с методами оптимизации позволит повысить точность и достоверность результатов измерения, уменьшить габариты измерительной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зимнее содержание автомобильных магистралей/ Министерство дорог РСФСР Центральное Бюро научно-технической информации; Москва 1985.

2. ОДМ 218.2.003-2009 Методические рекомендации по специализированному прогнозу состояния дорожного покрытия // АО «Кодекс». – Электрон. дан. – Режим доступа https://www.ryazangov.ru/governmentro/obdd/2018/12.pdf (дата обращения 13.03.2019).

3. Подмастерьев К.В. Точность измерительных устройств: Учебное пособие. – Изд. 2-е, доп. и перераб. / К.В. Подмастерьев. – Орел: ОрелГТУ, 2004. – 140 с.

А.С. Гноевой, курсант; рук. Д.Н. Иванов, к.т.н. доц.
(ВА ВПВО ВС РФ г. Смоленск)

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА СШП СИГНАЛОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Пути повышения технических характеристик специальных радиотехнических систем приводят к необходимости создания перспективных высокоинформативных систем передачи данных и радиолокаторов, в которых преимущества достигаются за счет увеличения ширины спектра несущих сигналов. Такие сигналы получили название сверхширокополосных (СШП).

По одному из наиболее распространенных определений, к сверхширокополосным можно отнести сигналы, имеющие $0{,}25 < \eta \le 1$, где η находится по формуле [1, 2]:

$$\eta = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_{\max} + f_{\min}},$$

где $f_{\max}$ – максимальная частота спектра сигнала;

$f_{\min}$ – минимальная частота спектра сигнала.

Это определение не может охватить всего многообразия сверхширокополосных сигналов, но в настоящее время используется многими разработчиками.

Представление и анализ СШП сигналов, удобно производить во временной форме. В зависимости от этого СШП сигналы, могут быть различной временной зависимости – видеоимпульс (положительной или отрицательной полярности), биполярный импульс, радиочастотный импульс.

Временная форма видеоимпульса, как правило, описывает форму гауссова импульса (рис. 1. а). Биполярный импульс (рис. 1. б) можно представить как период соответствующего синусоидального колебания. Радиочастотный СШП импульс (рис. 1. в) представляет собой несколько (от двух до пяти) периодов гармонического колебания, модулированного по амплитуде гауссовым им-

пульсом. В некоторых источниках такие сигналы могут называться негармоническими.

Спектры данных сигналов представлены на (рис. 2), видеоимпульса (рис. 2 а), биполярного импульса (рис. 2 б), радиочастотного СШП импульса (рис. 2 в).

В ряде случаев к сверхширокополосным могут относить короткоимпульсные гармонические сигналы, например, представленные на (рис. 3 а). Спектр таких сигналов изображен на (рис. 3 б).

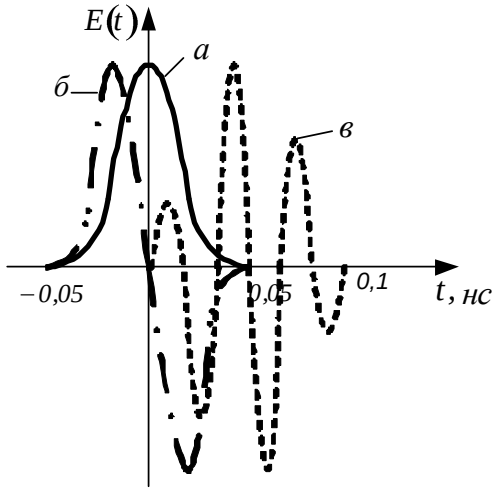


Рисунок 1 – Временная форма СШП сигналов

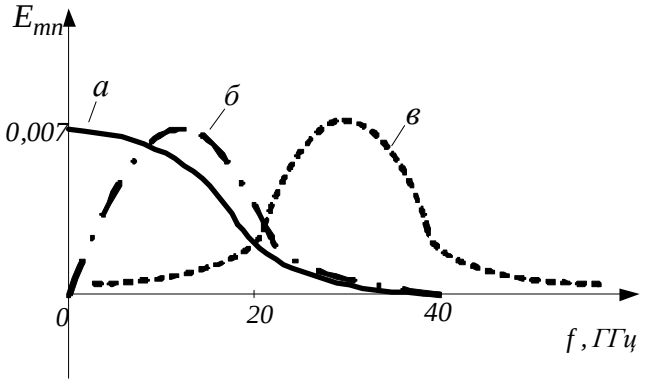
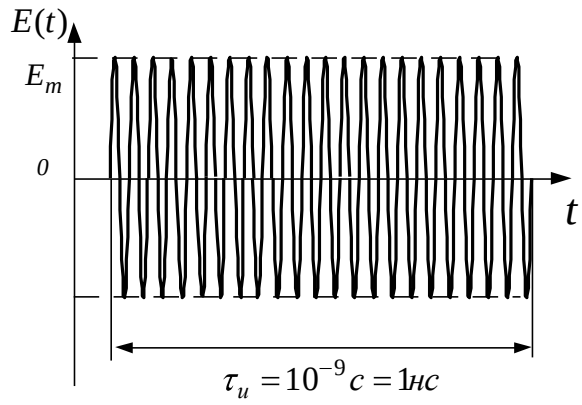
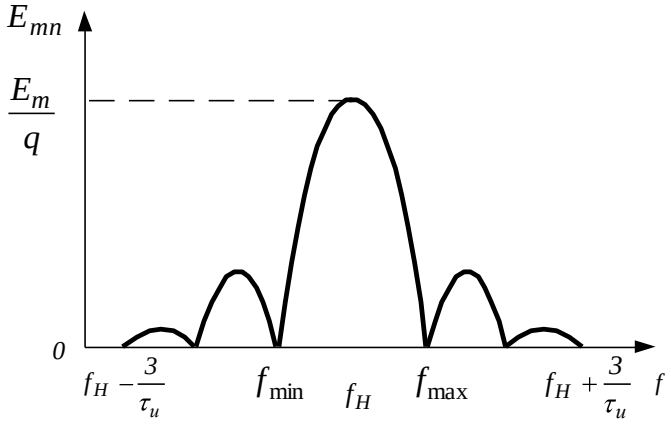


Рисунок 2 – Амплитудно-частотная характеристика СШП сигналов



а)



б)

Рисунок 3 – Короткоимпульсный гармонический сигнал (а) – временная и (б) – частотная форма записи

Короткоимпульсный гармонический сигнал длительностью $\tau = 1нс$, при 100 периодах колебания гармонического сигнала будет иметь несущую частоту $f_н = 100\,ГГц$. Соответственно:

$$f_{\min} = f_н - \frac{1}{\tau_и} = 99\,\text{ГГц},$$

$$f_{\max} = f_н - \frac{1}{\tau_и} = 101\,\text{ГГц},$$

$$\eta = \frac{101-99}{200} = 0{,}01.$$

Из конечного выражения видно, что импульс не подходит под представленное определение сверхширокополосности. Однако спектр такого сигнала распределен в достаточно широком диапазоне частот. Поэтому некоторые разработчики радиотехнических систем относят его к разряду сверхширокополосных. Несущая частота данного сигнала 100 ГГц. У таких сигналов при распространении в атмосфере очень большой коэффициент затухания. Например, сигнал с несущей частотой равной 100 ГГц при прохождении расстояния 10 километров ослабляется по напряжению в 3.5 раза больше по сравнению с сигналом, у которого спектр распределен от 0 до
10 ГГц. Однако такие сигналы все равно находят применение при построении радиолокационных комплексов в силу простоты технической реализации. Так как для гармонических сигналов расчет параметров антенн и других СВЧ устройств разработан давно и успешно используется на практике, расчеты производятся в частотной области с использованием преобразования Фурье [3].

Анализ зависимости коэффициентов ослабления электромагнитной волны при распространении в атмосфере в зависимости от частоты (рис. 4) показывает, что меньше всего будут ослабляться СШП сигналы, спектры которых лежат в полосе частот от 0 до 20 ГГц.

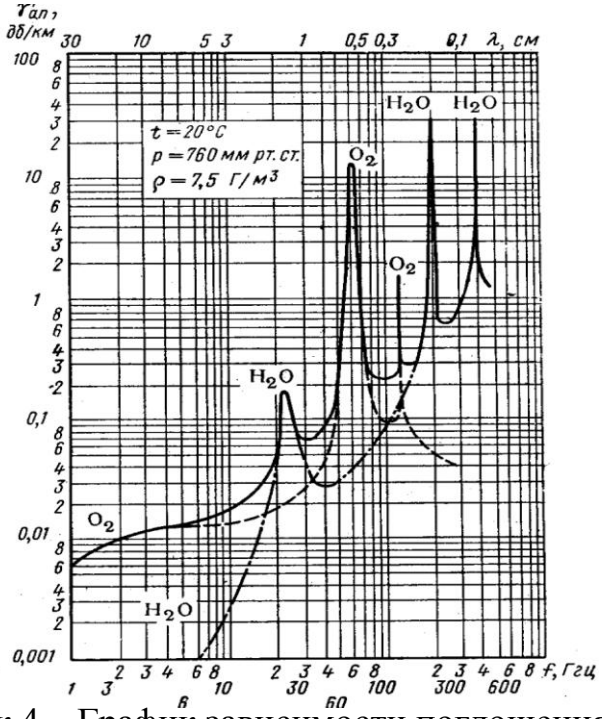


Рисунок 4 – График зависимости поглощения и рассеивания радиосигналов при распространении в атмосфере

Следовательно, при построении перспективных сверхширокополосных специальных радиотехнических систем целесообразнее всего использовать негармонические сигналы в виде одно- и двухполярных видеоимпульсов, основная энергия которых лежит в диапазоне от 0 – 20 ГГц, где ослабление сигнала минимальные. Методики расчета параметров СВЧ устройств для таких типов сигналов как правило разрабатываются во временной форме, поскольку требуют одновременного решения задач в диапазонах от кило- до гигагерц [4]. Универсальной методики расчета параметров СШП устройств в настоящее время не существует, поскольку решение производится в четырехмерном пространстве (включающем три пространственные координаты и время). Поэтому в настоящее время актуальной задачей становится разработка методик расчета параметров СШП устройств для каждого конкретного случая, с учетом назначения и геометрических размеров данных типов устройств, что наряду с возможностью формирования мощных СШП сигналов накладывает некоторые ограничения на возможность создания перспективных специальных радиотехнических систем.

Список литературы

1. Иммореев И. Я. Сверхширокополосная локация: основные особенности и отличия от традиционной радиолокации// “Электромагнитные волны и электронные системы”, 1997, – №1. т.2. с. 81-88.

2. Иммореев И.Я. Сверхширокополосные радары: новые возможности, необычные проблемы, системные особенности//“Вестник МГТУ”, 1998, –№4. с. 25-56.

3.Зайцев А. В. Исследование электромагнитных полей во временной области. – Антенны, №6 (52) 2001.

4. Иванов Д.Н., Халла А.В., Даниленко А.А Анализ приближенных методов решения задач электродинамики//“Материалы III международной научно-технической конференции” Энергетика, информатика, инновации – 2013, – Смоленск: Филиал МЭИ в г. Смоленске, 2013. – С. 338-342.

Е.А. Головачев, студ; В.Л. Жбанова, доцент
Филиал «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске

СХЕМА КОНТРОЛЛЕРА ОТОБРАЖЕНИЯ ТЕРМОМЕТРА

Для нормального функционирования нагревательных приборов и оборудования, в частности, котлов, парогенераторов, экономайзеров требуется постоянное отслеживание температуры при входе и на выходе при помощи разнообразных специальных измерительных приборов.

В данной статье предлагается использовать интегральную схему для вывода показаний температуры измерительных приборов на электронный индикатор. Для вывода требуемых показаний на индикатор предлагается использовать схему адресации методом досчета. В данной схеме могут выводиться на экран, как отрицательные, так и положительные значения.

Рассмотрим синтез устройства управления индикаторами на основе программы Proteus. Данная программа обладает удобным интерфейсом и проста в освоении. Так же в Proteus удобно проектировать контроллеры. Достаточный набор инструментов и функций делают эту программу хорошей платформой для проектирования в цифровой схемотехнике. А также с помощью этой программы, при помощи сопутствующей программы ARES создать разводку схемы под

плату, что значительно облегчает работу при создании действующих экземпляров плат[2].

В схеме для исследования адресации методом досчета индикаторов используются знакосинтезирующие индикаторы, регистры, счетчики, дешифраторы и элементы комбинационной логики, входы и выходы которых подключены к гнездам разъемов, образующих наборное поле[1]. На рис. 1. приведены временные диаграммы работы индикаторов при способе адресации методом досчета.

Принципиальная схема в программе Proteus приведена на рис.2.

Для нормального видения символов отражаемых на семисегментном индикаторе, приведен расчет сетки частот синхронизации:

По эргономическим причинам используют частоты не ниже 85 Гц, для режима отображения темных символов на светлом фоне (для светлых символов на темном не ниже 72 Гц). Ниже этого значения уже становятся заметны мелькания. Поэтому была выбрана частота мерцания экрана индикатора 100 Гц. Тогда частота мерцания каждого знакоместа равна:

$$f_{\text{зм.}} = f_{\text{экр.}} \cdot N = 100 \cdot 3 = 300 \text{ Гц.}$$

где $f_{\text{экр.}}$ – частота мерцания экрана; N- количество знакомест.

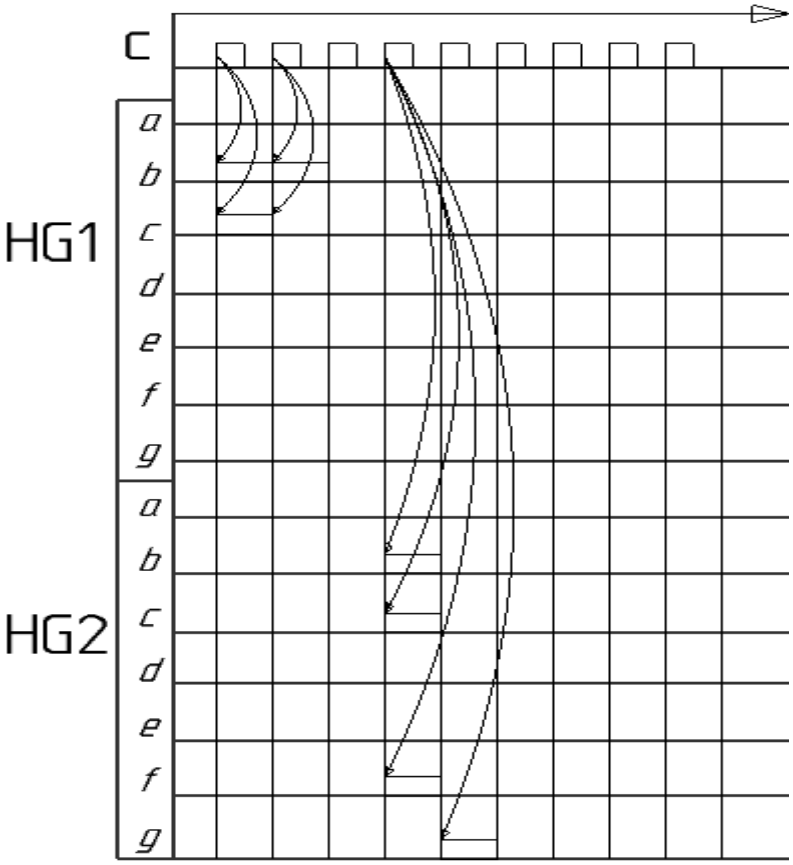


Рисунок 1– Временные диаграммы работы индикаторов при способе адресации методом досчета

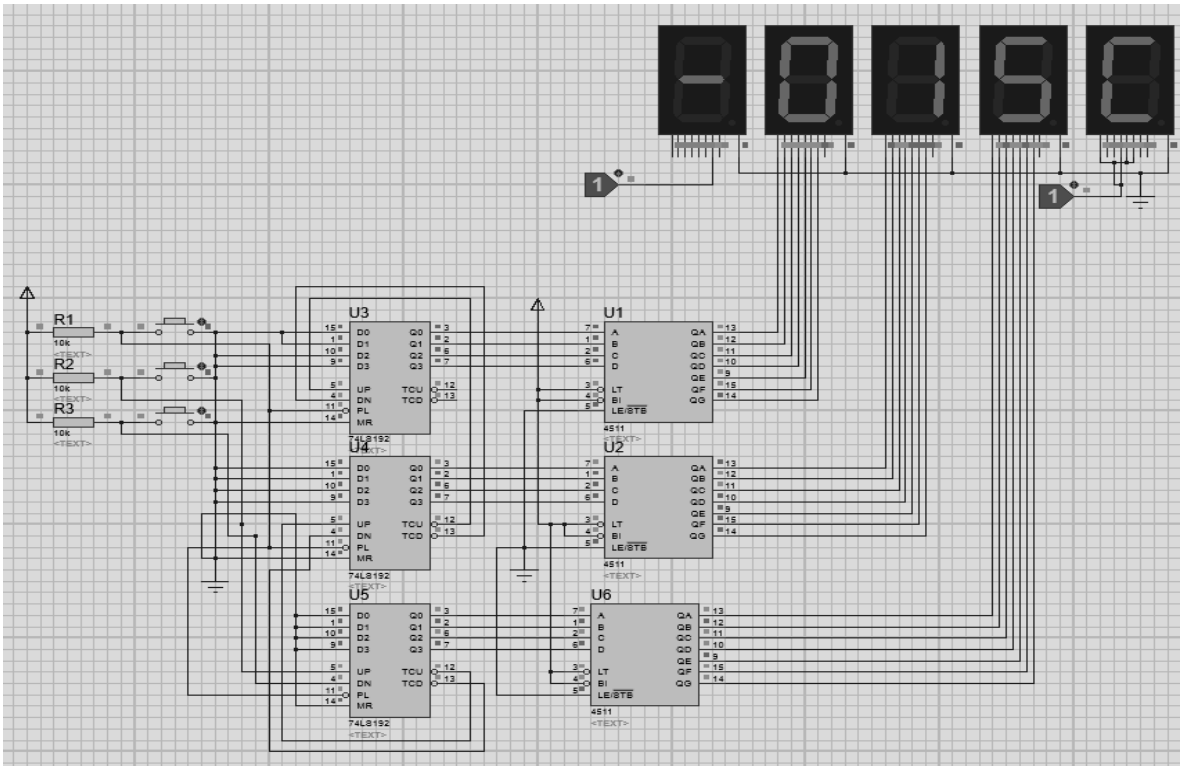


Рисунок 2 – Принципиальная схема в программе Proteus

На схеме присутствуют четыре индикатора. Первый индикатор показывает отрицательное «—» или положительное «+» значение температуры. Последующие три индикатора показывают численные значения, четвертый индикатор показывает что температура измеряется в C^o.

С помощью трёх кнопок можно вывести на экран индикатора требуемое значение. Для загрузки в буфер кода отображаемого числа, нужно подать сигнал на вход счетчика такое количество раз, которому соответствует нужное нам число, для этой операции используем первую кнопку. Обратный счёт осуществляется с помощью второй кнопки. Третья кнопка используется для сброса значений. Отображаемый символ формируется при помощи счетчика и дешифратора.

В дальнейшем вместо кнопочной системы можно использовать ПЗУ или буферный регистр.

Таблица – Используемые микросхемы при синтезе

Серия микросхемы	Количество корпусов	Количество элементов в корпусе	Количество использованных элементов	Избыточность
SN74LS192 (4-разрядный реверсивный счетчик)	3	1	3	0
Микросхема 4511 (регистр)	3	1	3	0
∑	6	-	6	0

Синтез схемы можно считать оптимальным, так как полностью отсутствует избыточность и используется небольшое количество элементов, поэтому данная схема будет рентабельна при производстве.

Метод досчета, как метод адресации семисегментного индикатора прост в использовании и практической реализации. Данный метод адресации планируется использовать для синтеза контроллера управления не только семисегментными индикаторами, а так же для управления матричными индикаторами.

В дальнейшем планируется синтезировать контроллеры для индикаторов вывода показаний не только температуры, но и другие показания различных измерительных устройств и приборов. Так же планируется исследовать и другие методы адресации, для вывода информации на индикатор.

Литература:

1. Гололобов В.Н. Proteus VSM: [Электронный ресурс]. URL: http://itexts.net/avtor-v-n-gololobov/54980-proteus-vsm-russkoe-rukovodstvo-vgololobov.html (Дата обращения: 25.02.2019).

2. PROTEUS по-русски // Электронный журнал «Радиоежегодник» - Выпуск 24: [Электронный ресурс]. URL: https://www.rlocman.ru/book/book.html?di=148418 (Дата обращения: 25.02.2019).

Е.А. Головачев, студ; В.Л. Жбанова, доцент
Филиал «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СХЕМЫ АДРЕСАЦИИ ДЛЯ СЕМИСЕГМЕНТНЫХ ИНДИКАТОРОВ

В данной статье, для управления сегментными индикаторами предлагается применить две схемы адресации: по сегментам и по знакоместам. Реализуем эти два метода на основе программного обеспечения и рассмотрим применение данных методов адресации сегментных индикаторов в различных сферах. Сравним эти две схемы, а так же оценим возможность создания на основе данных схем виртуальный стенд для обучения студентов.

Рассмотрим метод адресации сегментных индикаторов по знакоместам:

Допустим нам необходимо отобразить число 14, для этого на первый регистр подаем двоичный код 0001, а на второй регистр – 0100. После этого с помощью кодонаборника подаем импульс на вход разрешения записи регистров[1]. Далее подаем импульсы на счетный вход счетчика, наблюдаем, что индикаторы поочередно высвечивают цифры: первый индикатор высвечивает цифру 1 (см.рис.1), второй – 4 (см.рис.2).

В этой схеме запись кода числа в буфер происходит аналогичным образом, что и в предыдущей. Далее, при подаче сигналов на счетный вход счетчика, поочередно опрашивается каждый сегмент индикатора, и если он присутствует в исходном отображаемом символе, сегмент высвечивается. Для поочередного опроса сегментов используется цепь, состоящая из счетчика и дешифраторов «3 на 8». На выходах данных дешифраторов поочередно появляется информаци-

онный сигнал, который одновременно поступает на катоды индикаторов и на схемы сравнения. Далее происходит сравнение сигналов с дешифраторов и если сигналы оказываются равны – на анод индикаторов со схемы сравнения поступает уровень логической единицы, в результате чего, высвечивается сегмент, присутствующий в заранее сохраненном символе. Таким образом, на первом индикаторе, сегменты высвечиваются при подаче 2-го и 3-го счетных сигналов, а на втором индикаторе – при подаче 2-го, 3-го, 6-го и 7-го счетных сигналов[1].

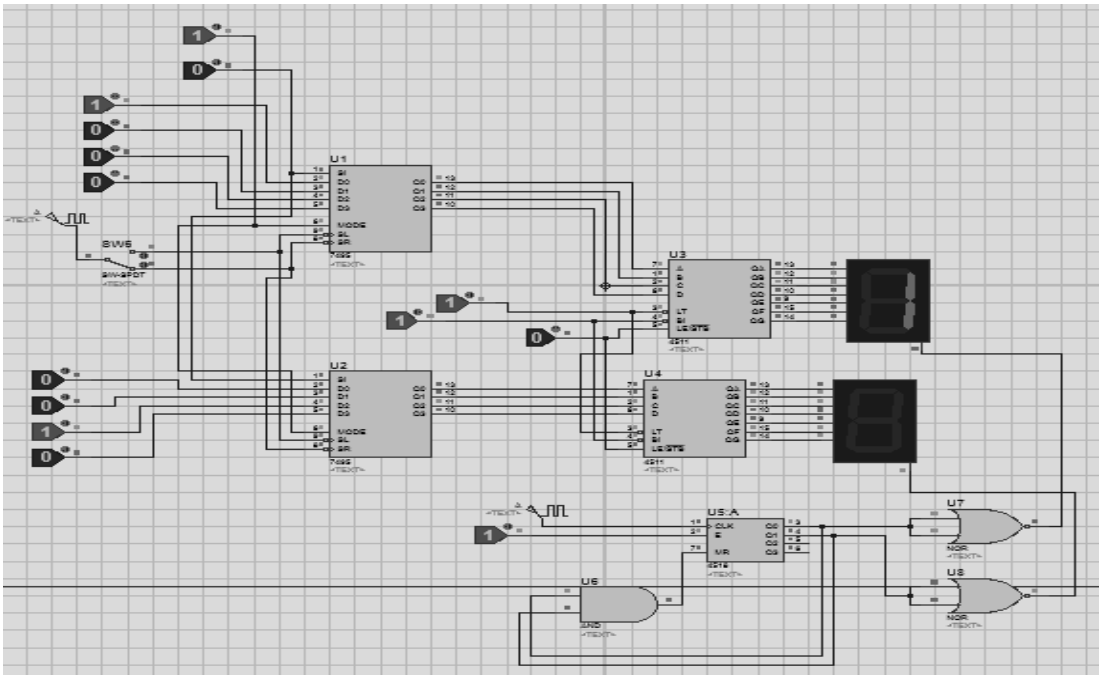


Рисунок 1– Принципиальная схема метода адресации по знакоместам сегментного индикатора в программе *Proteus*, показывающая цифру «1».

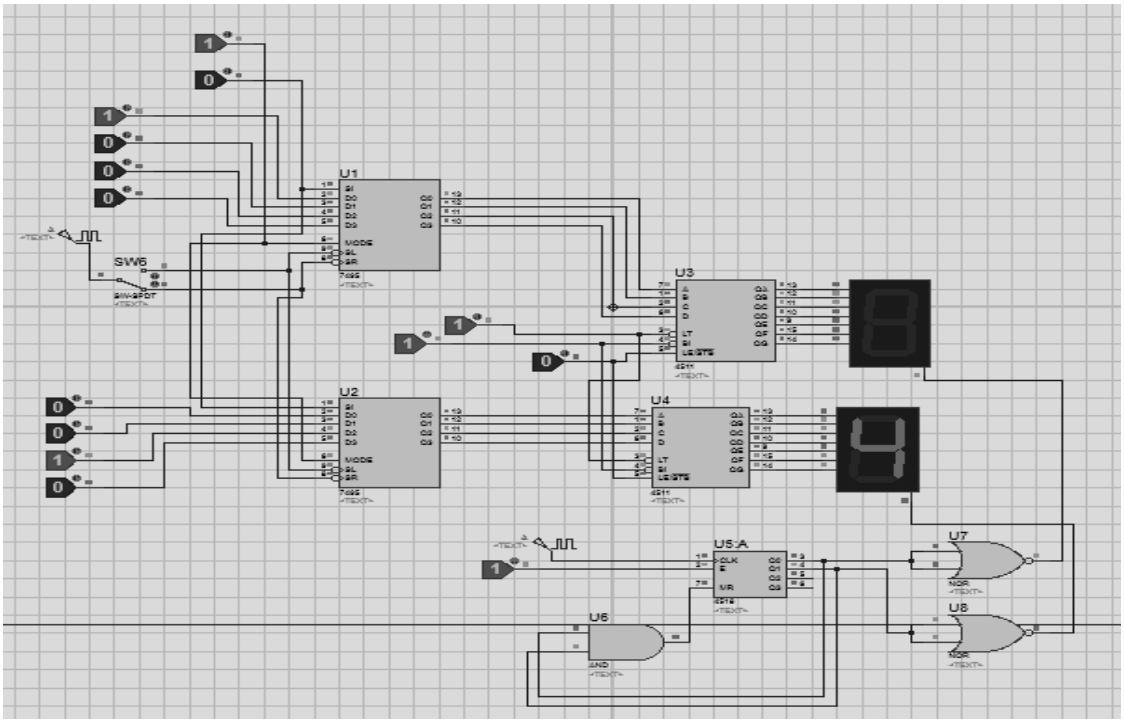


Рисунок 2 – Принципиальная схема метода адресации по знакоместам сегментного индикатора в программе *Proteus*, показывающая цифру «4».

Таблица1–Используемые микросхемы при синтезе методом по знакоместам

Серия микросхемы	Количество корпусов	Количество элементов в корпусе	Количество использо-ванных эле-ментов	Избыточ-ность
Микросхема 7495 (4-разрядный регистр сдвига)	2	1	2	0
Микросхема 4511 (регистр)	2	1	2	0
Микросхема 4518 (4-разрядные синхронные счётчик)	1	1	1	0
∑	5	-	5	0

Теперь рассмотрим схему адресации по сегментам:

Принципиальная схема метода по сегментам в программе *Proteus* приведена на рисунке 3.

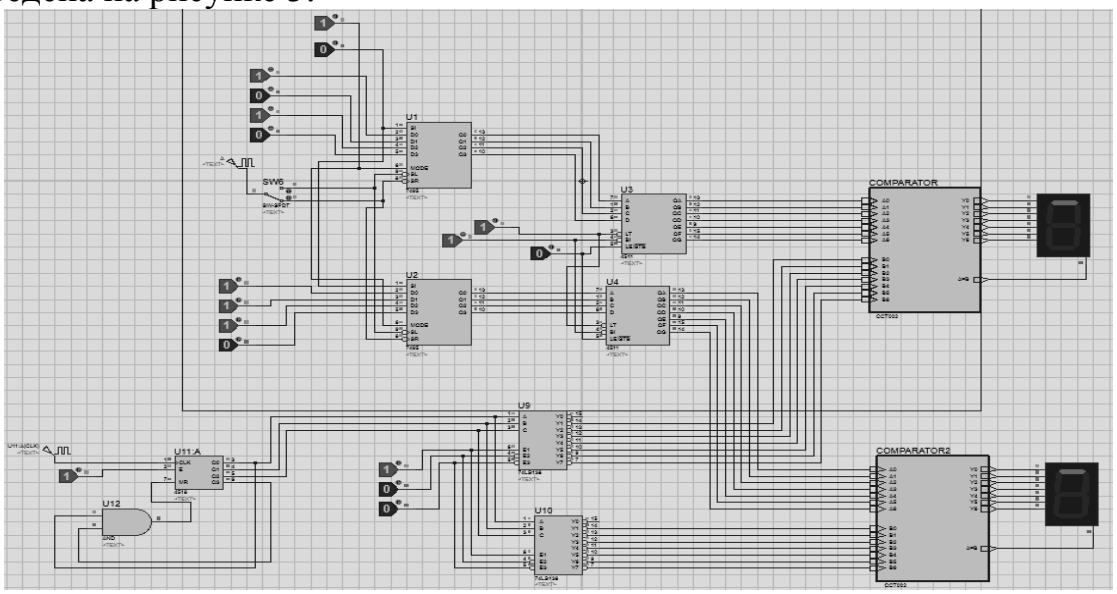


Рисунок 3 – Принципиальная схема метода по сегментам в программе *Proteus*

Таблица 2–Используемые микросхемы при синтезе методом по сегментам

Серия микросхемы	Количество корпусов	Количество элементов в корпусе	Количество использо-ванных эле-ментов	Избы-точность
Микросхема 7495 (4-разрядный регистр сдвига)	2	1	2	0
Микросхема 4511 (регистр)	2	1	2	0
Микросхема 4518 (4-разрядные синхронные счётчик)	1	1	1	0
74LS138 (дешифратор)	2	1	2	0

Микросхема CCT002 (компаратор)	2	1	2	0
∑	9	-	9	0

В рассмотренных двух методах адресации сегментных индикаторов, наиболее простым в реализации можно считать метод адресации по знакоместам, в данной схеме используется меньше элементов и эта схема проста в практической реализации. Синтез схем можно считать оптимальным, так как полностью отсутствует избыточность.

Данные схемы можно использовать в различных сферах, где используются знакосинтезирующие семисегментные индикаторы. На основе разработанных схем планируется в программе *Proteus* реализовать виртуальный стенд для различных методов адресации сегментных индикаторов, также возможно синтезировать контроллер для управления матричными индикаторами и на основе платы разведенной в *ARES* создать стенд для обучения студентов[2]. Так же приведенные схемы можно использовать в различных сферах, где используются сегментные индикаторы.

Литература:

1. Гололобов В.Н. Proteus VSM: [Электронный ресурс]. URL: http://itexts.net/avtor-v-n-gololobov/54980-proteus-vsm-russkoe-rukovodstvo-vgololobov.html (Дата обращения: 28.02.2019).

2. PROTEUS по-русски // Электронный журнал «Радиоежегодник» - Выпуск 24: [Электронный ресурс]. URL: https://www.rlocman.ru/book/book.html?di=148418 (Дата обращения: 28.02.2018).

Д.А. Гондоров, маг.; рук. С.А. Образцов, к.т.н., доцент
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МИКРОСХЕМЫ 1310НМ025

В настоящее датчики давления используются во многих отраслях промышленности, сферах деятельности и как части комплексов устройств по сбору и обработке информации об окружающей среде. При их проектировании одним из важных направлений развития является автоматизация и совершенствование систем сбора и обработки информации.

Такие датчики давления должны обладать характеристиками, как:

- стойкостью к внешним воздействующим факторам (линейному ускорению, вибрационным нагрузкам, механическим ударам, повышенному давлению, пониженной и повышенной температуре);
- высоким ресурсом работы и надёжности датчика;
- удовлетворительной массой и размерами и датчика.

В конструкции датчика планируется использование специальных упругих мембран, отклонение которых пропорционально изменению давления внешней среды, которые в свою очередь будут изменять положение сердечника ЛРДТ.

Линейный регулируемый дифференциальный трансформатор (ЛРДТ) – электрическая машина, состоящая из одной первичной обмотки (1) и двух вторичных обмоток (2). Принцип действия ЛРДТ в качестве датчика перемещения осуществляется посредством подачи опорного синусоидального напряжения $U_{вх}$, за счёт чего создаётся магнитное поле, наводящее ЭДС во вторичных обмотках. Конструкция ЛРДТ представлена на рис. 1.

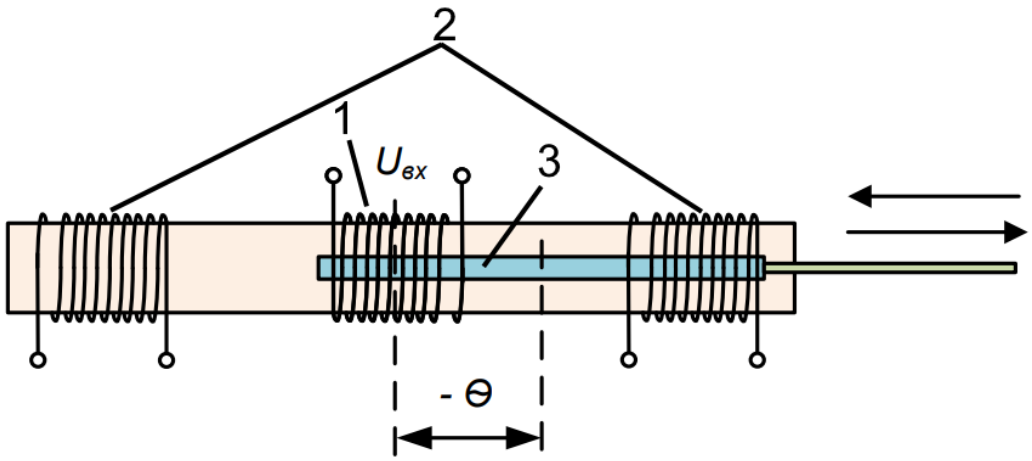


Рис. 1 — Конструкция ЛРДТ

При смещении Θ сердечника (3) в сторону от центра приводит к изменению магнитных потоков вторичных обмоток и амплитуда напряжения на вторичных обмотках определяется согласно формулам 1 и 2:

$$U_a = k \cdot U_{вх} \cdot (1 + \Theta) \quad (1)$$

$$U_b = k \cdot U_{вх} \cdot (1 - \Theta) \quad (2)$$

Графическое представление сигналов приведено на рис. 2.

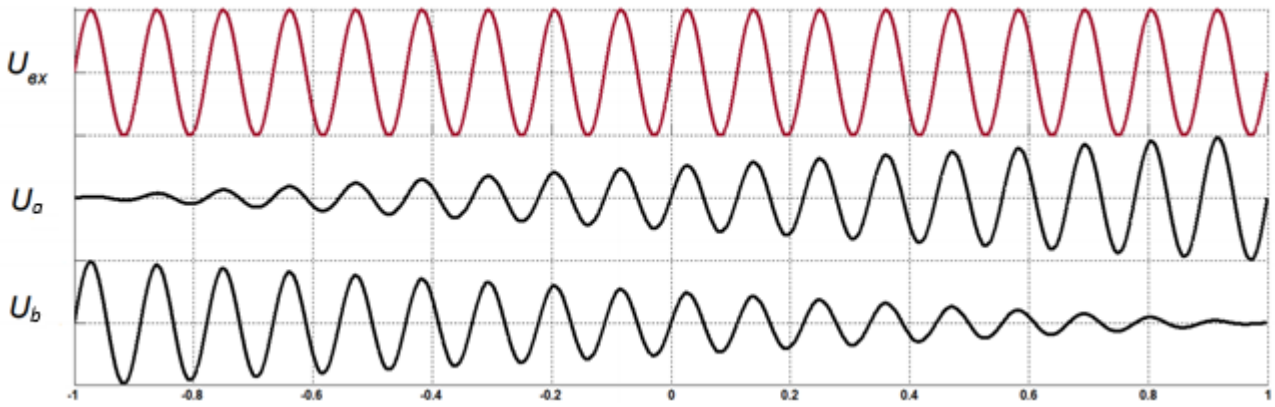


Рис. 2 — Вид сигналов на обмотках ЛРДТ

Преимущества использования ЛРДТ заключается в том, что из-за отсутствия механического контакта между сердечником и катушками, вследствие

чего отсутствует потери на трение и механизм имеет высокую помехоустойчивость.

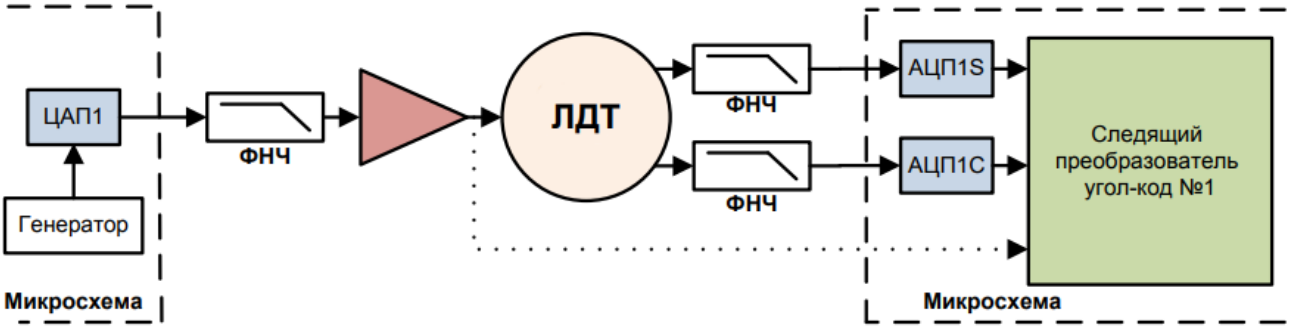


Рис. 3 — Функциональная схема подключения ЛРДТ к микросхеме 1310НМ025

Микросхема 1310НМ025 содержит внутренний генератор сигнала, возбуждающего первичную обмотку. Сигналы со вторичных обмоток ЛРДТ преобразуются в цифровое значение и поступают на вход преобразователя, который осуществляет нахождение координаты, используя виртуальную модель датчика и контур с обратной связью, где далее происходит пересчёт координаты в значение давления.

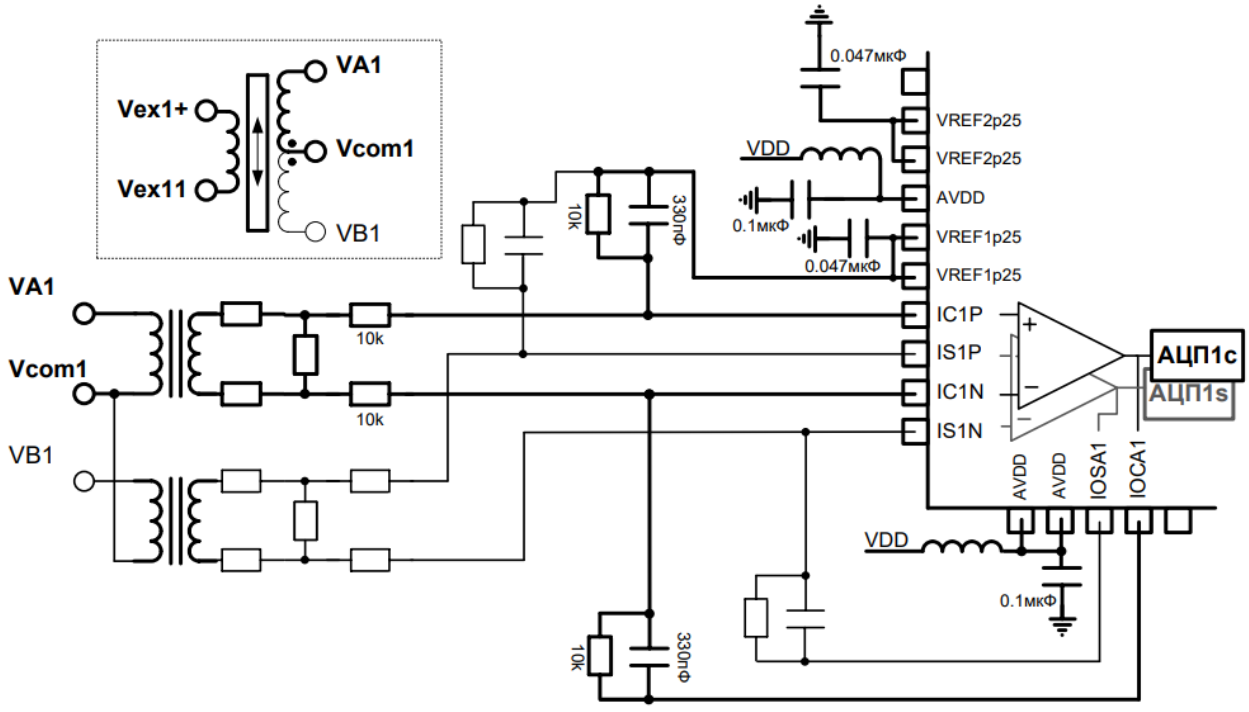


Рис. 4 — Принципиальная схема подключения ЛРДТ к микросхеме 1310НМ025

Принципиальная схема подключения, по которой будет осуществляться подключения ЛРДТ к микросхеме должна обеспечить необходимый уровень амплитуды и постоянной составляющей на входах АЦП (рис.4).

Таким образом, отечественная микросхема 1310НМ025 является пригодной и эффективной для создания датчиков давления на основе линейных регулируемых дифференциальных трансформаторов.

Литература

- Гаврилов В.А., Трофимов А.А. Система измерения линейных перемещений // Датчики и системы, 2005, №9, с. 44-46.
- Спецификация на микросхему 1310НМ025 версия 2.0.0 от 24.05.2018

Электронный ресурс // URL: https://ic.milandr.ru/upload/iblock/1f0/1f00e093feec526706420024c0946c59.pdf

Ю.А. Демьянова, маг; В.А. Иванов, маг; рук. Н.Н. Строев к.т.н., доцент
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

МОДУЛЬ КОНТРОЛЛЕРА ЗАРЯДА ДЛЯ СИСТЕМЫ ЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

Для зарядки аккумуляторной батареи от нескольких независимых источников энергии разработана система зарядки, состоящая из двух модулей: модуля преобразования энергии и модуля контроллера заряда. Данная система позволяет:

- заряжать аккумуляторную батарею от нескольких независимых источников электроэнергии;
- заряжать аккумуляторную батарею в оптимальном режиме, снижая скорость её износа;
- своевременно заменять аккумуляторную батарею, при её сильном износе.

Модуль контроллера заряда в свою очередь реализует следующие функции:

- управление зарядкой аккумуляторной батареи в зависимости от текущего уровня заряда аккумулятора;
- информирование пользователя о критическом износе аккумуляторной батареи.

Для увеличения срока использования аккумуляторной батареи и его своевременной замены требуется знать параметры его заряда. Измерить параметры аккумуляторной батареи можно с помощью микросхемы *MAX*17055. Она измеряет такие параметры аккумуляторной батареи, как целевое напряжение, ток заряда, ток отключения зарядного устройства и др. и передает их по интерфейсу *I2C*. Эти данные могут быть приняты микроконтроллером и переданы им микросхеме контроллера заряда. Контролировать процесс заряда аккумуляторной батареи позволит микросхема *BQ*24151. Для управления работой микросхем выбран микроконтроллер *STM*32*F*446*RET*. В данном микроконтроллере используется процессорное ядро *ARM Cortex M*4. Микроконтроллеры *STM*32 от-

личаются сочетанием характеристик малого энергопотребления и высокой производительности.

Выбранный микроконтроллер *STM32F446RET* поддерживает встроенный интерфейс *I2C* и одновременную работу с двумя устройствами по данному интерфейсу, и может принимать и передавать данные через порты *SCL* и *SCA* соответственно.

Напряжение питания микроконтроллера *STM32F446RET* составляет 3,3 *В*, а напряжение, подающееся на устройство +5 *В*. В связи с этим требуется использовать стабилизатор напряжения на 3,3 *В*.

Индикация режимов работы осуществляется с помощью четырёх диодов: зелёный (аккумуляторная батарея заряжена, зарядка не требуется), жёлтый (идёт зарядка аккумуляторной батареи), синий (износ аккумуляторной батареи превышает допустимый), красный (ошибка работы).

Полная структура модуля контроллера заряда представлена на рис. 1.

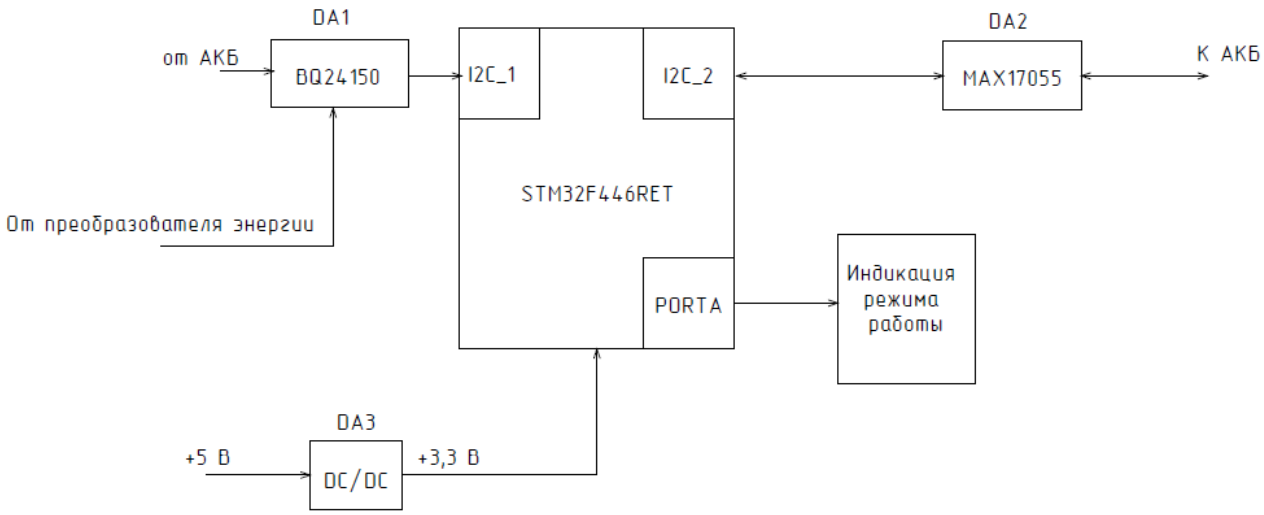


Рисунок 1 – Структурная схема модуля контроллера заряда

Зарядка аккумуляторной батареи осуществляется с помощью микросхемы *BQ*24151. Внутренняя структура микросхемы известна из документации на данную микросхему (рис. 2) [1].

Основную функцию микросхемы (контроль заряда) выполняет регулятор второго типа, который получается при подключении дополнительных элементов к микросхеме

В ходе разработки было проведено упрощённое моделирование работы контроллера заряда, составлена схема, моделирующая работу части внутренней структуры микросхемы.

Схема для моделирования включает в себя упрощённую аналоговую часть внутренней структуры микросхемы, работающей в режиме заряда аккумуляторной батареи (*Charge mode*) (рис. 3). Цифровое управление процессом зарядки в схему моделирования не включено.

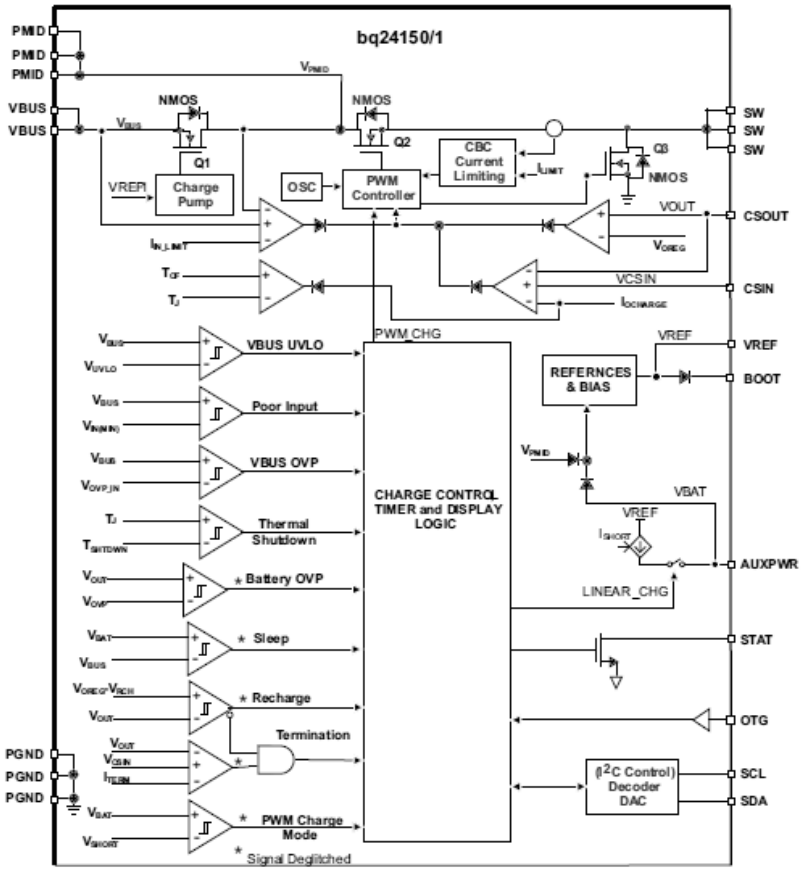


Рисунок 2 – Внутренняя структура микросхемы *BQ*24151

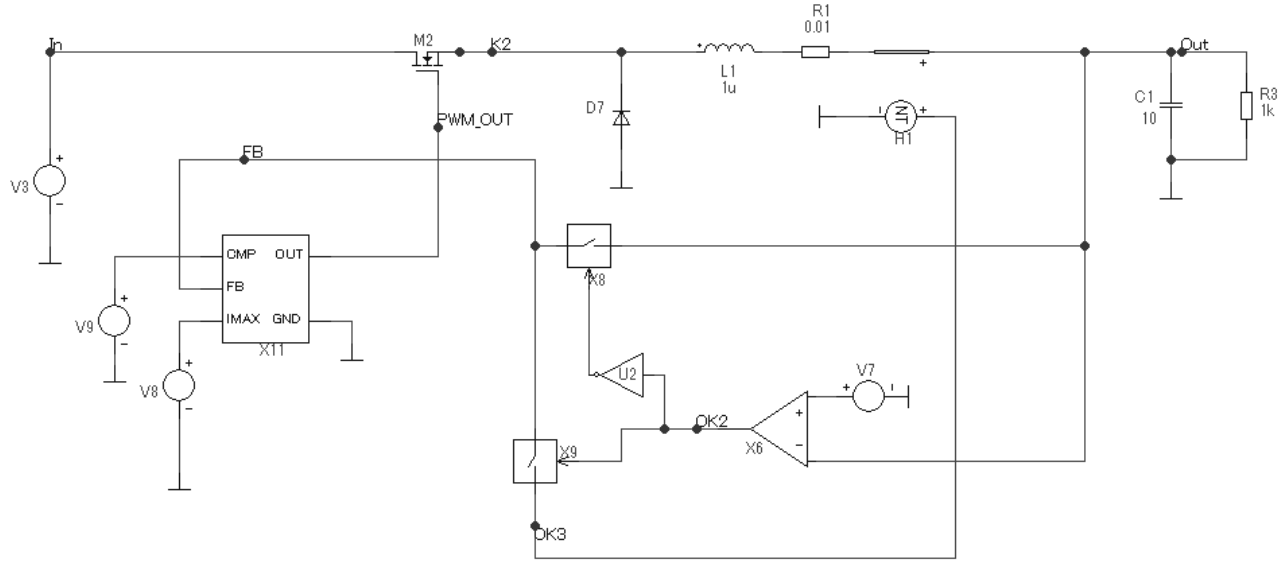


Рисунок 3 – Схема для моделирования работы микросхемы BQ24151

На схеме *X*11 выполняет функцию ШИМ контроллера. Компаратор *X*6 переключает цепи обратной связи: по напряжению и по току. В первом случае напряжение обратной связи снимается с выхода, во втором – формируется с помощью функционального источника напряжения, зависимого от тока. Акку-

муляторная батарея моделируется с помощью параллельно соединённых конденсатора и резистора. Работа аккумуляторной батареи моделируется с помощью конденсатора *C*1 и резистора *R3*. Ёмкость конденсатора меньше реальной ёмкости соответствующей аккумуляторной батареи, так как вычислительные возможности среды моделирования ограничены. В результате работы схемы конденсатор заряжается до напряжения 6 *В* (рис. 4).

Результаты моделирования показывают, что устройство удовлетворяет исходным требованиям и корректно осуществляет зарядку аккумуляторной батареи и модуль разработан корректно.

Разработанный модуль предназначен для работы в составе системы зарядки аккумуляторной батареи, но может использоваться и вне её для зарядки аккумуляторной батареи в нужном режиме и контроля её параметров.

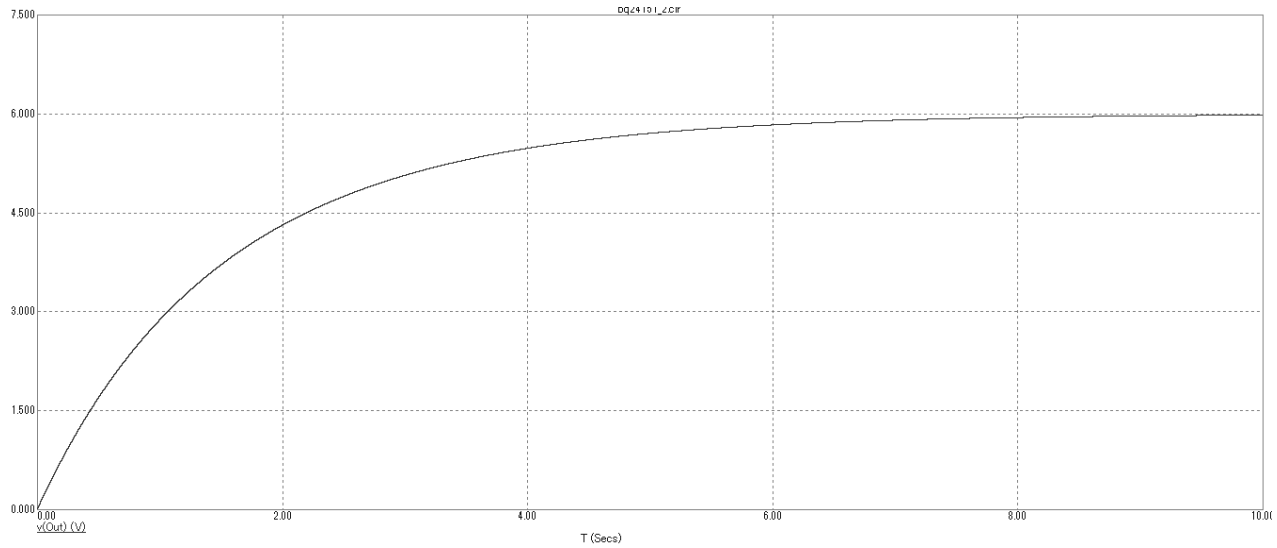


Рисунок 4 – Результат моделирования процесса заряда конденсатора

Литература

1. UM1725. Fully Integrated Switch-Mode One-Cell Li-Ion Charger with Full USB Compliance and USB-OTG Support [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/236604/TI/BQ24151.html, свободный (дата обращения: 05.09.2018 г.).

2. 7μA 1-Cell Fuel Gauge with ModelGauge m5 EZ [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX17055.pdf, свободный (дата обращения: 05.09.2018 г.).

А.О. Денисов, студ.; рук. М.В. Беляков, к.т.н., доцент.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РАСЧЕТ МНОГОСЛОЙНОГО ПРОСВЕТЛЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ИГОЛЬЧАТЫХ ВАРИАЦИЙ

В статье представлено описание метода синтеза, использующего игольчатые вариации, и результат математического расчета четырехслойного просветляющего покрытия.

Ключевые слова: метод игольчатых вариаций, просветляющее покрытие, дальняя инфракрасная область спектра.

Для получения более широкого спектра использования оптических элементов, а так же определенных свойств на поверхность линз наносят, тончайшей плёнки или нескольких плёнок одна поверх другой, данный процесс называется просветлением оптики. Это необходимо для увеличения светопропускания оптической системы.

Обычно многослойное покрытие описывается конечным набором параметров: толщинами и показателями преломления слоев. Однако описать то же самое покрытие можно и другим способом, вводя функцию распределения показателя преломления вдоль нормали к покрытию. Эта нормаль совпадает с осью *z*, которая направлена от подложки в сторону внешней среды (рис.1.). Координаты границы покрытия с подложкой принимается за ноль, а координату его границы с внешней средой за z_c. Координаты границ слоев обозначаются $z_1, z_2, \dots, z_m$. Функция $n(z)$, задающая распределение показателя преломления вдоль нормали к покрытию, является кусочно-постоянной и принимает значение n_j внутри j -того слоя. [1]

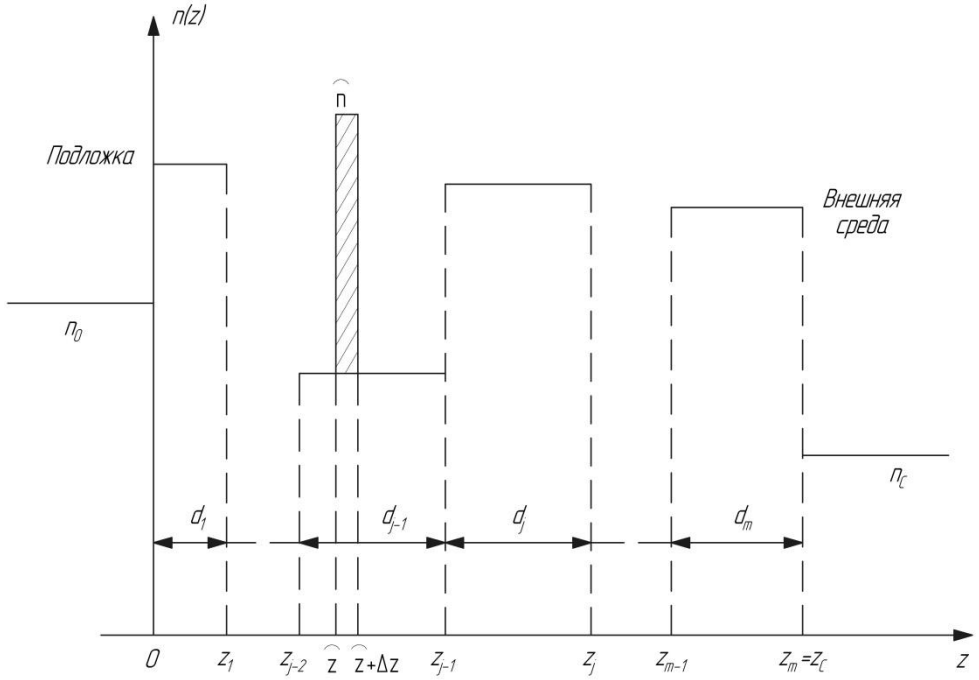


Рис.1. Многослойная оптическая система.

С помощью метода игольчатых вариаций значительно расширяется возможность синтеза покрытий с весьма сложными спектральными характеристиками, для которых неизвестны хорошие начальные приближения. При этом часто для получения требуемых спектральных свойств приходится использовать слоистые покрытия с достаточно большим числом слоев.

Игольчатыми вариациями называются вариации профиля показателя преломления n на малых участках толщин Δz. Вариации эквивалентны добавлению новых тонких слоев в существующий дизайн покрытия.

Для игольчатой вариации показателя преломления в точке z многослойного покрытия и нового слоя с показателем преломления n_k, первая вариация целевой функции ΔF представима в виде:

$$\Delta F = P(n_k, z) \cdot \Delta z + o(\Delta z) \quad (1)$$

где $P(n_k, z)$ – функция игольчатых возмущений.

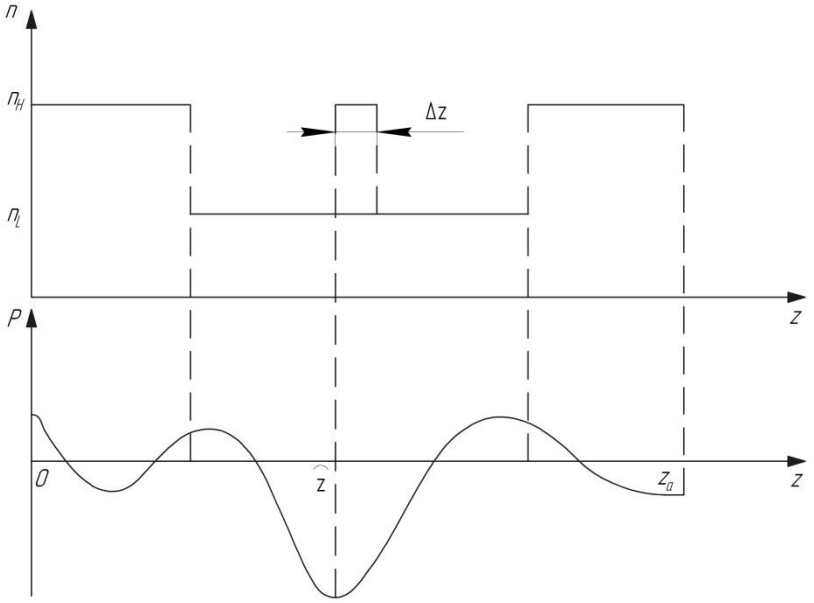


Рис.2. Функция возмущений.

Если функция игольчатых возмущений принимает отрицательное значение в некоторой точке, то игольчатая вариация показателя преломления в данной точке приведет к уменьшению значения целевого функционала при условии достаточно малой толщины нового слоя Δz.

Описанный метод содержит в себе в качестве составной части определенный алгоритм минимизации в пространстве фиксированного числа параметров. При этом он имеет возможность переходить в процессе минимизации из пространства одной размерности в пространство другой размерности. Фактически за счет такого перехода осуществляется выход из локального минимума функции многих переменных. В выражении (1) для изменения оценочной функции могут быть выписаны не только линейные, но и квадратичные по Δz члены. Это позволяет не только определять место проведения игольчатой вариации, но и оценивать ее оптимальную ширину Δz.

В программе OptiLayer v.8.85 реализован метод игольчатых вариаций. С помощью программы были рассчитаны характеристики многослойного просветляющего покрытия для дальней инфракрасной области спектра. [2]

В OptiLayer v.8.85 слоям присваиваются номера, начиная от подложки, а также автоматически присваиваются аббревиатуры H и L в соответствии со значениями показателей преломления.

Таблица 1 – Характеристики просветляющего покрытия для дальней инфракрасной области спектра (8 – 14 мкм).

Материал подложки				Германий		
Материалы покрытия				1.Иттрий фторид (YF_3, n=1,5) 2.Германий (Ge, n=4,0) 3.Барий фторид (BaF_2, n=1,48) 4.Германий (Ge, n=4,0)		
№	Физическая толщина	Оптическая толщина	FWOT	QWOT	Аббрев.	Материал
1	320,283	480,425	0,1922	0,7687	L	YF_3
2	175,575	935,814	0,3743	1,4973	H	Ge
3	1300,186	1924,275	0,7697	3,0788	L	BaF_2
4	31,711	169,021	0,0676	0,2704	H	Ge

Оптической толщиной слоя называется произведение физической толщины слоя и его показателя преломления. Оптическая толщина может быть задана в единицах QWOT (quarter wave optical thickness). Толщина QWOT равна оптической толщине слоя, поделенной на $\lambda_0/4$ опорной длины волны.

$$nd = \frac{\lambda_0}{4}. \quad (2)$$

Так как программа способна рассчитывать покрытия не только кратные $\lambda_0/4$, но и другие, тогда из (2) получаем:

$$nd = \frac{\lambda_0 \cdot QWOT}{4}. \quad (3)$$

Дизайн полученного покрытия задается в виде последовательности чисел и аббревиатур показателей преломления. Последовательность соответствует очередности слоев покрытия. Числа обозначают толщины в QWOT, аббревиатуры указывают на материал слоя.

Пример: 0,77L 1,5H 3L 0,27H – четырехслойное покрытие, полученное для дальней инфракрасной области спектра, со слоями, имеющими оптическую толщину 0,77, 1,5, 3, 0,27 QWOT.

Толщина QWOT равна одной четверти толщины FWOT (full wave optical thickness).

Описан принцип метода игольчатых вариаций, который используется в программе OptiLayer v.8.85 и результат расчета программой многослойного покрытия.

Литература

1. Тихонравов А.В., Гришина Н.В. Современные подходы к проектированию многослойных оптических систем [Электронный ресурс] // Компьютерная оптика. - 1992. № 10-11. С. 3-47.

2. Беляков М.В., Денисов А.О. Четырехслойные просветляющие покрытия для средней и дальней инфракрасной областей спектра // «Энергетика, информатика, инновации-2018» (микроэлектроника и оптотехника). Сборник трудов. В 3 т. Т.2. Филиал ФГБОУ ВО «Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске, 2018. с. 53-56.

А.Г. Дымникова, студ.; рук. М.В. Беляков, к.т.н., доцент
(филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ СПЕЛОСТИ СЕМЯН

Явление люминесценции имеет широкое распространение. Оно применяется в медицине, в электронике, в сельском хозяйстве, в живописи и др. Люминесцентным методом также проверяют дистиллированную воду. Установлено, что дистиллированная вода обладает слабой люминесценцией в ближней УФ и видимой областях спектра. Предложены дермально-имплантированные люминесцентные датчики для контроля биохимии ткани [3]. Большое значение имеет роль люминесцентного анализа в фото-дерматологии и фотодинамической терапии рака [4]. Рентгенолюминесцентная компьютерная томография является новым гибридный метод визуализации. Была исследована рентгеновская люминесценция из воды, воздуха, а также живых тканей.

Так же данный метод находит применение для идентификации кадмиевых пигментов на картинах. Комплексное исследование люминесцентных свойств пигментов кадмия были предприняты для идентификации свойств и составления карты пигментов картин. Люминесценция от картин используется уже много лет для визуализации неоднородности палитры, восстановления и в некоторых случаях для отображения люминесцентных красителей [2]. Изучаются люминесцентные свойства неорганических стекол, легированных молекулярными кластерами, содержащими медь. Такое стекло может использоваться в качестве сенсорного элемента в волоконно-оптических датчиках температуры.

В данной статье на основе явления люминесценции предлагается методика определения спелости семян зерновых растений при созревании [1]. Предлагаемая методика включает в себя следующие этапы:

1. Отбор семян и помещение их в светонепроницаемую камеру.
2. Облучение семян светодиодами с максимумами на длинах волн $\lambda_к$=362 нм и $\lambda_д$=485 нм.
3. Регистрация люминесценции с помощью двух фотоприемников с диапазонами чувствительности 380 – 580 нм и 510 – 650 нм.
4. Усиление электрического фотосигнала и преобразования его в цифровую форму.
5. Обработка поступающих сигналов с усилителя на микроконтроллере.
6. Вывод полученного результата с помощью цифрового индикатора.

Разработана структурная схема данного прибора, которая представлена на рисунке 1.

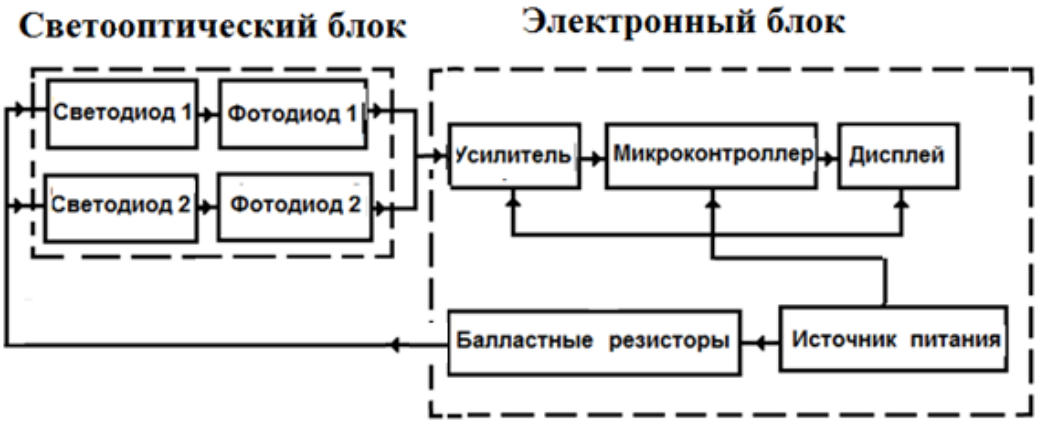


Рисунок 1 – Структурная схема прибора для определения степени спелости семян

Условно данную структурную схему можно разделить на светооптический блок и электронный блок. Светооптический блок состоит из осветительной части (источниками излучения служат светодиоды) и фотоприемного устройства (в качестве фотоприёмников используются фотодиоды). В свою очередь электронный блок состоит из усилителя сигнала, микроконтроллера, который по заданному алгоритму производит обработку информации, и индикатора, служащего для визуализации полученных данных.

Разработана функциональная схема прибора, которая представлена на рисунке 2.

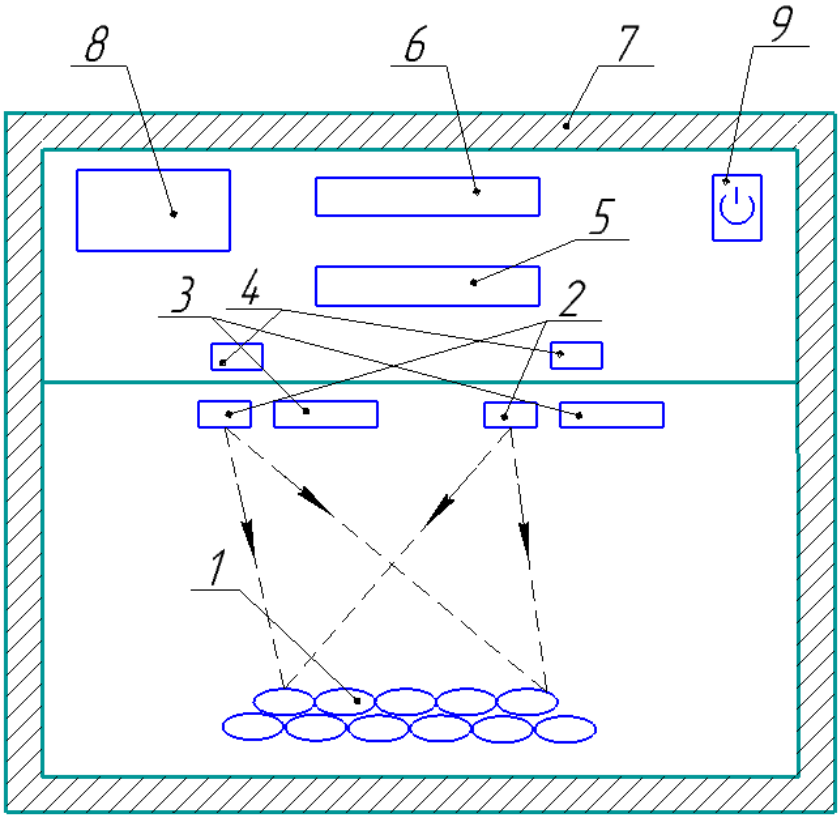


Рисунок 2 – Функциональная схема прибора определения степени спелости семян: 1-исследуемый материал; 2 – источник излучения; 3 – приемник излучения; 4 – усилитель аналогового сигнала; 5 – микроконтроллер; 6 – устройство визуализации; 7 – корпус прибора; 8 – элемент питания; 9 – система управления.

Разрабатываемый прибор для определения спелости семян фактически является однокамерным и представляет собой устройство, заключённое в прямоугольный корпус, на внутреннюю поверхность которого наносится черное неотражающее покрытие, а в фокальных плоскостях распложены все функциональные элементы.

Предложенная функциональная схема имеет ряд достоинств, в числе которых отсутствие оптических компонентов (линз, коллиматоров, плоских зеркал), вследствие чего отпадает необходимость в юстировке. Также достоинствами этой схемы является компактность, малая масса, стоимость, простота настройки и использования прибора.

Для разрабатываемого прибора важно, чтобы было как можно меньше навесных элементов, так как прибор планируется использоваться для экспресс-анализа, следовательно, он должен быть легким для переноски, компактным и простым в эксплуатации.

На основе выше представленных структурной и функциональных схем была разработана принципиальная схема, которая представлена на рисунке 3.

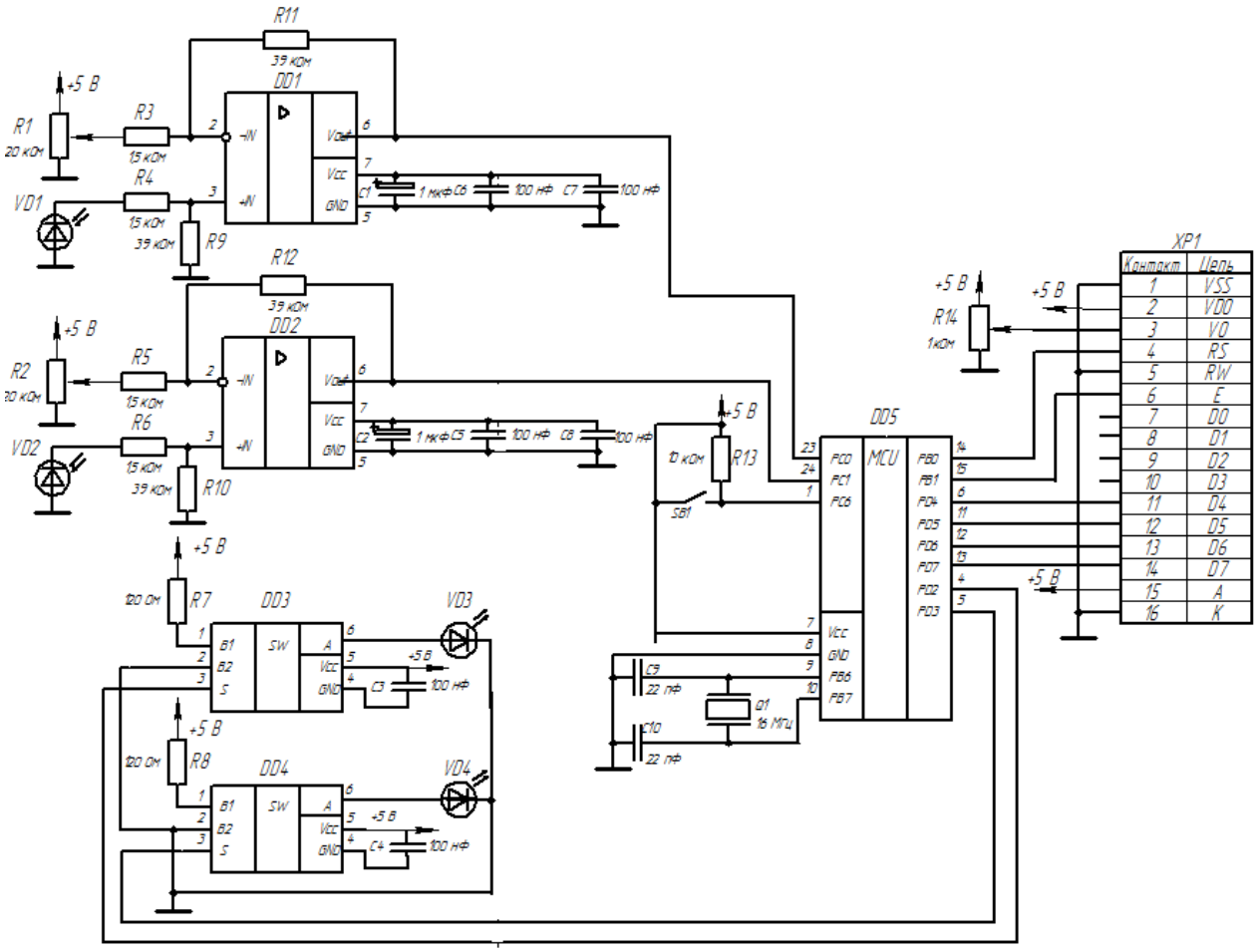


Рисунок 3 – Принципиальная схема прибора определения степени спелости семян

При разработке устройства были использованы следующие электронные компоненты: операционные усилители AD820AN2 (*DD*1 и *DD*2), аналоговые ключи SN74LVC1G3157 (*DD*3 и *DD*4), микроконтроллер Atmega328P (*DD*5). В качестве источников излучения выбраны два светодиода. Для коротковолнового

излучения выбран светодиод VLMU3510. Для длинноволнового излучения выбран светодиод XPEBBL-L1-R250-00 Z01. В качестве приемников излучения наиболее подходящими являются фотодиоды: S9219-01 и BPW21R. Для разделения приёма коротковолнового и длинноволнового фотосигналов используется временная задержка включения источников и приёмников, осуществляемая через микроконтроллер.

Литература

1.Беляков М. В., Булатикова В.О., Дымкова В.В., Дымникова А.Г. Изменения спектральных свойств фотолюминесценции семян пшеницы в процессе созревания // Энергетика, информатика, инновации – 2016: Сб. трудов VI Межд. науч.-техн. конф. - Смоленск: Универсум, 2016. Т. 2. С.23-26. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=27640029

2. Near-Infrared Luminescence of Cadmium Pigments: in Situ Identification and Mapping in Paintings. Mathieu Thoury, John K. Delaney, E. Rene de La Rie, Michael Palmer, Kathryn Morales, Jay Krueger [et al.] // Applied Spectroscopy 2011. Vol. 65. no 11.06230. DOI: https://doi.org/ 10.1366/11-06230

3. Three-dimensional, multiwavelength Monte Carlo simulations of dermally implantable luminescent sensors. / Ruiqi Long, Mike McShane [et al.] // J. Biomed. Opt. 2010. Vol. 15. no 1.3374180. DOI: https://doi.org/10.1117/1.3374180

4. Time-resolved singlet oxygen luminescence detection under photodynamic therapy relevant conditions: comparison of ex vivo application of two photosensitizer formulations. Jan C. Schlothauer,a Steffen Hackbarth,a Lutz Jäger,a Kai Drobniewski,a Hemantbhai Patel,b Sergiu M. Gorun,b and Beate Rödera [et al.] // J. Biomed. Opt. 2012. Vol. 17. no 11.115005. DOI: https://doi.org/ 10.1117/1.JBO.17.11.115005

В.П. Захаров, курс.; рук. А.В. Фатов, к.т.н.; В.В. Сухотин, к.т.н., доцент
(ВА ВПВО ВС РФ в г. Смоленске)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОГЕРЕНТНЫХ ПОМЕХ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ МОНОИМПУЛЬСНЫХ ПЕЛЕНГАТОРОВ

Создание помех угломерным каналам радиоэлектронных средств из одной точки затруднено, поэтому широкое распространение получили помехи, создаваемые из нескольких точек пространства. Одной из разновидностей многоточечных помех являются когерентные помехи. В настоящее время использование современной цифровой техники для генерирования и излучения высокостабильных сигналов с заданными параметрами позволяет рассчитывать на возможность реализации когерентных помех. Однако их эффективное применение возможно на ограниченных дальностях, что обуславливается техническим несовершенством аппаратуры постановки когерентных помех.

Поэтому целью настоящей статьи являлась оценка потенциальных возможностей, по постановке когерентных помех исходя из реализуемых технических параметров аппаратуры постановки помех при подавлении угловых координаторов ЗУР содержащих в своем составе амплитудный и фазовый суммарно-разностный моноимпульсный пеленгатор. Выбор указанных типов моноимпульсных систем обусловлен тем, что именно они чаще всего используются в системах автоматического сопровождения [1].

Для оценки эффективности применения когерентных помех моделировалась ситуация, представленная на рис. 1 – постановщик когерентных помех осуществляет подавление моноимпульсного амплитудного (фазового) суммар-

но-разностного пеленгатора. Аппаратура постановщика когерентных помех измеряет угловое положение носителя подавляемого пеленгатора (относительно перпендикуляра к базе между источниками излучения), рассчитывает согласно и выставляет необходимый сдвиг фаз между излучаемыми сигналами [1].

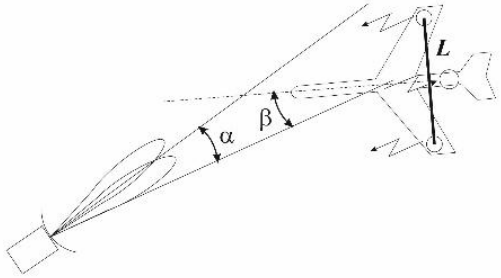


Рис. 1. Типовая ситуация постановки когерентных помех
угловому координатору ЗУР

Выбор параметров модели постановщика помех ограничен техническими параметрами отдельных элементов аппаратуры непосредственно влияющих на эффективность постановки когерентных помех [2, 3]:

точность измерения углового положения подавляемого пеленгатора относительно направления перпендикулярного к базе постановщика когерентных помех;

точность установки начальных фаз электромагнитных колебаний, излучаемого сигнала помехи;

величина линейной (угловой) базы между антеннами передающей системы аппаратуры постановки помех.

Конечная точность пеленга на подавляемую головку самонаведения представляет собой случайную величину, подчиняющуюся нормальному закону распределения с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением, зависящим от дальности.

Точность установки начальных фаз излучаемых сигналов помехи σ_φ зависит от точностных характеристик используемых в передающем устройстве постановщика когерентных помех управляемых фазовращателей. И представляет собой случайную величину, равномерно распределенную внутри интервала определяемого шириной дискрета фазовращателя.

Величина отношения амплитуд излучаемых когерентных сигналов не менялась и оставалась равной 1, так как его влияние привносит ошибки менее весомые, чем перечисленные выше параметры постановщика помех [1].

Математическая модель амплитудного суммарно-разностного моноимпульсного пеленгатора с парциальными характеристиками направленности, аппроксимированными функциональной зависимостью вида *sin(x)/x* построена по классической схеме (рис. 2). Соответствующий угол скоса между парциальными характеристиками направленности обеспечивает наличие линейного участка пеленгационной характеристики в направлении на постановщик когерентных помех (15 градусов от осевого направления пеленгатора).

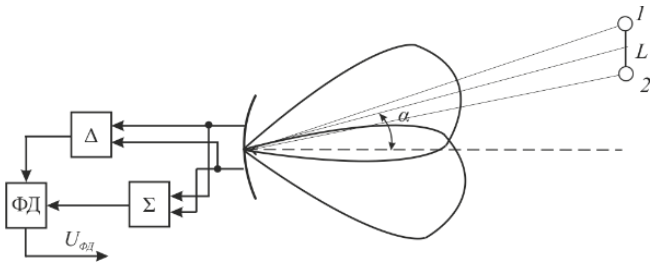


Рис. 2. Структурная схема имитационной модели амплитудного суммарно-разностного моноимпульсного пеленгатора

Пеленгатор вырабатывает оценку углового положения постановщика когерентных помех в зависимости от результирующей амплитудной огибающей электромагнитной волны вдоль апертуры антенны.

Проведена оценка эффективности постановки когерентных помех в диапазоне дальностей от 100 до 20000 метров зависимости от технических параметров постановщика помех:

величины базы между передатчиками когерентных помех расположенных на планере носителя;

величины среднеквадратического отклонения ошибки пеленгации носителя подавляемой РЛС (точность определения относительного углового положения), вне зависимости от способа его технической реализации;

величины среднеквадратического отклонения ошибки разбаланса фаз между передатчиками когерентных помех, вызванной дискретностью фазовращателей.

Моделирование осуществлялось в горизонтальной плоскости пеленгации. Длинна волны электромагнитных колебаний излучаемых постановщиком помех, принята равной 5 см. Поляризация излучаемых передатчиками помех электромагнитных волн и антенной системы пеленгатора предполагалась одинаковой и в расчетах не учитывалась.

Оценивались величина смещения математического ожидания измеренного значения пеленга $\Delta\alpha_{изм}$ и величина среднеквадратического отклонения измеренного значения σ_α. На рисунке 3 приведены графики полученных зависимостей.

Для анализа влияния величины базы между источниками излучения на величину и характер ошибок пеленгации величина базы L бралась равной 50, 30, 20, 15 и 10 метров. Остальные параметры аппаратуры постановки помех оставались постоянны: СКО ошибок пеленгации носителя подавляемой РЛС σ_n равное 10^{-3} радиан, СКО ошибок разбаланса фаз передатчиков помех, равное $3{,}07\cdot10^{-3}$ радиан (рис. 3а).

Анализ влияния ошибок пеленгации носителя подавляемой РЛС σ_n на величину и характер ошибок оценок пеленга проводился при значениях СКО ошибок пеленгации носителя равными 10^{-2}, 10^{-3},10^{-4}, 10^{-5} радиан, при постоянных значениях базы (25 м) и СКО ошибки разбаланса фаз ($3{,}07\cdot10^{-3}$ радиан) (рис. 3б).

Для анализа влияния ошибок установки фаз на ошибки пеленгации постановщика помех СКО ошибок разбаланса фаз передатчиков помех, принималось

равным $1{,}28\cdot10^{-2}$; $3{,}07\cdot10^{-3}$; $7{,}7\cdot10^{-4}$, $1{,}9\cdot10^{-4}$ радиан, что соответствует 8,10,12,14-разрядной шине управления фазовращателем. Величина базы (15 м) и СКО ошибок пеленгации носителя (10^{-3} радиан) оставались постоянными (рис. 3в).

По результатам 5000 измерений для каждого значения дальности из указанного выше диапазона получены оценки математического ожидания и среднеквадратического отклонения ошибок пеленгации постановщика когерентных помех. Статистическая обработка полученных результатов измерений проводилась в математическом пакете SigmaStat.

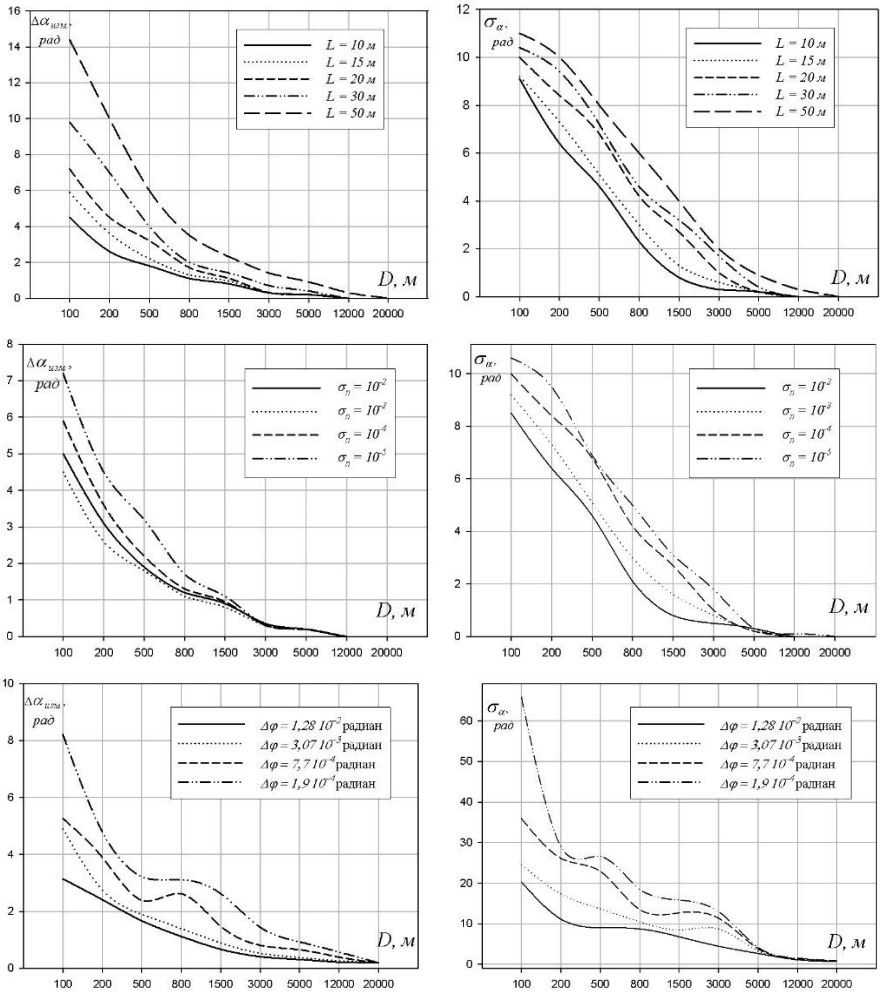


Рис. 3. Величина ошибок пеленгации постановщика когерентных помех в зависимости от его технических характеристик

Рассматривая анализируемый по результатам имитационного моделирования диапазон дальностей между ЗУР и постановщиком когерентных помех, можно выделить две зоны данного диапазона:

1. Зона I – зона воздействия когерентных помех на пеленгатор характер воздействия, которых аналогичен действию возрастающего по уровню углового шума (при пересечении основной и боковых зон инверсии фазы возможны кратковременное возрастание углового шума ударного типа). Положение этой

зоны согласно рис. 3 определяется интервалом от 20000 метров до 3000–5000 метров.

2. Зона II – зона эффективного воздействия когерентных помех на пеленгатор с растущим математическим ожиданием ошибки измерения пеленга (нарушение работоспособности пеленгаторов, принцип действия которых основан на нахождении направления вектора нормали к фронту волны). Данная зона согласно рис. 3 располагается в интервале дальности от 3000–5000 метров до истинного положения постановщика помех.

Размеры зон будут зависеть от технических характеристик постановщика помех, а так же взаимного положения постановщика помех и подавляемого пеленгатора (величины эффективной базы между передатчиками помех).

Исходя из результатов моделирования, можно говорить о незащищенности пеленгаторов моноимпульсного типа от воздействия когерентных помех. Нельзя также не отметить тот факт, что при нахождении пеленгатора в зоне I возможно применение способов, использующихся для компенсации воздействия углового шума (угловое стробирование, автоматические регулировки усиления и т.д.). В случае нахождения пеленгатора в зоне II применение указанных выше способов будет неэффективно, так как они направлены на усреднение оценки пеленга во времени. Действительно эти способы работоспособны при условии, что математическое ожидание измеренного значения пеленга, в конечном счете, будет стремиться к истинному значению. Результаты же проведенного моделирования указывают на то, что математическое ожидание оценок пеленга в случае эффективного воздействия когерентных помех отлично от истинного углового положения цели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перунов Ю. М., Фомичев К. И., Юдин Л. М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием/ Под ред. Ю. М. Перунова. М., Радиотехника, 2003. 416 с.

2. Фатов А.В. Математическая модель процесса постановки когерентных помех с учетом обратного вторичного излучения планера постановщика помех// сборн. матер. Всероссийской научно-практ. конф. г. Воронеж, ВУНЦ ВВС «ВВА», 2011. С. 76–80.

3. Фатов А.В. Электронный информационный образовательный ресурс: <Процесс наведения ЗУР> [Электронный ресурс] / Фатов А. В. // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов <Наука и образование>, № 2, - 2012. - Режим доступа: http://ofernio.ru/portal/newspaper/ ofernio/2012/2.doc.

К.А. Зинченко, маг., С.А. Амелин, рук., к.т.н., доц.
(Филиал «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОПТИЧЕСКИЕ И ИНДУКТИВНЫЕ ДАТЧИКИ ПОЛОЖЕНИЯ. ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В большинстве случаев, разработчики оборудования, функции которого, частично связаны с определением положения движущихся частей устройства или разрабатываемое устройство в целом направленно на отслеживание изменения положения некоторого объекта, сталкиваются с проблемой выбора датчиков положения.

В настоящее время известно множество вариаций датчиков положения, как в плане областей использования подобных устройств, так и принципов работы заложенных в основе их работы.

Однако, наибольшее распространение, среди разработчиков современных электронных устройств, нашли оптические энкодеры.

Существует два основных типа оптических энкодеров:

- Инкрементные энкодеры
- Абсолютные кодеры положения

Инкрементные энкодеры выдают на выходе серию прямоугольных импульсов. Принцип работы инкрементного энкодера показан на рисунке 1.

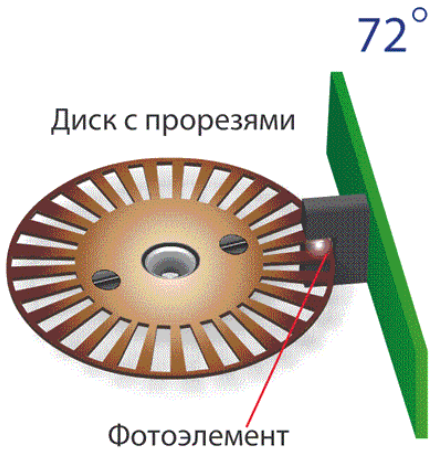


Рисунок 1 — Принцип работы инкрементного энкодера «на просвет»

Луч света, направленный на фотодетектор, периодически перекрывается диском с нанесенными на нем прорезями, вследствие чего происходит прерывания детектирования. Подобный принцип работы называется «на просвет».

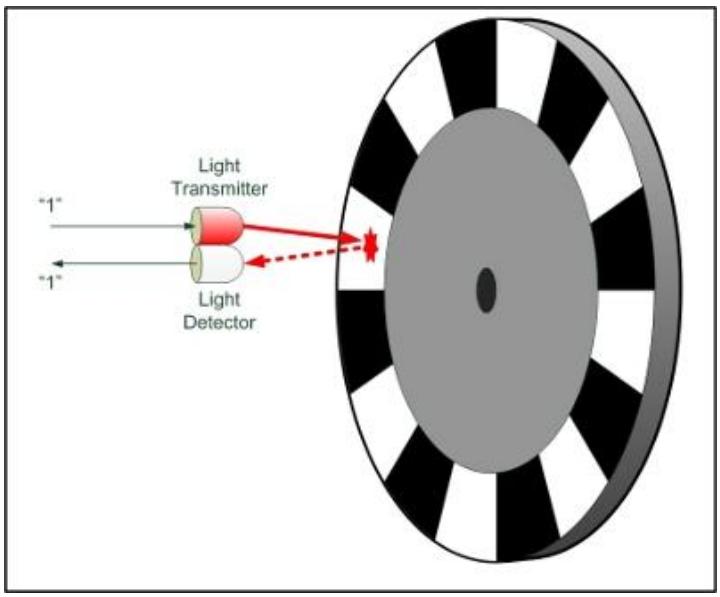


Рисунок 2 — Принцип работы инкрементного энкодера «на отражение»

Так же выделяют, отличный от первого, принцип работы «на отражение». Вместо диска с прорезями используется диск или лента с областями, обладающими разными отражательными способностями (рисунок 2).

В выше перечисленных случаях, фотодетектор фиксирует переход от одной области к другой, тем самым, энкодер формирует прямоугольные импульсы на выходе.

Наибольшей популярностью среди разработчиков пользуются абсолютные датчики положения. Их строение и принцип работы отчасти напоминает инкрементные энкодеры, хотя и имеет ряд отличий (рисунок 3).

Рисунок 3 — Структура оптического абсолютного датчика положения

Инфракрасные лучи светодиода, проходя через кодовый диск, попадают на фотодетектор (оптоэлектронная считывающая матрица). При каждом шаге углового положения кодового диска, темные участки кода предотвращают попадание света на фототранзисторы считывающей матрицы. Таким образом, темные (светлые) участки каждой из дорожек проецируются на считывающую матрицу и, впоследствии, преобразовываются в электрические сигналы. Электрические сигналы, в свою очередь, подготавливаются операционными усилителями и выходными драйверами для выдачи в виде двоичного кода. Изменения интенсивности источника светового потока регистрируются с помощью дополнительного сенсора и компенсируются электронной схемой.

Не смотря на свою популярность, оптические энкодеры имеют ряд существенных недостатков, среди наиболее существенных можно выделить:

- чувствительность к посторонним веществам;
- хрупкость;
- катастрофические режимы сбоев;
- высокая ограниченность температурного диапазона (от −20 до +70 °C).

Неудивительно, что оптические датчики положения не рекомендованы и крайне редко применяются в устройствах, которые должны обладать высокими требованиями к надежности и безотказности, а так же в устройствах связанных со сферой безопасности.

В последнее время, среди разработчиков электрических устройств, наблюдается тенденция замещения оптических энкодеров индуктивными энкодерами, или как их называют «инкодерами».

Что же собой представляют инкодеры и почему все больше и больше предпочтения отдается им?

В инкодерах происходит измерение положения ротора или мишени относительно статора, подобный принцип известен, как индукционный или трансформаторный. Применяемый принцип, с физической точки зрения, аналогичен, применяемым в бесщеточных резольверах или дифференциальных трансформаторах для измерения линейных перемещений. С другой стороны электрический интерфейс походит на ранее рассмотренные оптические датчики (постоянный источник тока, в качестве питания, а на выходе цифровой сигнал).

В этих датчиках напряжение питания подается на неподвижный статор, тогда как ротор остается пассивным. В статоре интегрирована необходимая электроника для обработки сигналов и передачи данных по стандартным интерфейсам.

Резольверы зарекомендовали себя точными, надежными и прочными устройствами. Это связано с тем, что принципы работы трансформатора, как правило, не подвержены негативному влиянию неблагоприятных условий окружающей среды, включая наличие грязи, пыли, воды и льда.

Однако, габаритные параметры резольверов весьма велики, что никак недопустимо в современных датчиках положения. Выход был найден за счет изменения конструкции: вместо трансформаторных обмоток в конструкции инкодеров применяются печатные платы ротора и статора. Плюсы от этого изменения очевидны – это миниатюризация устройства, повышение точности и, конечно, затраты на производство становятся меньше.

Отсутствие в энкодерах контактных частей, гарантирует длительный срок их службы, не требуя дополнительного обслуживания и ремонта.

Индуктивные датчики положения, также как и оптические датчики, легко интегрируемы, поскольку нуждаются лишь в источнике питания, а на выходе выдают цифровой сигнал, обозначающий положение. Важное отличие заключается в том, что инкодеры не содержат хрупких оптических компонентов, не чувствительны к внешним воздействиям, а рабочий температурный диапазон составляет от −100 до + 125 ° C.

Наиболее распространённым выбором до сих пор остаются оптические энкодеры. Они широко доступны и могут быть установлены в различном промышленном оборудовании. Однако новый тип устройств, индуктивный энкодер занимает всё большую долю на рынке и меняет традиционный баланс. Инкодеры можно рассматривать как гибрид индуктивных и оптических технологий.

Литература

1. Обзор датчиков положения [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://studfiles.net/preview/635678/

К.А. Зинченко, маг., С.А. Амелин, рук., к.т.н., доц.
(Филиал «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ДАТЧИКИ ПОЛОЖЕНИЯ. ВИДЫ. ПРИНЦИП РАБОТЫ

Датчик положения - измерительный преобразователь линейных или угловых перемещений в сигнал необходимой формы (электрический, механический, пневматический) для дальнейшего удобного рассмотрения его, как объекта носителя информации для регистрации, дистанционной передачи и дальнейших преобразований.

Датчики, определяющие положение объекта и измеряющие перемещения, можно поделить по принципу работы на две группы: инкрементальные датчики положения и абсолютные датчики положения.

Отличительной особенностью инкрементального датчика положения является то, что он сообщает о пошаговом изменении положения. Таким образом, для начала корректной работы с датчиком положения подобного типа, после подачи питания необходимо указать начальную точку отсчета (нулевую точку).

Абсолютный датчик положения выдает однозначную информацию о своем положении в каком-либо масштабе или в пределах какого-то диапазона. Иными словами, когда на датчик подается питание, он сообщает о своем положении даже без указания точки отсчета.

Наиболее часто используемым компонентом для всех датчиков положения, как правило, является потенциометр. Причины использования потенциометра являются очевидными, конструкция является не дорогой и простой для использования в датчиках положения.

Реализация конструкции потенциометра встречается как угловая (вращательная) так и линейная (ползунковая). Потенциометр имеет скользящий контакт, связанный механически с валом. Суть работы заключается в изменение сопротивления между двумя концевыми соединениями и контактами ползуна.

Таким образом, формируется электрический сигнал, характеризующийся пропорциональным соотношением между положением ползуна резистивной дорожки потенциометра и значением сопротивления. Можно сказать, что значение сопротивления потенциометра пропорционально положению ползуна.

Потенциометры имеют следующие недостатки:

- износ движущихся частей,
- слабая повторяемость,
- ограниченная частотная характеристика,
- невысокая степень точности.

Другим типом датчиков положения являются проволочные реостаты. Изготовляются в виде намотанной спирали и форме проводника с прямой проволокой.

Реостаты свойственен недостаток, связанный с переходом по сегментам проволоки, что не благоприятно влияет на выходной сигнал, приводя к его искажению. Также для проволочных реостатов характерны электрические помехи.

В настоящее время доступны и используются потенциометры на основе полимерного сопротивления для высокоточных малошумных применений.

Подобные конструктивные реализации имеют гладкую электрическую линейную резиновую дорожку с низким коэффициентом трения.

Оптические кодеры – это вид датчиков положения, которые, отчасти, напоминают потенциометры, но являются бесконтактными оптическими устройствами.

Принцип работы оптических энкодеров основан на использовании излучения светодиодного или инфракрасного источника света. Свет пропускается через вращающийся диск, с нанесенным на него шаблоном кода (BCD, двоичный код, код Грея) с высоким разрешением.

При вращении фотодетектор сканирует диск, затем электронная схема обрабатывает информацию, как поток двоичных выходных импульсов, в цифровой форме, подающиеся на счетчики или контроллеры, таким образом определяется фактическое угловое положение вала.

Большинство оптических устройств являются инкрементальными. Как правило, расположение определяется с помощью серии импульсов, обычно со сдвигом фаз на 90°, что позволяет определять направление движения.

Дискретность устройства определяется количеством темных и прозрачных сегментов. Таким образом, при увеличение количества строк в шаблоне диска увеличивается дискретность на степень вращения. Типичное значение для шаблонов кодированных дисков составляет 8 бит на оборот (256 импульсов).

Кодер «квадратурный» является довольно известным и распространенным устройством. В процессе работы выдает две выходные прямоугольные волны, как это показано на рисунке 1, обычно называемые каналом «А» и каналом «В».

Это устройство в процессе своей работы использует два фотодетектора, которые имеют смещение в 90° относительно друг друга. Тем самым, на выходе, образуется два отдельных синусоидальных и косинусных сигнала выхода.

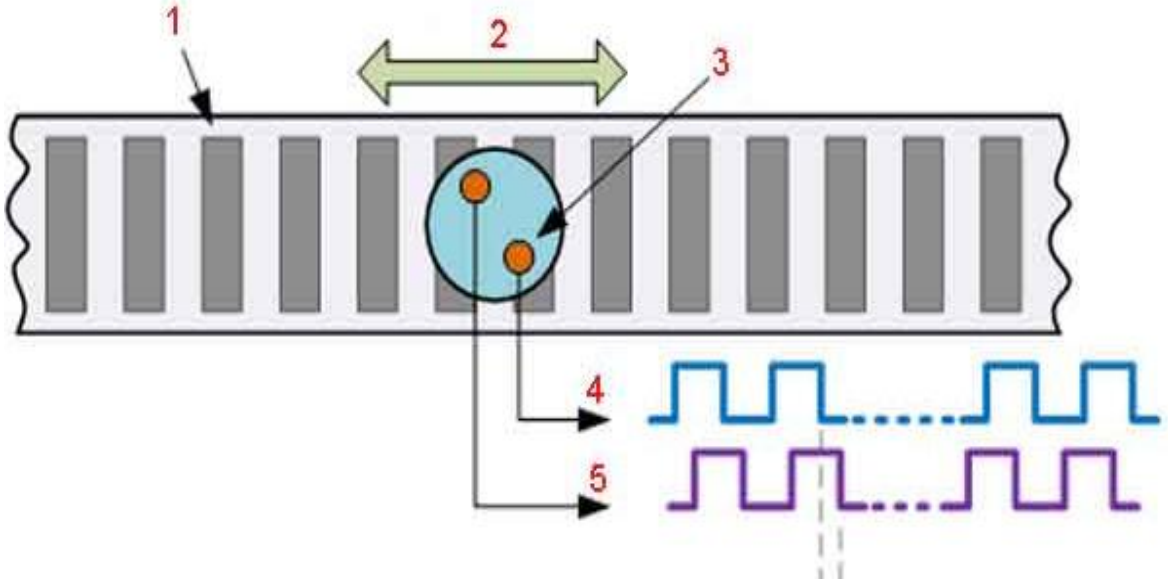


Рисунок 1 — Кодер «квадратурный»: 1 – кодированные светлые и тёмные сектора диска; 2 – вращение диска; 3 – фото детектор перемещаемый на 90º; 4 – канал «А»; 5 – канал «В».

Вычисления угла поворота осуществляется с помощью соответствующих математических функций. В большинстве случаев, оптический диск, используемый во вращающихся координатах положения, является круговым. В таком случае дискретность выходного сигнала рассчитывается, как размер окружности в градусах (360 градусов) разделенная на число сегментов на кодированном диске.

Помимо выше перечисленных недостатков инкрементальных датчиков положения, подобный вид приборов нуждается в наличии внешних счетчиков, необходимых для определения абсолютного угла вала в пределах заданного вращения.

Кодеры абсолютного положения являются более сложными устройствами относительно квадратурных энкодеров.

Они обеспечивают уникальный выходной код для каждого отдельного положения вращения, указывая как положение, так и направление.

В реализации, представленной на рисунке 2, кодированный диск состоит из нескольких концентрических «дорожек» со светлыми и темными сегментами. Каждый трек, независим от своего собственного фотодетектора, одновременно считывает уникальное кодированное положение для каждого угла движения.

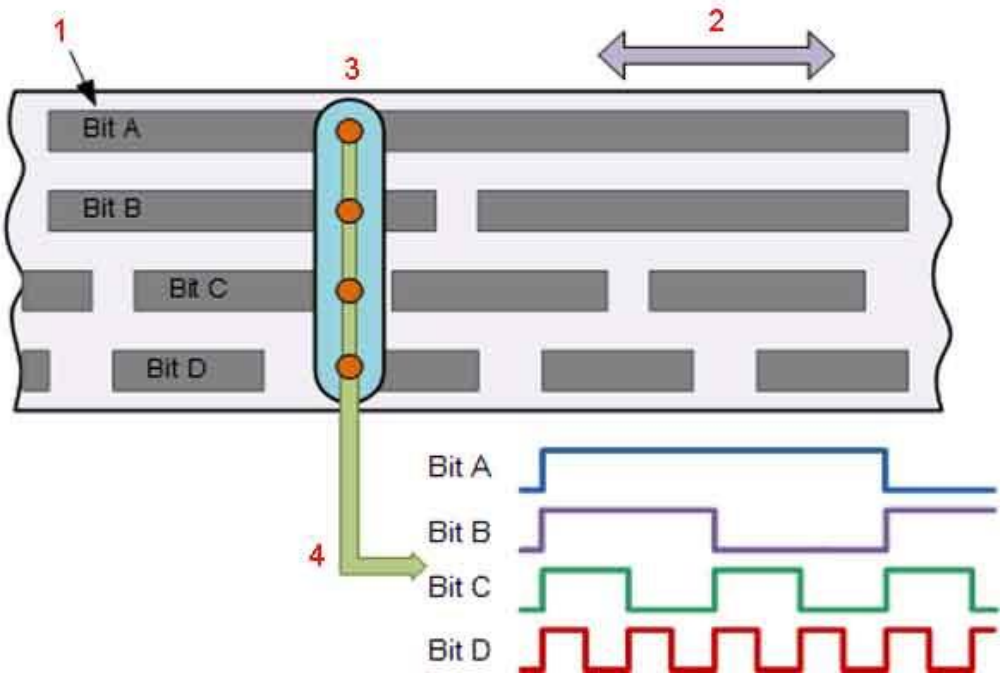


Рисунок 2 — Кодер абсолютного положения: 1 – кодированные сектора диска; 2 – вращение диска; 3 – четыре фото детектора, по одному на сектор; 4 – четырёхбитный кодированный выходной сигнал

Количество дорожек на диске определяет разрядность кодера в битах, соответствуя дискретному положению кодировщика. Таким образом, закодированное значение является уникальным в рамках одного оборота диска.

Литература

1. Обзор датчиков положения [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://studfiles.net/preview/635678/

В.А. Иванов, маг.; Ю.А. Демьянова, маг.; рук. Н.Н. Строев, к.т.н., доцент
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДУСИЛИТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ АНАЛИЗА ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ

Одним из важнейших источников информации является звук. В частности, звуковые сигналы могут использоваться в различных системах управления, или для обнаружения объекта в пространстве. Для того чтобы использовать звук в различных электронных системах, необходимо преобразовать акустические колебания в электрический сигнал и в некоторых случаях его преобразование в цифровой сигнал.

Для получения электрического сигнала используется микрофон. Основными параметрами микрофона являются чувствительность, частотная характеристика, направленность и уровень собственных шумов. Параметром, характеризующим уровень выходного напряжения микрофона, является чувствительность. Как правило чувствительность микрофона составляет единицы-десятки мВ/Па. В результате даже для достаточно громких сигналов уровень выходного напряжения редко превышает десятые доли вольта. Слабый уровень сигнала может привести к ошибкам при записи сигнала.

Для того, чтобы записываемый сигнал был лучше воспринят системой обработки сигнала, выходной сигнал микрофона пропускается через предварительный усилитель. Данный усилитель должен обладать следующими особенностями:

- для сохранения исходных свойств сигнала, поступающего с микрофона, необходимо иметь линейную передаточную характеристику усилителя и не допускать ограничения амплитудных значений;
- усилитель должен вносить в усиливаемый сигнал минимальное количество искажений. При наличии искажений в результирующем сигнале появляются новые составляющие, отсутствующие в исходном сигнале. Искажения могут возникнуть из-за непостоянного коэффициента передачи усилителя в рабочей полосе частот, изменения фазы разности фаз между составляющими входного сигнала, отличием времени прохождения составляющих сигнала с разной частотой через усилитель, превышения скорости нарастания сигнала максимально допустимой на выходе усилителя и др.;
- предварительный усилитель должен вносить в усиливаемый сигнал минимальное количество шума. Шум элементов схемы, входящих в усилитель, накладывает ограничение на минимальный обрабатываемого сигнала;
- ширина полосы пропускания усилителя должна соответствовать диапазону частот входного сигнала, который необходимо усилить.

В основном, предварительный усилитель может быть реализован на различных типах электронных приборах:

- на электровакуумных лампах;

- на биполярных и полевых транзисторах;
- на интегральных микросхемах.

При всех известных преимуществах ламповых усилителей, в настоящее время их использование в указанной сфере не целесообразно. Так же не целесообразно построение схем предварительного усиления на дискретных полупроводниковых элементах, так как они имеют большую склонность к самовозбуждению и увеличению уровня помех, чем специализированные интегральные микросхемы.

В справочниках ведущих производителей аналоговых микросхем, таких как Analog Devices, Texas Instruments, Maxim Integrated, STMicroelectronics и др., имеется несколько вариантов решения задачи предварительного усиления сигналов с микрофона.

В соответствии с поставленной задачей требуется разработать предварительный усилитель сигнала микрофона с целью последующей оцифровки принятого сигнала при помощи АЦП. В ходе разработки было решено, что для обеспечения заданного коэффициента усиления предусилитель должен состоять из двух каскадов. Кроме того, для предотвращения ограничения амплитуды выходного сигнала, один из каскадов усиления должен иметь регулируемый коэффициент усиления.

Для создания первого каскада усиления с коэффициентом усиления 10 выбрана микросхема операционного усилителя OPA1671 от Texas Instruments. Одним из основных применений данной микросхемы является создание микрофонного усилителя на её основе. Типовая схема подключения микросхемы OPA1671 показана на рис. 1.

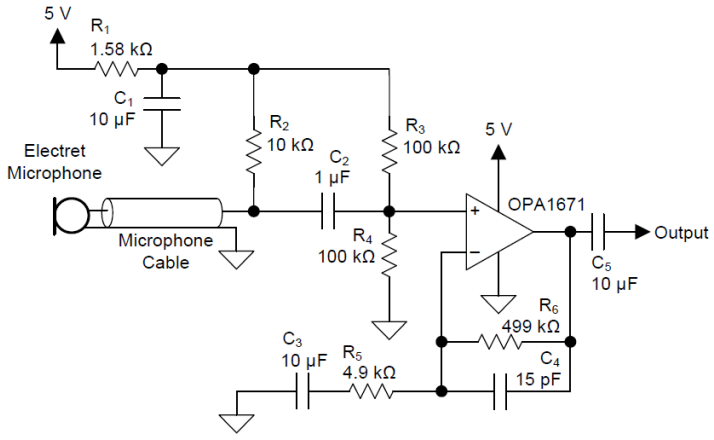


Рисунок 1 – Типовая схема подключения OPA1671

В соответствии с документацией от производителя, данная микросхема имеет низкий уровень вносимых искажений: коэффициент нелинейных искажений составляет 0,00035 %, а интермодуляционные искажения не превышают 0,00158 % (проверка осуществлялась для частот 60 Гц и 7 кГц). Частота единичного усиления равна 13 МГц, а коэффициент усиления ОУ по напряжению без обратной связи составляет 113 дБ, что позволяет обеспечить выбранный постоянный коэффициент усиления заданном диапазоне частот входного сигнала (20Гц – 20 кГц). Так как выходной сигнал микрофона имеют уровень еди-

ницы-десятки мВ, то при выбранном коэффициента усиления не будет происходить ограничения сигнала по амплитуде. Эффективное напряжение шума в полосе 1 Гц на частоте 10 Гц не превышает 45 нВ, что значительно меньше, чем уровень входного сигнала.

Для реализации второго усилительного каскада с автоматической регулировкой усиления используется микросхему SSM2167 от Analog Devices. Передаточная характеристика данной микросхемы имеет сложную форму (рис.2).

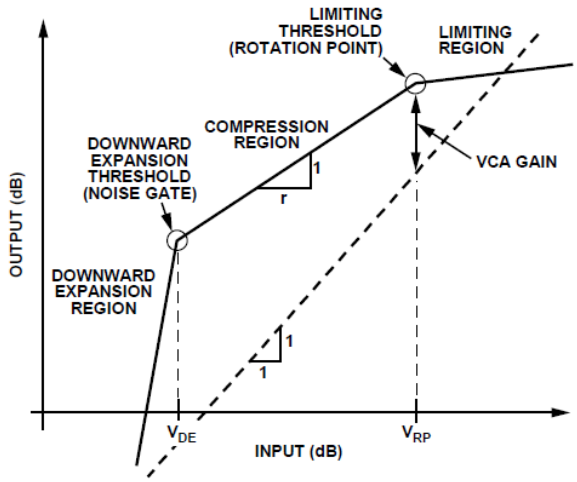


Рисунок 2 – Передаточная характеристика микросхемы SSM2167

Пунктирной линией обозначен единичный коэффициент усиления. В диапазоне между точками V_{DE} и V_{RP} осуществляется компрессия (сжатие) сигнала в соотношении r:1, где значение r задаётся внешним резистором. Ниже точки V_{DE} (шумовой затвор) происходит расширение сигнала вниз: при изменении входного сигнала на -1 дБ происходит изменение выходного сигнала на -3 дБ, в результате происходит ослабление сигналов с малой амплитудой. Выше точки V_{RP} (точка поворота) происходит ослабление выходного сигнала, что позволяет избежать ограничения амплитуды выходного сигнала по уровню питающего напряжения. Положение точки V_{DE} задаётся внешним резистором, положение точки V_{RP} фиксированное, а коэффициент усиления в этой точки составляет 18 дБ. Максимально возможный коэффициент усиления, который может обеспечить данная микросхема составляет 40 дБ.

Типовое значение ошибки, вносимой в выходной сигнал гармоническими искажениями и шумом, составляет 0,2 %. Типовой уровень шума микросхемы составляет -70 дБ (0,3 мВ), что не велико в сравнении с входным сигналом, который, с учётом усиления первого каскада, составляет десятки-сотни мВ. Кроме того, уровень собственных шумов микросхемы находится ниже точки шумового затвора, что уменьшает его влияние на выходной сигнал.

В настоящее время разработана схема устройства для обработки сигнала с микрофона, частью которой является предусилитель, спроектированный на основе рассмотренных микросхем. В дальнейшем будет произведена разработка топологии платы устройства.

Литература

1. OPA1671 Datasheet [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/opa1671.pdf - (Дата обращения: 01.03.2019).
2. SSM2167 Datasheet [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/SSM2167.pdf - (Дата обращения: 01.03.2019).
3. Шкритек П. Справочное руководство по звуковой схемотехнике: Пер. с нем. – М.: Мир,1991. – 446 с.: ил.

И.А. Иванова, студ.; В.А. Клауга, студ.; рук. М.А. Амелина, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПУЛЬСОКСИМЕТРА MAX30102 ДЛЯ КАРДИО-МОНИТОРИНГА

Известно, что реанимация пациента – это крайне четкая и слаженная работа, в которой важна каждая секунда. Существует несколько факторов, от которых зависит время спасения жизни людей в экстренной ситуации:

- профессионализм сотрудников скорой помощи;
- время подключения медицинских приборов к пациентам.

Основным прибором, используемым для отслеживания жизненных показателей пациентов, входящим в состав оснащения автомобилей скорой медицинской помощи, является кардиограф.

Недостатками такого способа наблюдения за жизненными показателями пациента являются время подключения устройства (необходимость подключения большого числа контактов) к человеку и низкая помехозащищенность [1].

Решением данных недостатков может стать использование датчика пульсоксиметра (надеваемого, например, на палец или запястье пациента). Такое устройство способно в режиме реального времени выводить на дисплей следующие показатели: частоту сердечных сокращений и процент сатурации [2]. Частота сердечных сокращений является показателем нормального ритма сердцебиения. Процент сатурации – показатель, отражающий процент насыщения гемоглобина кислородом.

В основе метода пульсоксиметрии лежит измерение степени поглощения гемоглобином крови лучей красного и ИК - света. Источник света излучает волны в красном (660 *нм*) и инфракрасном (940 *нм*) спектрах, а кровь поглощает их в зависимости от числа молекул гемоглобина, связанных с кислородом. Оксигенированный гемоглобин улавливает инфракрасный свет, а неоксигенированный – красный. В свою очередь, непоглощенный свет регистрируется детектором. При помощи датчиков красного и инфракрасного света, используемых совместно с системой обработки данных (фотодетекторы и АЦП), можно получить информацию о содержании кислорода в крови.

Методика пульсоксиметрии характеризуется высокой точностью определения процента сатурации кислорода (до единиц процентов) и высокого быстродействия (оценка производится в процессе нескольких сердечных сокраще-

ний). Помимо этого, пульсоксиметрия отличается доступностью и простотой использования.

В качестве датчика пульсоксиметра может быть использована интегральная микросхема *MAX30102*, которая представляет собой интегральный сенсорный модуль, который используется для упрощения разработки портативных медицинских приборов контроля сердечного ритма и насыщенности крови кислородом. В состав этой микросхемы интегрированы светодиоды (красный и инфракрасный) и фотоприемник, а также встроены оптические элементы.

Электронная схема обработки сигналов в составе *MAX30102* отличается низким уровнем собственного шума и обеспечивает подавление внешней засветки. В процессе измерений используется канал красного и инфракрасного света, причем интенсивность свечения и длительность сеансов измерения регулируются программным образом.

MAX30102 (рисунок 1) работает от источника питания напряжением 1,8 *В*. Также для питания встроенных излучателей (светодиодов) необходим отдельный источник питания 5,0 *В*.

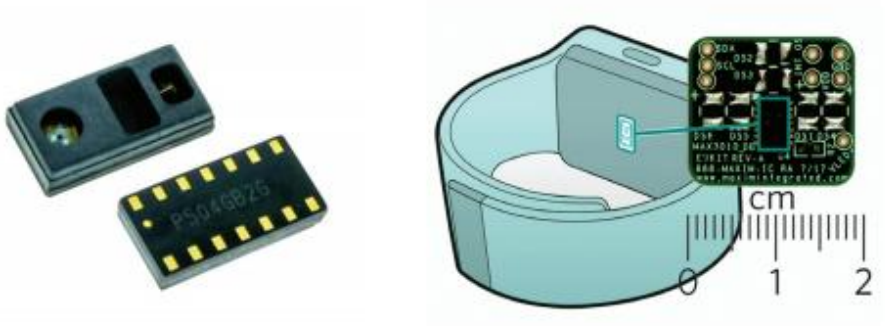


Рисунок 1 — Модуль микросхемы *MAX30102*

Взаимодействие с внешними устройствами осуществляется через стандартный последовательный интерфейс *I2C*. Модуль *MAX30102* может быть программно переведен в режим ожидания с довольно низким (0,7 *мкА*) током потребления, что позволяет отказаться от выключателя питания. На рисунке 2 представлена структурная схема *MAX30102* и возможности его взаимодействия с внешней средой (КВЗ – компенсация сигнала внешней засветки; ЦШП — цифровой шумоподавитель).

В корпусе *MAX30102* реализована полнофункциональная схема сенсорного модуля для создания портативных систем пульсоксиметрии с высокими требованиями к точности измерений.

Устройство имеет миниатюрные размеры, добиться которых удалось без ущерба для оптических или электрических характеристик. Для интеграции в полнофункциональную носимую измерительную систему потребуется минимум дополнительных внешних компонентов.

Управление работой *MAX30102* осуществляется через внутренние программные регистры. Цифровые выходные данные могут быть сохранены в 32-битном буфере *FIFO*, который позволяет через шину I^2C передавать цифровой поток в последовательном коде на внешний контроллер.

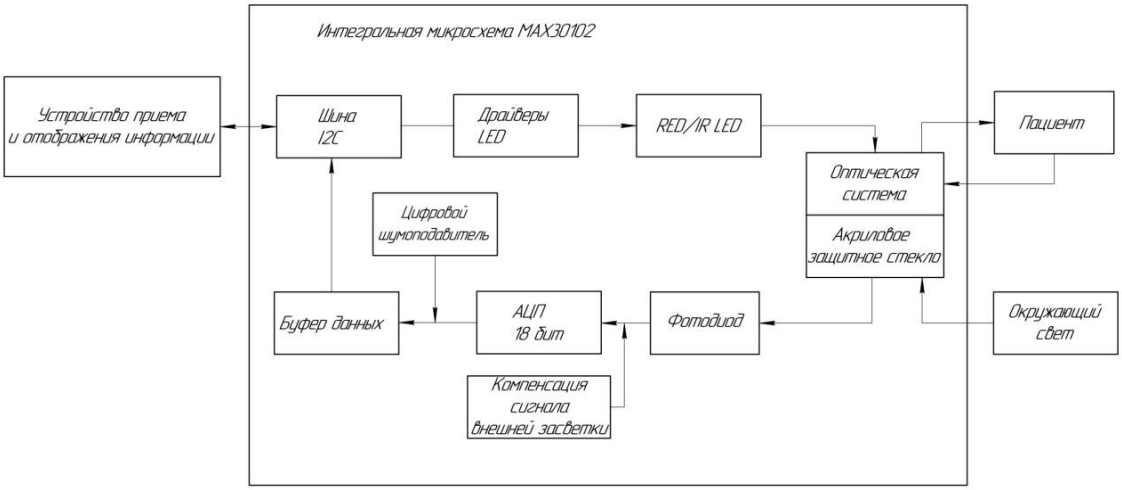


Рисунок 2 — Структурная схема *MAX30102* и возможности его взаимодействия с внешней средой

Из всего вышесказанного можно выделить следующие особенности рассматриваемого датчика:

– монитор сердечных сокращений и оксиметрический биосенсор с работающими на отражение встроенными светодиодами;
– миниатюрный модуль (5,6x1,3x1,55 мм) с 14 выводами;
– интегрированная оптическая система, обеспечивающая надежный процесс измерения;
– сверхнизкое энергопотребление (1 *мВт*);
– сверхмалый ток потребления в выключенном состоянии (около 0,7 *мкА*);
– программируемые периодичность снятия измерений и режим энергосбережения светодиодов;
– высокая скорость обработки данных;
– устойчивость к вибрациям при снятии показаний (диапазон рабочих температур -40..85 *°C)*.

Пульсоксиметры на основе *MAX30102* обеспечивают высокую точность определения процента сатурации крови и частоты сердечных сокращений. При этом они отличаются высоким быстродействием, доступностью и простотой использования.[3]

Таким образом, использование интегральной микросхемы *MAX30102* позволит разработать мобильный кардиомонитор с улучшенными характеристиками точности и доступным ценовым диапазоном отечественного производителя для непосредственной эксплуатации работниками бригад скорой помощи. При этом полученное устройство будет отличаться высокой точностью измерений, доступностью и простотой использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. PulseLite.Зачем нужен фотоплетизмограф, и что такое контурный анализ пульсовой волны? // VDD-PRO.RU. Сайт «Моя автоматика». URL:https://vdd-pro.ru/ru/2018/05/pulse-wave-analysis/

2. О сердце. Пульсометры на палец: выбираем наиболее удобный // OSERDCE.COM. Сайт о здоровье сердца и сосудов «О сердце». URL:http://oserdce.com/diagnostika/puls/pulsometry-na-palec.html

3. DATASHEET MAX30102 High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health URL: https://www.compel.ru/lib/ne/2016/7/7-pulsoksimetriya-ot-maxim-novyiy-datchik-max30102

И.А. Иванова, студ.; В.А. Клауга, студ.; рук. М.А. Амелина, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ ПРИ ПОМОЩИ АНАЛОГОВОГО ДАТЧИКА ПУЛЬСА PULSESENSOR

Одним из востребованных направлений электроники является медицинская электроника. Данный класс электроники реализует диагностические и лечебные аппараты, решающие какие-либо медико-биологические задачи. Также для медицинской электроники требуется большая точность и стабильность, так как от этой техники нередко зависит жизнь человека.

Наиболее распространенным методом получения пульсовой волны является фотоплетизмография. Он основан на регистрации изменения объёмов кровенаполнения органов. Сужение и расширение сосуда под действием артериальной пульсации кровотока вызывают соответствующее изменение амплитуды сигнала, получаемого с выхода фотоприемника. Результатом данного процесса является пульсовая волна. Форма пульсовой волны определяется состоянием крупных и мелких сосудов, поэтому её параметры дают возможность исследовать и объективно оценивать состояние сосудистой системы.

Пульсовая волна представляет собой кривую кровенаполнения, изображенную на рисунке 1:

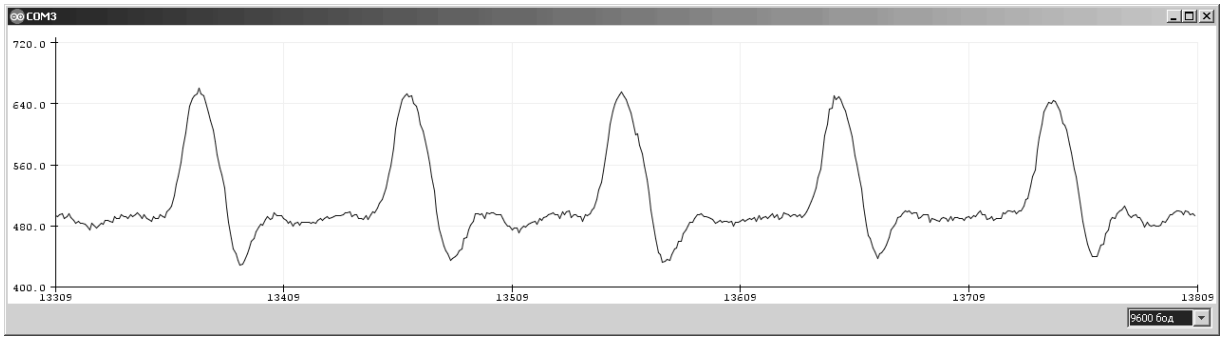


Рисунок 1 — Пульсовая волна

Для получения пульсовой волны необходимо устройство, содержащее источник света – обычно это светодиод (длина волны излучения - 525 нм, зеленый свет); и приемник – фототранзистор или фотодиод. По взаиморасположению источника света и приемника существует два способа регистрации пульсовой волны: «на отражение» и «на просвет». Первый заключается в том, что источник и приемник располагаются в одной плоскости. Свет от источника падает на кожу, частично поглощается и, отразившись, попадает на приемник. В случае «на просвет» источник света и приемник находятся по разные стороны от части тела (например, пальца или мочки уха). Фотоприемник регистрирует изменение интенсивности света, прошедшего через палец. Фоторезистор меняет сопротивление в зависимости от количества поглощённого света. Чем больше кровя-

ной поток, тем меньше света поглощается в тканях организма, следовательно, больше света приходит на фоторезистор.

Далее сигнал с фотоприемника поступает на схему усиления и фильтрации (связано это с тем, что величина импульсов, появившихся на выходе фотодиода слишком мала для непосредственной подачи их на микроконтроллер с целью обработки). После усиления сигнал поступает на еще один каскад, чтобы убрать напряжение сдвига. Затем происходит оцифровка данных с помощью АЦП.

В данной статье в качестве устройства, с помощью которого осуществляется регистрация пульсовой волны, рассматривается аналоговый датчик пульса *PulseSensor*. Внешний вид датчика показан на рисунке *2*.

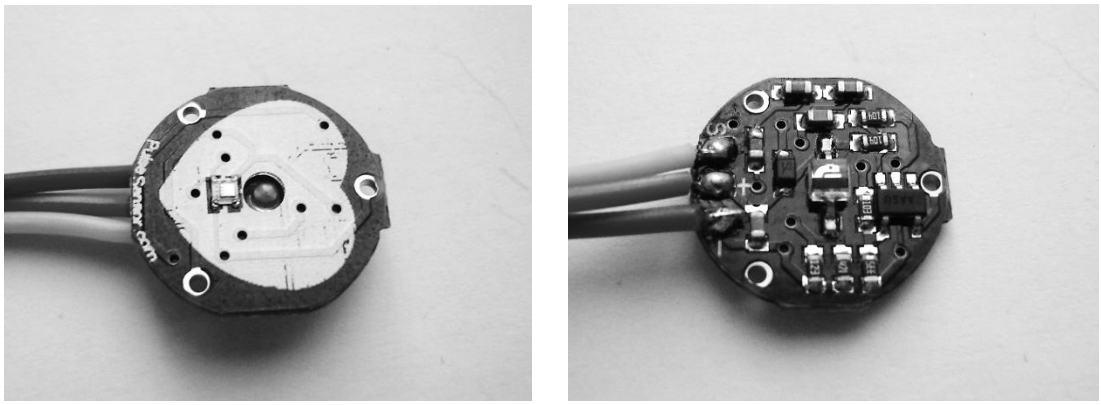


Рисунок 2 — Внешний вид датчика PulseSensor

Схема датчика *PulseSensor* показана на рисунке 3.

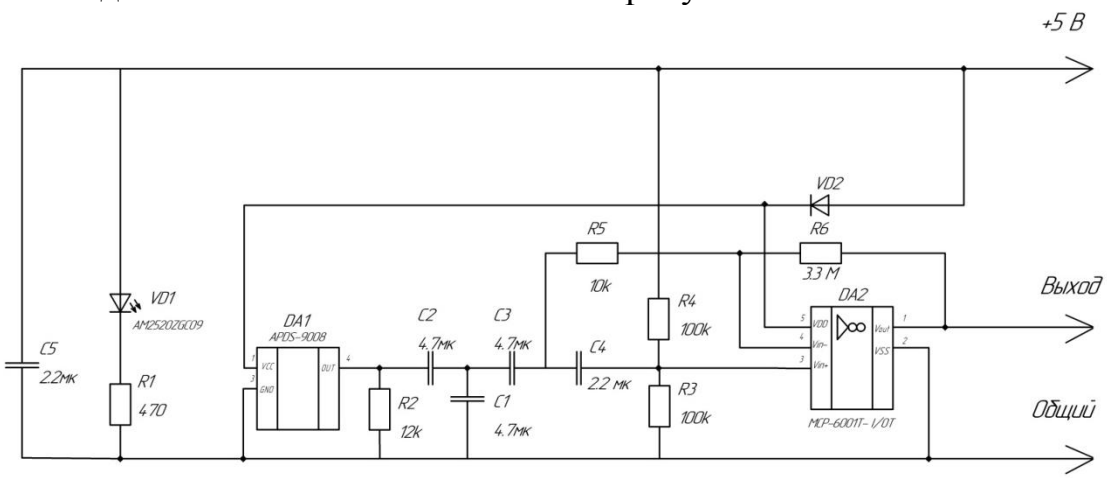


Рисунок 3 — Схемное представление датчика *PulseSensor*

Технические характеристики датчика пульса:

- Напряжение питания от 3 до 5 *В;*
- Ток потребления при напряжении питания примерно 2 *мА;*
- Диаметр модуля 16 *мм;*
- Тип выходного сигнала – аналоговый;
- Способ детектирования сердечных сокращений – по отраженному сигналу.

Схема включает в себя следующие основные элементы:

AM2520ZGC09 – светодиод зеленого свечения с длиной волны излучения 515 *нм;*

APDS-9008 – датчик окружающего света (*ALPS*) с аналоговым выходом в миниатюрном корпусе для поверхностного монтажа *ChipLED*. Датчик содержит спектральный фото сенсор, отличающийся превосходной чувствительностью, близкой к чувствительности человеческого глаза.

MCP6001T-I/OT – операционный усилитель, работающий на частоте 1 *МГц*, с напряжением питания 1.8 – 6 *В*, в корпусе *SOT*23-5.

Для того чтобы отфильтровать выходной сигнал с приемника излучения на выходе имеется пассивный фильтр нижних частот. Далее выходной сигнал усиливается при помощи операционного усилителя для подачи его на АЦП.

Электрическая схема датчика устроена так, чтобы регистрировать только динамическое изменение интенсивности принимаемого светового потока. При неизменном световом потоке (независимо от его интенсивности), напряжение на выходе датчика находится в районе половины напряжения питания. При изменении интенсивности светового потока, напряжение на выходе датчика отклоняется от среднего значения, в сторону уменьшения или увеличения, пропорционально изменению светового потока. Таким образом, датчик не нуждается в подстройке под каждого человека.

Подключив питание к этому датчику, с выходного контакта при помощи осциллографа можно получить пульсовую волну и по временному промежутку между пиками определить частоту пульса (рисунок 4).

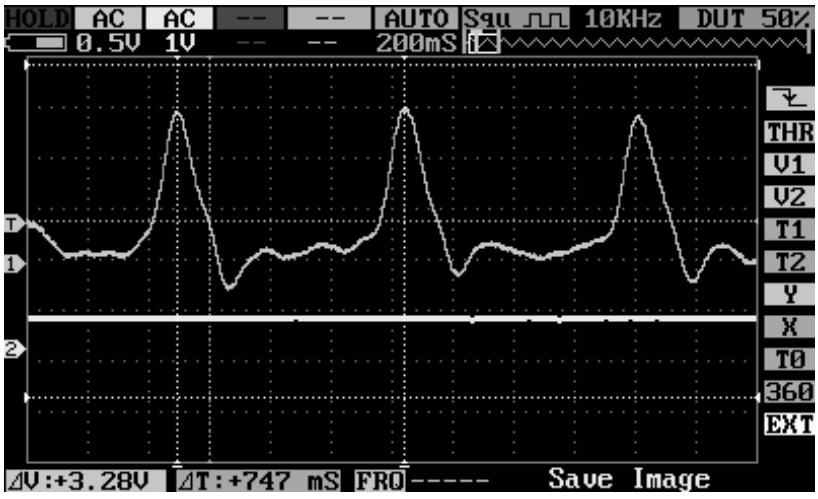


Рисунок 4 — Пульсовая волна, полученная при помощи датчика пульса *PulseSensor*

Форма пульсовой волны определяется состоянием крупных (преимущественно) и мелких сосудов, поэтому её параметры дают возможность исследовать и объективно оценивать состояние сосудистой системы человека, прекрасно дополняя данные электрокардиографии (как основного источника информации о состоянии сердца).

Таким образом, на основе датчика *PulseSensor* может быть собран простейший кардиомонитор, который позволит в режиме реального времени выводить на дисплей пульсовую волну и частоту сердечных сокращений. Такое портативное и недорогое устройство может быть использовано, например, бригадами скорой помощи, как способ наблюдения за основными жизненными показателями человека.

Литература

1. Монк, Саймон Электроника. Теория и практика — 4-е изд.: Пер. с англ. / Саймон Монк, Пауль Шерц. – СПб.: БХВ-Петербург, 2018. – 1168 с.: ил.
2. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. 12 е изд. В 2-х томах: Пер. с нем. - М.: ДМК Пресс, 2008.
3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ. – Изд 2-е. – М.: Издательство БИНОМ. – 2015. – 704 с., ил.
4. Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005, 2007. — 528 с.

Д.О. Калинушкин, студент; С.А. Амелин, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОЦЕНКА МЕТОДИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАЗИТНЫХ ЕМКОСТЕЙ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ

Рассмотрены методы измерения межэлектродных паразитных емкостей МОП-транзисторов, проанализированы их преимущества и недостатки. Проведено моделирование процесса измерения межэлектродных паразитных емкостей по методике, предложенной фирмой International Rectifier. Сформированы рекомендации по использованию рассмотренных методов при создании стенда для измерения параметров МОП-транзисторов.

Ключевые слова: МОП-транзистор, MOSFET, Spice модель, Micro-Cap, межэлектродные емкости, interelectrode capacitance.

У любого транзистора множество различных паразитных параметров, например, паразитные емкости: $C_{зи}$, $C_{си}$ и $C_{зс}$. $C_{зи}$ – входная ёмкость между затвором и закороченными по переменному току стоком и истоком; $C_{си}$ – выходная ёмкость между стоком и закороченными по переменному току затвором и истоком; $C_{зс}$ – походная ёмкость между затвором и стоком при закороченных по переменному току затвору и истоку.

На сегодняшний день существуют два нормативных документа, в которых описываются методы измерения межэлектродных паразитных емкостей. Первый, это «ГОСТ 20398.5-74 Транзисторы полевые. Метод измерения входной, проходной и выходной емкостей» [2]. Второй это метод, предложенный известным производителем МОП-транзисторов и других силовых полупроводниковых приборов фирмой International Rectifier [1].

Методика ГОСТ предполагает измерения напряжений вручную, т.е. транзистор включается в схему и устанавливают режим по постоянному току. После этого меняя положение переключателя измеряют значение напряжений U_1 и U_2.

Далее с помощью формул вычисляются значения входной, выходной и проходной емкостей (рис. 1).

Метод имеет ряд недостатков, так как был разработан в 70-х годах прошлого столетия и не учитывает ни особенности параметров современных МОП-транзисторов, ни возможностей современных измерительных приборов. После моделирования были получены неадекватные результаты измерений. Был сделан вывод о том, что это связано с тем, что схема не предназначена для мощных транзисторов, а более подходит для маломощных.

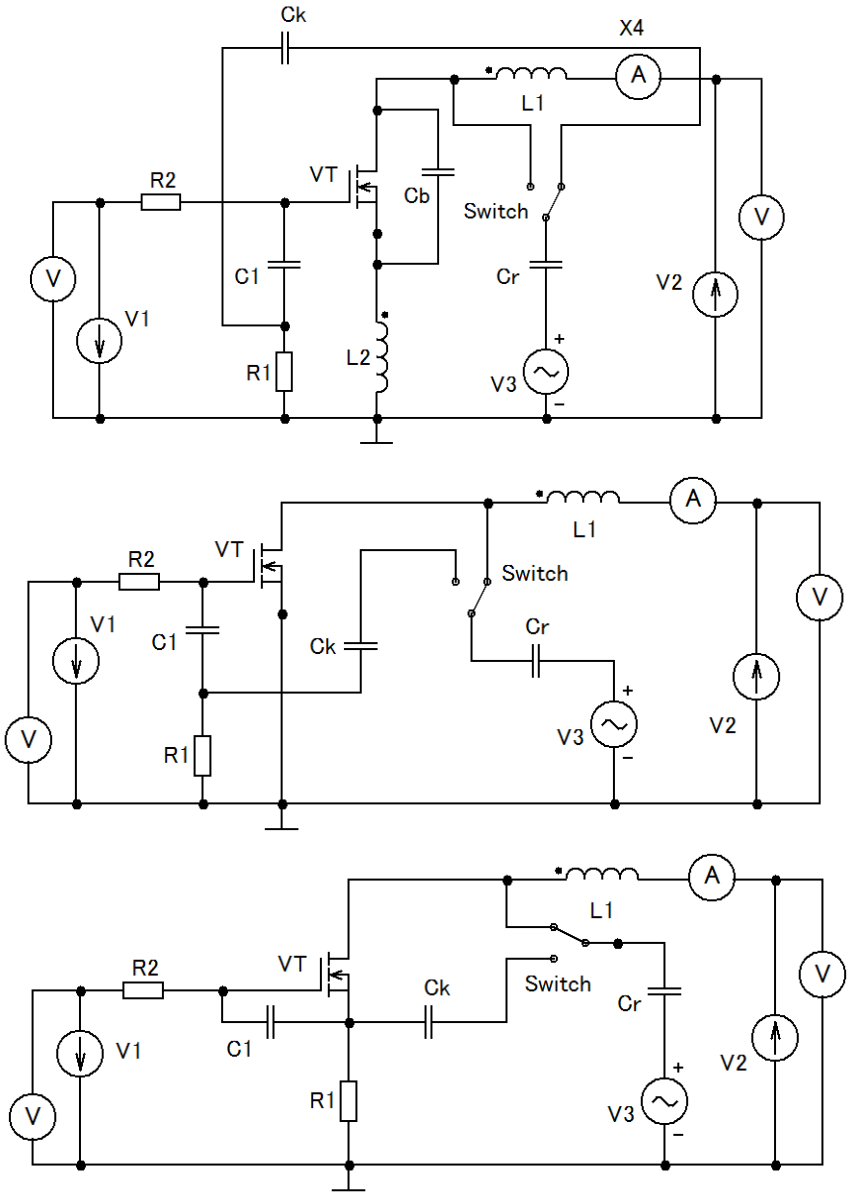


Рисунок 1 – Схемы измерения входной, выходной и проходной емкостей методикой ГОСТ

Методика, предложенная компанией International Rectifier, сводит трудоемкость измерений к минимуму. Для всех измерений используется емкостный мост на 1 МГц. Измеряемая емкость последовательно подключается к емкости известной величины для разделения по постоянному току, после чего происходит балансировка моста. При проведении исследований вместо полевого

транзистора использовался его эквивалент с заранее известными значениями паразитных емкостей. Это позволило оценить точность методики путем сравнения этих известных значений с результатами измерений. Для проверки методики было проведено моделирование указанных ниже схем при помощи программы схемотехнического анализа Micro-Cap [3].

Входная емкость определяется, как сумма емкости затвор-исток C_{GS} и емкости затвор-сток C_{GD} (рис.2).

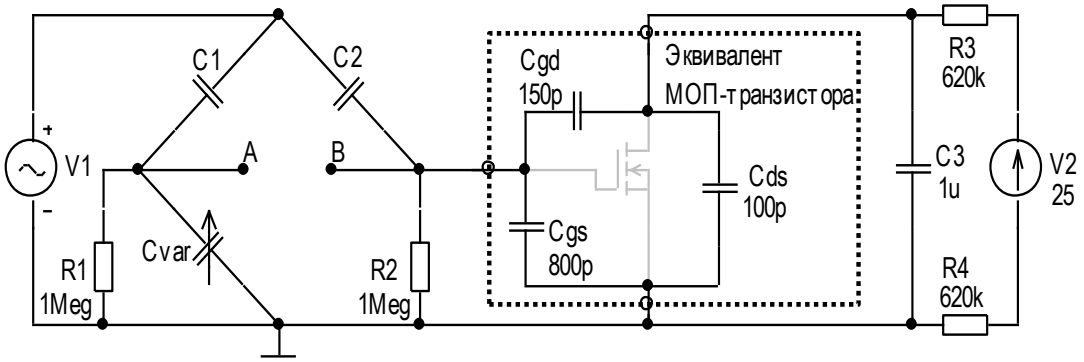


Рисунок 2 – Схема измерения входной емкости C_{iss}

На рис. 3 представлен график зависимость амплитуды синусоидального напряжения между узлами A и B от изменяемой емкости. Она становится минимальной, когда измерительной мост сбалансирован, т.е. варьируемая емкость моста C_{var} равна измеряемой.

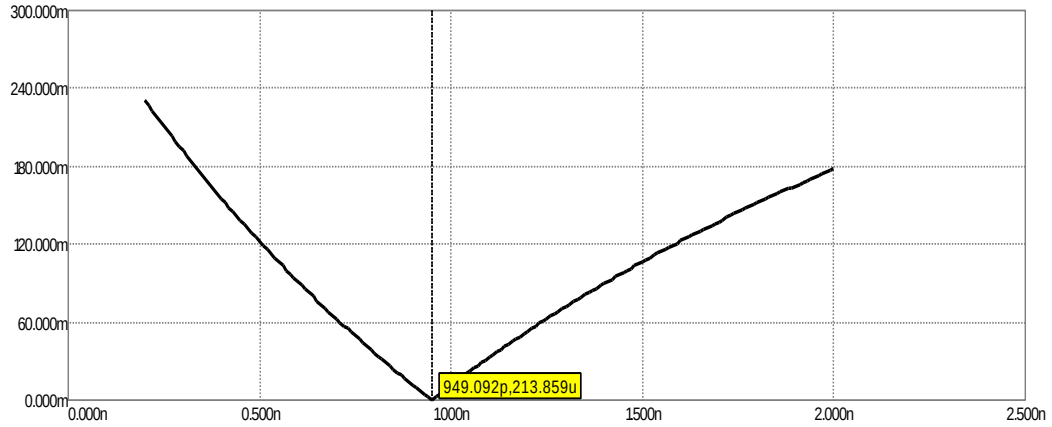


Рисунок 3 – График зависимость амплитуды синусоидального напряжения от изменяемой емкости для измерения входной емкости

Как видно из графика, методика измерения дает результаты, совпадающие с заранее известными значениями емкостей эквивалента транзистора (C_{gs}+C_{gd}=800+150=950пФ), с минимальной погрешностью 0,08%. Аналогичным образом были исследованы схемы для измерения выходной и проходной емкостей.

На рис. 4 представлена схема измерения выходной емкости C_{oss}, которая представляет собой сумму емкостей затвор-сток C_{GD} и затвор-исток C_{DS}.

На рис.5 представлен график зависимости амплитуды синусоидального напряжения от изменяемой емкости.

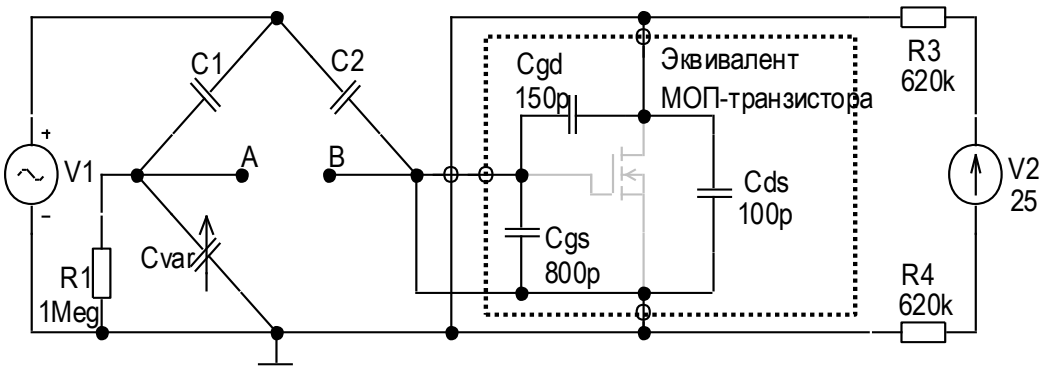


Рисунок 4 – Схема измерения выходной емкости C_{oss}

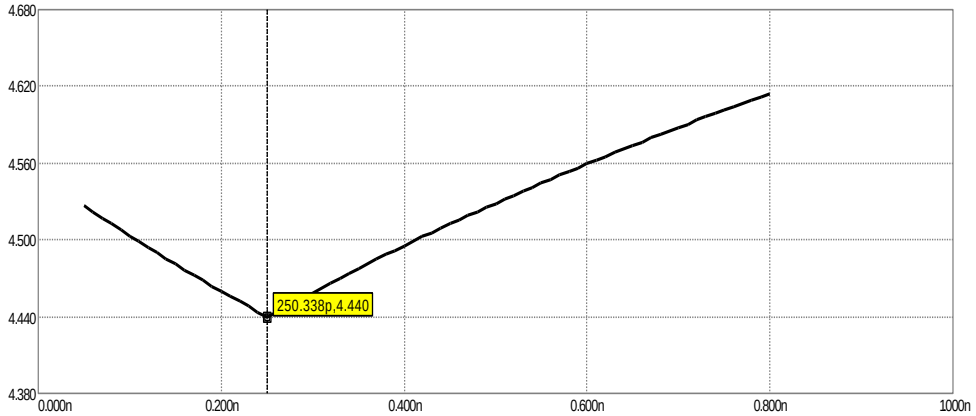


Рисунок 5 – График зависимость амплитуды синусоидального напряжения от изменяемой емкости для измерения выходной емкости

Как видно из графика, методика измерения дает результаты, совпадающие с заранее известными значениями емкостей эквивалента транзистора ($C_{gs}+C_{ds}$=150+100=250пФ), с минимальной погрешностью 0,08%.

На рис. 6 представлена схема измерения проходной емкости C_{rss}, которая равняется емкости затвор-сток C_{gd}.

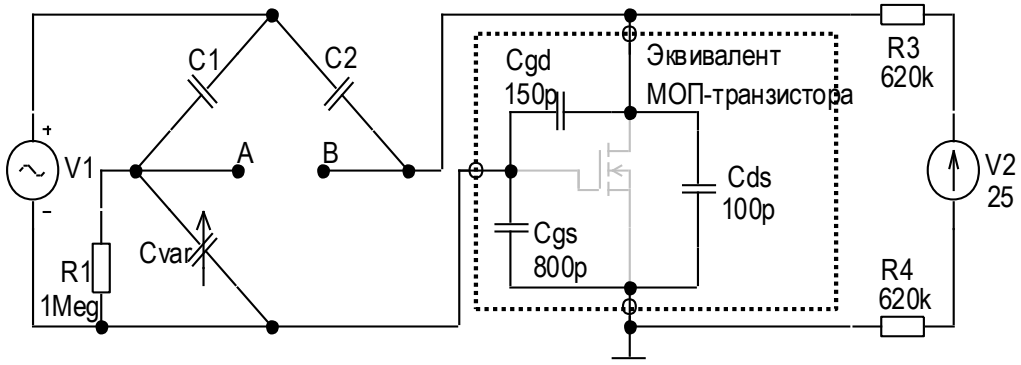


Рисунок 6 – Схема измерения проходной емкости C_{rss}

На рис. 7 представлен график зависимости амплитуды синусоидального напряжения от изменяемой емкости.

Результат измерения, совпадает с заранее известными значениями емкостей эквивалента транзистора (150пФ), с минимальной погрешностью 0,07%.

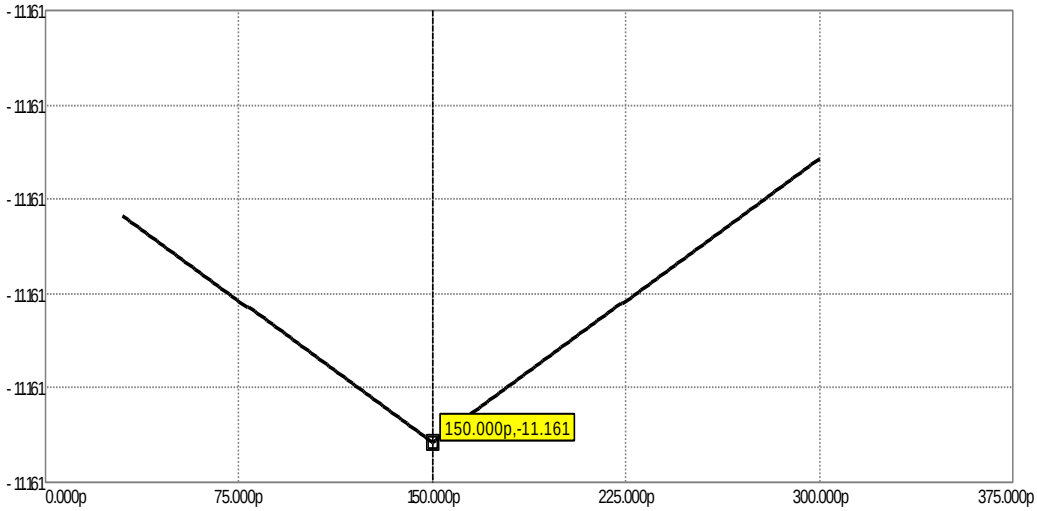


Рисунок 7 – График зависимости амплитуды синусоидального напряжения от изменяемой емкости для измерения проходной емкости

Проанализировав результаты измерений был сделан вывод, что среди существующих методик измерения межэлектродных емкостей наиболее целесообразно использовать методику, предложенную фирмой International Rectifier. Несмотря на то, что методика требует дорогостоящего измерительного моста, процесс измерения не является трудоемким и легко может быть автоматизирован. Методическая погрешность измерений для типичных паразитных емкостей МОП-транзисторов составляет 0.07-0.08%, что в рассматриваемом случае более чем достаточно. Именно эту методику можно рекомендовать к использованию при создании оборудования для измерения параметров МОП-транзисторов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 17-07-00148 А «Разработка оптимального алгоритма определения системы параметров полупроводниковых приборов на основе МОП-структур с целью формирования их математических SPICE-моделей».

Литература

6. AN-975B. Измерение характеристик МОП-транзистора // International Rectifier
7. «ГОСТ 20398.5-74 Транзисторы полевые. Метод измерения входной, проходной и выходной емкостей»
8. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10. [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Амелина М.А., Амелин С.А – Электрон. текстовые дан. – СПб. : Лань, 2014. – 632 с. Режим доступа: URL http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=53665

А.Д. Капралов, студ.; рук. М.В. Беляков, к.т.н., доц.; рук. А.А. Шумилин
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА СВЕТОДИОДНОЙ ТРУБЧАТОЙ ЛАМПЫ В ФОТОМЕТРИЧЕСКОМ ШАРЕ

При производстве трубчатых светодиодных ламп возникает необходимость измерения их параметров для контроля за последними и оперативного вмешательства в технологический процесс в случаи несоответствия проверяемых параметров установленным значениям, для чего нужно иметь соответствующую методику, разработка которой является целью настоящего исследования.

При измерениях в фотометрическом шаре параметров светодиодных ламп их значения могут изменяться ввиду воздействия различных факторов. Подобная проблема может быть устранена для габаритных ламп благодаря использованию вспомогательных ламп [1]. Но у этого метода есть недостаток: для корректного исправления систематической погрешности требуется наличие эталонной лампы, что не всегда может быть доступно. Также он не подходит для ламп небольшого размера (например, длиной 600 мм).

Другой существующей методикой является оценка влияние спектрального отклика фотометрической головки на коэффициент коррекции спектрального рассогласования светодиодного излучателя [2]. Но данный способ учитывает только влияние параметров и характеристик приёмника излучения, поэтому не является достаточным.

Разработка общей методики предполагает определение оптимального способа измерения параметров светодиодных трубчатых ламп, главным образом – светового потока. Также контролируются ток через СД, напряжение питания, цветовая температура, координаты цветности, индекс цветопередачи. Измерение всех этих параметров успешно осуществляется в фотометрическом шаре.

Измеряемая лампа типа *T*8 *LED* представляет собой стеклянную трубку длинной 600 мм и диаметром 20 мм, стенки которой покрыты специальным матированным покрытием для увеличение пространственного угла излучения. Внутри трубки находится светодиодная линейка, параметры которой приведены в таблице 1, подключённая через драйвер, позволяющий подключение к сети переменного тока 220 В, к выводам цоколя типа *G*13.

Таблица 1 – Параметры светодиодной линейки

Параметр	Значение
Количество и тип светодиодов	30 *SMD* 2835
Номинальный прямой ток линейки, мА	120
Номинальное прямое напряжение линейки, В	40-49
Рассеиваемая мощность, мВт	200
Диапазон рабочих температур, ºС	-35..+85
Обратное напряжение, В	6
Номинальный световой поток светодиода, лм	23-24
Номинальный световой поток линейки, лм	720

Коэффициент поглощения покрытия примерно равен 13% ($\tau = 0{,}13$). Следовательно, при номинальном световом потоке линейки в 720 лм результат измерения потока лампы должен составлять около 620 лм.

Светодиодная трубчатая лампа не является направленным источником излучения сама по себе и её расположение в фотометрическом шаре не должно влиять на значение результирующего светового потока, однако, светодиодная линейка, будучи приклеенной к стенке трубки излучает в одном конкретном направлении, что может сказаться на результате измерений.

Внутри шара были выделены 8 направлений: вертикально вверх (I), влево (в сторону вспомогательной лампы) (III), вертикально вниз (V), вправо (в сторону фотоприемника) (VII) и под углом ≈ 45º между каждым из указанных направ-

лений (влево-вверх (II), влево-вниз (IV), вправо-вниз(VI), вправо-вверх (VIII)). Пространственное расположение областей приведено на рисунке 1.

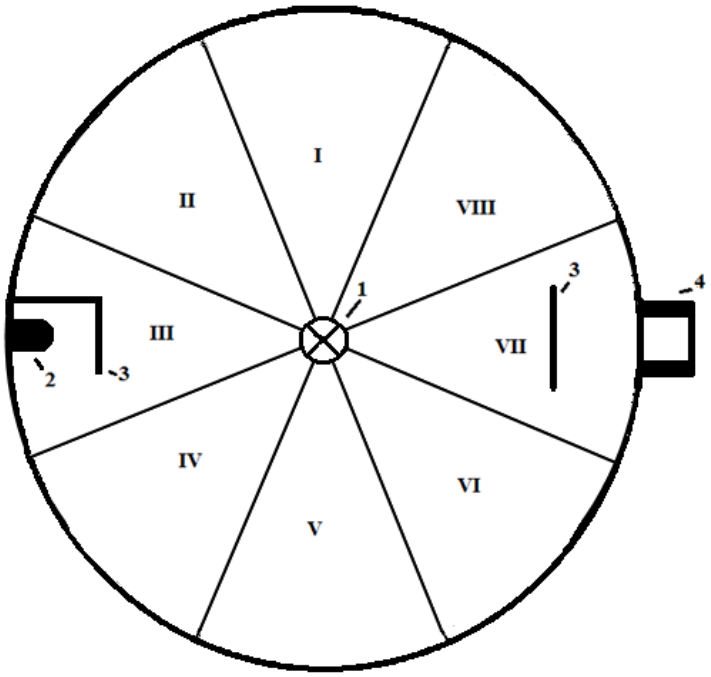


Рисунок 1 – Устройство фотометрического шара и области измерения:
1 – измеряемая лампа, 2 – вспомогательная лампа, 3 – экраны,
4 – фотоприёмник

Измерение светового потока для каждого из направлений повторялись по десять раз. Затем рассчитывалось среднее значение и среднее квадратическое отклонение светового потока лампы. Результаты измерений и расчётов светового потока свели в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты измерений светового потока светодиодной линейки

Направление	Ф, лм	σ
Вверх (↑)	612,23	1,56
Вниз (↓)	575,05	1,0
Влево - в сторону вспомогательной лампы (←)	604,29	1,28
Вправо - в сторону фотоприемника (→)	611,75	1,19
Вправо-вверх (↗)	610,92	0,88
Влево-вверх (↖)	609,38	1,14
Влево-вниз (↙)	593,35	1,77
Вправо-вниз (↘)	602,71	1,96

Как видно из таблицы 2, наибольшее значение светового потока получается при измерении в направлении вертикально вверх, хотя большинство полученных значений светового потока для разных направлений составляет порядка 600-610 лм.

Рассчитаем относительную погрешность измерения светового потока светодиодной трубчатой лампы в фотометрическом шаре по формуле:

$$\delta = \frac{\Phi_{изм} - \Phi_{ном}}{\Phi_{ном}} \cdot 100\%, \qquad (1)$$

где $\Phi_{НОМ}$ = 620 лм.

Результаты расчётов для всех направлений приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчётов относительной погрешности измерений светового потока лампы

Направление	δ, %
Вверх (↑)	-1,3
Вниз (↓)	-7,3
Влево - в сторону вспомогательной лампы (←)	-2,5
Вправо - в сторону фотоприемника (→)	-1,3
Вправо-вверх (↗)	-1,5
Влево-вверх (↖)	-1,7
Влево-вниз (↙)	-4,3
Вправо-вниз (↘)	-2,8

По результатам расчётов видно, что во всех направлениях значения светового потока ниже номинального. В условиях измерения промышленного производства относительная погрешность более ± 5% считается существенной, поэтому направление вертикально вниз для проведения измерений не подходит. Результаты измерений в других направлениях могут считаться допустимыми.

Для определения статистической погрешности построим гистограмму распределения светового потока по направлениям, с учётом утроенного значением среднеквадратического отклонения (± 3σ). Данная гистограмма представлена на рисунке 2.

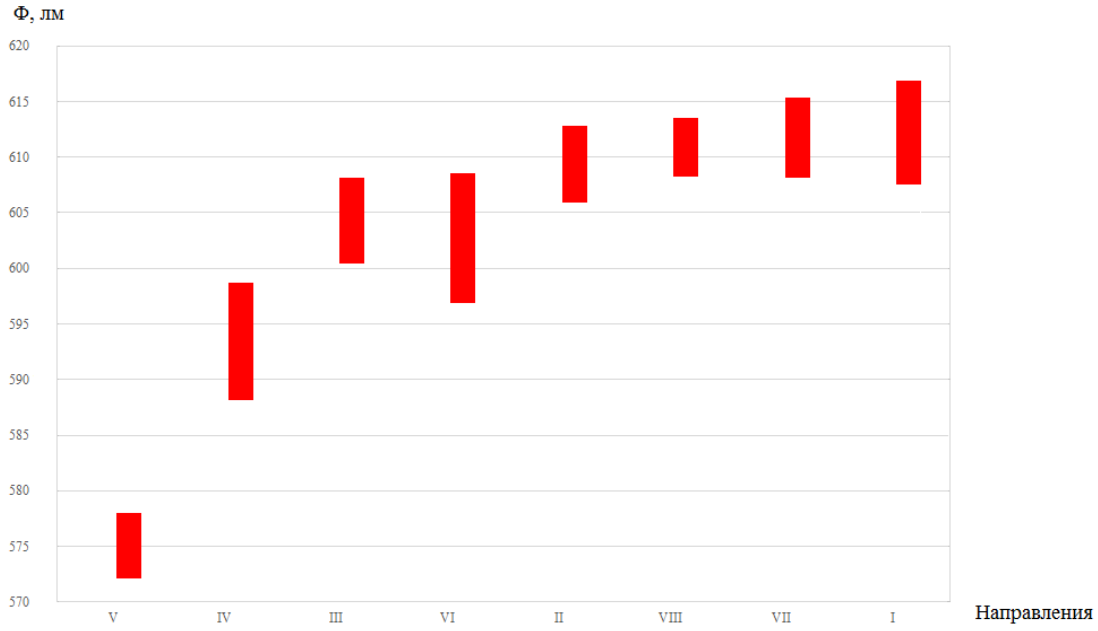


Рисунок 2 – Гистограмма распределения значений светового потока в зависимости от направления измерения

Из рис. 2 видно, что для направлений вертикально вверх (I), вправо (VII), вправо-вверх (VIII) значения светового потока максимальны и находятся примерно в одной области. В направлении влево-вверх световой поток также близок по значению и положению на гистограмме к вышеуказанным областям. Также можно отметить, что области значений светового потока для направлений вправо-вниз (VI), влево (III), влево-вниз (IV) и вертикально вниз (V) расположены на гистограмме неравномерно и удалены от значения 620 лм (особенно два последних), что свидетельствует о ненадёжности проведения измерений в данных направлениях.

В заключении можно сказать, что, как показал эксперимент, для ненаправленного источника излучения (светодиодная трубчатая лампа) направление не играет большой роли, таким образом ввиду удобства фиксации лампы по направлению излучения в области I и V, целесообразно выбрать первое, так как во втором случае относительная погрешность измерений превышает допустимое значение.

Литература

1. Seongchong Park. Correction of self-screening effect in integrating sphere-based measurement of total luminous flux of large-area surface-emitting light sources/ Seongchong Park, Seung-Nam Park, Dong-Hoon Lee// Applied Optics. — 2010. — Vol. 49, № 20. — P. 3831—3839.

2. E. Rosas. **Effect of photometric detector spectral response quality on white LED spectral mismatch correction factors/** E. Rosas, A. Estrada-Hernández// Applied Optics. — 2016. — Vol. 55, № 19. — P. 5267—5272.

А.Д. Капралов, студ.; рук. М.В. Беляков, к.т.н., доц.; рук. А.А. Шумилин
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ЗАВИСИМОСТЬ ЗНАЧЕНИЙ СВЕТОВОГО ПОТОКА ОТ НАПРАВЛЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ИСТОЧНИКА ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ В ФОТОМЕТРИЧЕСКОМ ШАРЕ

При производстве или испытании направленных источников излучения таких, например, как светодиоды, часто возникает необходимость измерения и контроля их параметров, установление соответствия проверяемых параметров указанным значениям. Для этого целесообразно использовать гониофотометр. Но в случаях, когда необходимо срочно произвести измерение, а соответствующее оборудование в данный момент недоступно, требуется применение альтернативной методики. Решением в подобной ситуации может стать фотометрическая сфера соответствующего источнику размера.

Цель данного исследования – выявление возможности использования фотометрической сферы для измерения параметров направленных источников излучения, а также зависимости светового потока источника от направления излучения.

Для реализации поставленной задачи в качестве источника была взята светодиодная линейка для трубчатых *LED* ламп с цоколем типа *G*13, параметры которой приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Номинальные параметры светодиодной линейки

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Номинальное значение
Количество и тип светодиодов	–	–	30 *SMD* 2835 60 мА
Прямой ток линейки	$I_{пр}$	мА	120
Прямое напряжение линейки	$U_{пр}$	В	40-49
Рассеиваемая мощность	$P_{расс}$	мВт	200
Диапазон рабочих температур	$T_{раб}$	ºС	-35..+85
Обратное напряжение	$U_{обр}$	В	6
Номинальный световой по-	$Ф_{СД}$	лм	23-24

ток светодиода (при $I_{пр}$ = 60 мА)			
Номинальный световой поток линейки (при $I_{пр}$ = 120 мА)	$Ф_{лин}$	лм	720

Для определения направления излучения источника при контроле параметров линейки, необходимо произвести измерения светового потока, направляя светодиоды в разные области сферы. И хотя фотометрический шар называется также интегрирующей сферой, что говорит о сущности его работы, то есть результирующий поток является суммой многократных отражений от стенок шара, светодиоды являются направленными источниками излучения и в зависимости от выбранного направления результирующее значение светового потока может варьироваться.

В данном исследовании источник устанавливался в центре сферы и в ходе эксперимента изменялось направление излучения светодиодов. Ввиду трудности установления точного угла в пространстве для фиксации линейки и проведения измерения в конкретном направлении, пространство внутри шара был поделено на 8 областей: вертикально вверх (I), влево (в сторону вспомогательной лампы) (III), вертикально вниз (V), вправо (в сторону фотоприемника) (VII) и под углом ≈ 45º между каждым из указанных направлений (влево-вверх (II), влево-вниз (IV), вправо-вниз(VI), вправо-вверх (VIII)). Пространственное расположение областей приведено на рис. 1.

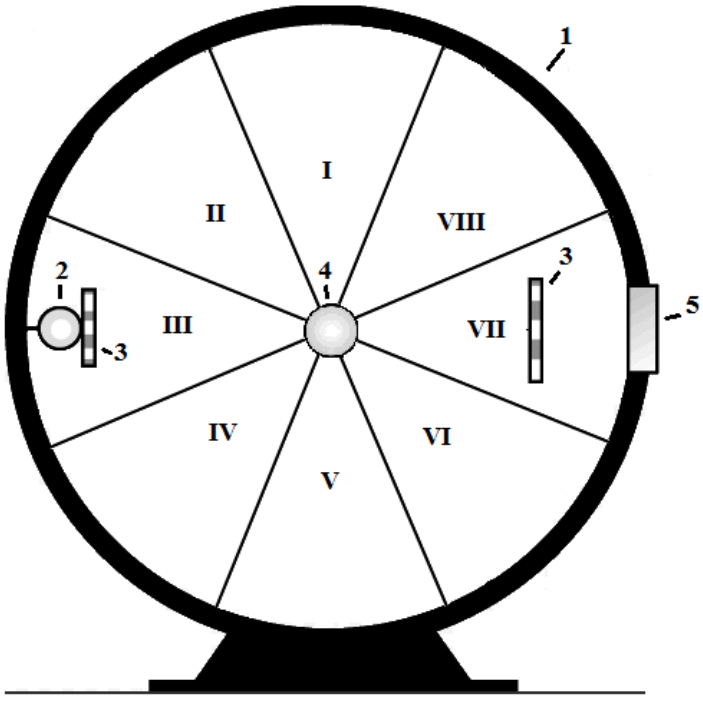


Рисунок 1 – Области измерений в фотометрической сфере:
1 – корпус сферы, 2 – вспомогательная лампа, 3 – экраны, 4 – измеряемая лампа, 5 – фотоприёмник

Значения светового потока измерялись по 10 раз в каждом из направлений. Результаты измерений – значения среднего светового потока, – а также рассчитанное значение среднего квадратического отклонения приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты измерений светового потока светодиодной линейки

Направление	Ф, лм	σ
Вверх (↑)	714,61	2,42
Вниз (↓)	667,86	1,89
Влево - в сторону вспомогательной лампы (←)	680,56	2,51
Вправо - в сторону фотоприемника (→)	718,58	1,54
Вправо-вверх (↗)	710,02	3,09
Влево-вверх (↖)	695,02	1,64
Влево-вниз (↙)	676,18	2,29
Вправо-вниз (↘)	681,31	1,89

Как видно из таблицы 2, наибольшее значение светового потока получается при измерении в направлениях вертикально вверх, вправо, вправо-вверх, в целом, в первом квадранте.

По данным таблицы 2 построили гистограмму распределения значений светового потока, измеренного в различных направлениях, с учётом среднего квадратического отклонения: крайние значения каждого отрезка, меньшее и большее, получены, соответственно, вычитанием и сложением значения светового потока, характерного для данного направления, с утроенным значением среднеквадратического отклонения (3σ). Гистограмма представлена на рисунке 2.

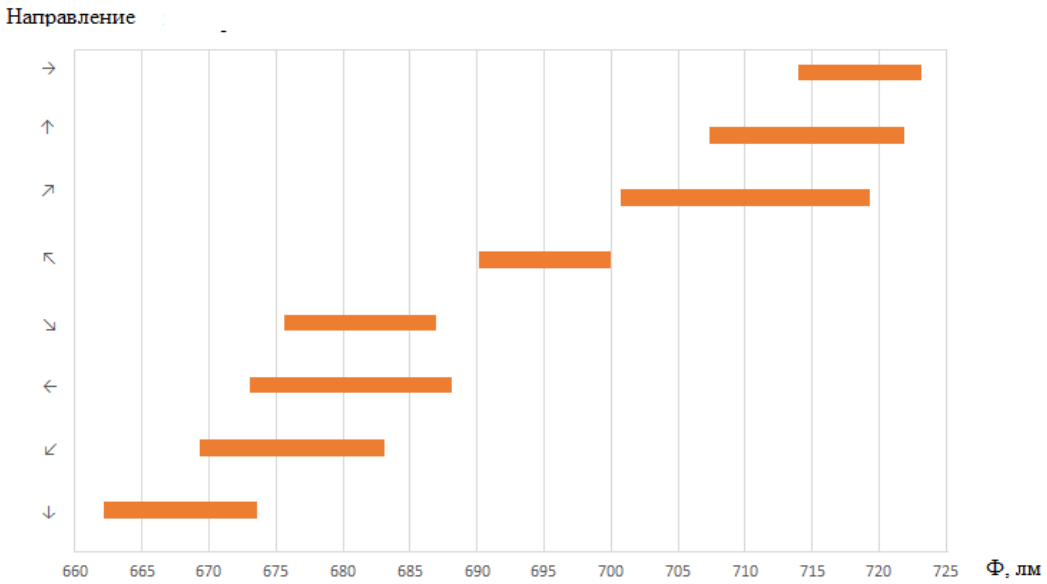


Рисунок 2 – Гистограмма распределения значений светового потока в зависимости от направления измерения

Из рисунка 2 видно, что три области, соответствующие направлениям, в которых получен наибольший световой поток, перекрываются в диапазоне 714...719 лм (при общем диапазоне для трёх областей - 701...723), что достаточно близко к номинальному световому потоку и говорит о закономерном характере полученной зависимости.

При измерении направленных источников света в фотометрическом шаре рекомендуется не направлять излучение в ту часть полусферы, где находится фотоприёмник (ФП), так как в области около чувствительной поверхности ФП может происходить засветка последнего [1]. Экраны фотометрических сфер,

являясь важным элементом, предохраняющим от засветок фотоприёмник, служат также основной причиной пространственной неоднородности сферы [2]. Следовательно, направления вправо (в сторону фотоприемника) и вправо-вверх для измерения потока светодиодной линейки не надёжны и не подходят для измерений с необходимой точностью, проводимыми при производстве и контроле направленных источников.

Измерили световой поток линейки с помощью гониофотометра. Измеренный поток составил 722 лм. Кривая силы света представлена на рис. 3.

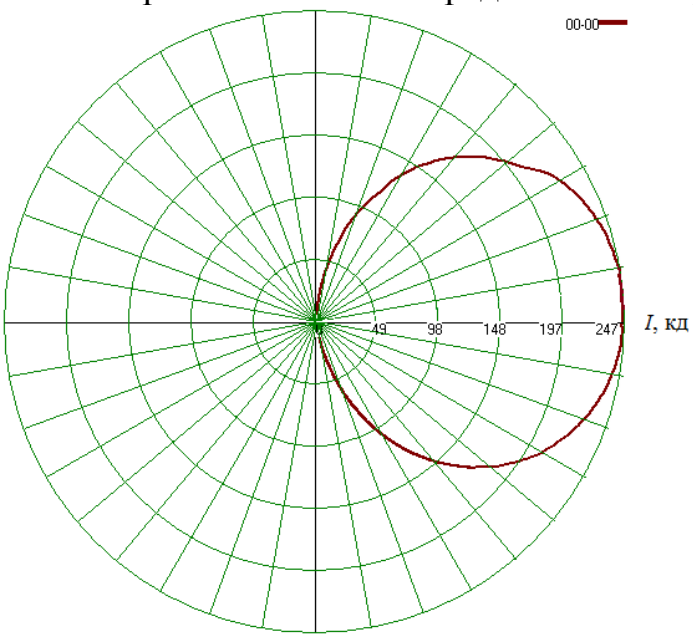


Рисунок 3 – Кривая силы света светодиодной линейки

Рассчитаем относительную погрешность измерения светового потока светодиодной линейки в фотометрическом шаре по формуле:

$$\delta = \frac{\Phi_{изм} - \Phi_{ном}}{\Phi_{ном}} \cdot 100\% . \qquad (1)$$

Для случая измерения светового потока в область I (рис. 1) имеем:

$$\delta = \frac{720 - 714{,}61}{720} \cdot 100\% = 0{,}75\%$$

Полученная относительная погрешность составляет менее одного процента, что для измерений в условиях промышленного производства и контроля производимой продукции является вполне допустимым (предельная относительная погрешность ± 5 %).

Учитывая вышесказанное целесообразно проводить измерения светового потока, устанавливая линейку светодиодами вверх.

Литература

1. Дистл Р. Метрология светодиодных ламп и модулей / Р. Дистл, Д. Конюходцик // Светотехника. — 2011. — № 1. — С. 39-42.

2. Кариу Н. Интегрирующая сфера: теоретические основы измерения оптического излучения // Светотехника. — 2011. — № 2. — С. 36—38.

К.П. Клямеров, студ.; Е.В. Матыченков, студ.; рук. Д.С. Рассказа, асс.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ Г-ОБРАЗНОГО ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА В РАМКАХ ТЕОРИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Одной из проблем проведения любого эксперимента является как получение лучшего результата с наименьшими затратами, так и создание программного продукта, позволяющего промоделировать эксперимент достаточно точно и провести обработку его результатов. Для улучшения результативности и уменьшения ресурсозатратности эксперимента пользуются специальным математическим аппаратом — полной и дробной моделями факторных экспериментов.

В рамках изучения теоретического материала [2,3] внимание привлекает не очень большая иллюстративная база по данной теме, а освещение резонансного процесса в цепи с этой точки зрения не встретилась вообще. Используя программное обеспечение *Microsoft Excel* 2010 разработан продукт, позволяющий рассчитать ток и напряжение, снимаемое с выхода цепи, изображенной на рисунке 1.

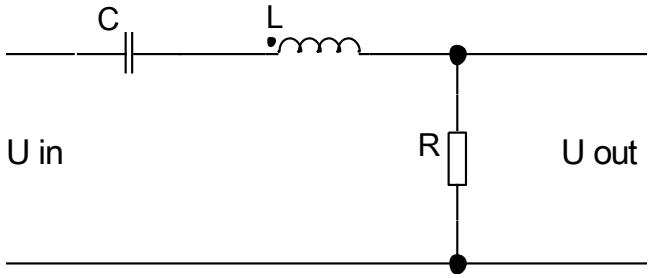


Рисунок 5 – Схема Г-образного четырехполюсника

Проведен вывод основных расчетных формул. Они занесены в электронную таблицу.

Пусть на вход цепи подается напряжение:

$$\dot{U}_{in} = U_{\partial} * \sqrt{2} * \sin(\omega t). \qquad (1)$$

Комплексное сопротивление цепи колебательного контура:

$$\dot{Z} = j * (\omega L - \frac{1}{\omega C}) + R. \qquad (2)$$

Иначе говоря,

$$\dot{Z} = j * \dot{X} + R, \qquad (4)$$

где $\dot{X} = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ – реактивное сопротивление цепи.

Для удобства дальнейшего расчета запись комплексного сопротивления цепи переведена в экспоненциальную форму:

$$\dot{Z} = Y * e^{j*K}, \qquad (5)$$

где $Y = \sqrt{\dot{X}^2 + R^2}$ – модуль комплексного сопротивления,

а $K = arctg(\frac{\dot{X}}{R})$ (6) – фаза комплексного сопротивления.

Тогда ток, протекающий в цепи равен току, протекающему через резистор:

$$\dot{I}_R = \dot{I} = \frac{\dot{U}_{in}}{\dot{Z}} = \frac{U_д}{Y} * e^{-K*j}. \qquad (7)$$

А напряжение на резисторе находим по формуле:

$$U_R = \dot{I}_R * R = \frac{U_д * R}{Y} * e^{-K*j} \qquad (8)$$

Теперь рассмотрим влияние трех переменных факторов на отклик в цепи: *R*, *L* и *C* (рисунок 1). Для них составим полнофакторный эксперимент.

Для этого необходимо построить ортогональный центральный композиционный план второго порядка (ОЦКП) для *k*=3. Ортогональным называется план, у которого матрица планирования *X* строится так, что $X^m \times X$ является диагональной [1]. План называется центральным, если все точки расположены симметрично относительно центра плана. ОЦКП является симметричным планом. ОЦКП называется композиционным поскольку содержит некую композицию элементов, в которую входят:

- Ядро плана (ПФЭ с $N_0=2^k$ точками плана).

-Центральная точка.

-По две «звездные» точки для каждого фактора. Общее число звездных точек 2×k.

Константа преобразования:

$$a = \sqrt{\frac{2^k}{2^k + 2k + 1}} = \sqrt{\frac{2^3}{2^3 + 2 * 3 + 1}} \approx 0{,}73$$

В ОЦКП факторы выражают на 5 уровнях:

$$-a; -1; 0; 1; a$$

Плечо звездных точек:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2}(\sqrt{NN_0} - N_0)} = \sqrt{\frac{1}{2}(\sqrt{15 * 8} - 8)} \approx 1{,}215,$$

где $N=2^k + 2k + 1 = 15$ – число элементов ОЦКП, а $N_0 = 2^k = 8$ [1].

$$1 - a = 0{,}27$$

$$-a = -0{,}73$$

$$\alpha^2 - a = 1{,}215^2 - 0{,}73 = 0{,}746$$

Ниже представлена таблица с ортогональным центрально-композиционным планом (ОЦКП) второго порядка при *k*=3, а также необходимые расчеты для ее построения. Для дальнейших расчетов принимается *U*д=50В, *R*=10Ом, *L*=1мГн, *C*=10мкФ (нулевые значения факторов). Величину каждого из компонентов цепи будем менять в пределах 30% в большую (1) и меньшую (-1) сторону. Для удобства значения $a, \alpha, 1 - a$ представлены в виде десятичных дробей с округлением до сотых (таблица 1). Далее проведен расчет откликов *I*, *U*, φ (таблица 2).

Таблица 1 – ОЦКП второго порядка при k=3

Номер опыта	R0	R	L	C	RL	RC	LC	RLC	(R)^2-a	(L)^2-a	(C)^2-a
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	0,27	0,27	0,27
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	0,27	0,27	0,27
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0,27	0,27	0,27
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0,27	0,27	0,27
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0,27	0,27	0,27
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	0,27	0,27	0,27
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	0,27	0,27	0,27
8	1	1	1	1	1	1	1	1	0,27	0,27	0,27
9	1	-1,215	0	0	0	0	0	0	0,746	-0,73	-0,73
10	1	1,215	0	0	0	0	0	0	0,746	-0,73	-0,73
11	1	0	-1,215	0	0	0	0	0	-0,73	0,746	-0,73
12	1	0	1,215	0	0	0	0	0	-0,73	0,746	-0,73
13	1	0	0	-1,215	0	0	0	0	-0,73	-0,73	0,746
14	1	0	0	1,215	0	0	0	0	-0,73	-0,73	0,746
15	1	0	0	0	0	0	0	0	-0,73	-0,73	-0,73
$\sum_{u=1}^{N} x_{ju}$	15	0	0	0	0	0	0	0	0,00245	0,00245	0,00245
$\sum_{u=1}^{N} x_{ju}^2$	15	10,9524	10,9524	10,9524	8	8	8	8	4,36140	4,36140	4,36140

Таблица 2 – Отклики в цепи

Отклики			Отклики по линейному полиному			Отклики по мультипли-кативному полиному			Отклики с квадратичной составляющей		
I,A	U, B	фаза	I,A	U, B	фаза	I,A	U, B	фаза	I,A	U, B	фаза
4,9488	49,488	-46,15	5,817	58,169	-29,18	5,28	52,796	-32,48	5,27	52,696	-32,88
3,3552	33,552	-29,27	3,7774	37,773	-27,94	3,749	37,487	-23,48	3,739	37,388	-23,88
7,0253	70,253	-10,41	5,9306	59,306	-5,7	6,387	63,87	-6,93	6,377	63,771	-7,33
3,8275	38,275	-5,65	3,891	38,91	-4,46	4,001	40,006	-4,39	3,991	39,907	-4,79
7,1082	71,082	-5,65	6,0362	60,362	-2,97	6,511	65,112	-3,62	6,501	65,013	-4,03
3,8407	38,407	-3,05	3,9966	39,966	-1,73	4,088	40,875	-2,23	4,078	40,776	-2,64
5,6917	56,917	37,17	6,1498	61,498	20,52	5,756	57,557	25,71	5,746	57,458	25,3
3,5608	35,608	22,21	4,1102	41,102	21,75	3,938	39,383	17,73	3,928	39,284	17,32
7,8678	78,678	0	6,2027	62,026	-4,46	6,203	62,026	-4,46	6,429	64,293	-3,39
3,6643	36,643	0	3,7245	37,245	-2,96	3,725	37,245	-2,96	3,951	39,512	-1,88
4,6977	46,977	-20,03	4,8946	48,945	-17,98	4,895	48,945	-17,98	4,811	48,108	-16,9
4,6977	46,977	20,03	5,0326	50,326	10,55	5,033	50,326	10,55	4,949	49,489	11,63
4,3372	43,372	-29,84	4,8304	48,304	-19,64	4,83	48,304	-19,64	4,714	47,136	-20,72
4,8306	48,306	14,96	5,0968	50,967	12,21	5,097	50,967	12,21	4,98	49,8	11,13
5	50	0	4,9636	49,636	-3,71	4,964	49,636	-3,71	4,99	49,904	-2,62

Проведено раскодирование значений *R, L, C* в цепи. Используя данные декодирования и формулы 6, 7, 8, при помощи программы для работы с электронными таблицами *Excel* рассчитаны амплитудные значения *I, U*, φ (в градусах). в цепи. Результаты расчетов представлены в таблице 2, колонка «отклики». В таблице указаны амплитудное значение тока и напряжения на выходе цепи и также фазовый сдвиг относительно входного напряжения (на резисторе нет за-

паздывания/опережения напряжения от тока, поэтому для фазового сдвига (в градусах) выделена одна колонка). Далее рассчитаны коэффициенты для различных полиномов, аппроксимирующих полученную нелинейную зависимость линейным, мультипликативным и квадратичным полиномами. В таблице 2 приведены расчеты отклика по каждому из полиномов и произведен соответствующий расчет их среднеквадратичное отклонение (СКО) от истинного значения (таблица 3).

Таблица 3 – Среднеквадратичное отклонение расчетных данных

Полином / Отклик	Линейный	Мультипликативный	Квадратичный
I, A	0,69	0,55	0,49
U, B	6,89	5,48	4,93
φ, ^{0}	5,52	4,52	3,23

По расчетам видно, что наименьшее отклонение (самое маленькое СКО), а, значит, наибольшая точность аппроксимации у квадратичных полиномов. Чуть меньшую точность (но и меньшее количество расчетов) дает мультипликативный полином. Линейный же дает наибольшее отклонение и наибольшую простоту вычислений.

Разработанная таблица и аппроксимация могут быть использованы в учебных и методических целях.

Литература:

1. Сидняев Н.И., Вилисова Н.Т. Введение в теорию планирования эксперимента: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. -463 с
2. Сидняев Н.И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных: учеб. пособие. М.: Юрайт, 2011. -399 с
3. Сидняев Н.И., Статистический анализ и теория планирования эксперимента: учебное пособие / Н.И. Сидняев.—М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. -195с. : ил.

К.П. Клямеров, студ.; А.А. Терехина, студ.; рук. С.П. Астахов, к.т.н., доцент.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТИПА АККУМУЛЯТОРА ДЛЯ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

Как правило автономные системы энергообеспечения имеют устройства, способные накапливать электрическую энергию. За последнее десятилетие наблюдается значительный рост доли возобновляемых источников электрической энергии в общем объеме генерирующих мощностей. Непостоянный характер генерации и постепенный переход от централизованной системы энергоснабжения к распределенной, ведут к уменьшению стабильности и надежности энергетической системы. Одним из признанных вариантов решения данной проблемы является применение систем накопления электрической энергии.

Накопитель должен иметь возможность запасти энергию, сохранять её длительный период и в случае надобности преобразовать её в электрическую для

выдачи в нагрузку. На рисунке 1 представлена классификация накопителей электрической энергии.

Рисунок 1 — Накопители электрической энергии

Так как накопитель планируется использовать на трассах, механические накопители рассматривать не имеет смысла.

Электрические накопители хоть и характеризуются высокой плотностью энергии малым временем заряда/разряда, но запасают не так уж много энергии и имеют большую степень саморазряда (до 40% в день).

Топливные элементы обладают высоким КПД и могут использоваться для буферного накопления энергии, но требуют постоянной подачи из вне веществ для электрохимической реакции, что тоже не всегда приемлемо.

Поэтому оптимальным вариантом для построения автономной системы обеспечения электроэнергией объектов трасс являются аккумуляторные батареи (АКБ). Эксплуатационными параметрами устройства накопительной энергии аккумулятора являются: количество циклов перезаряда, устойчивость к изменению температуры, выдаваемая мощность, ток заряда [1].

Существует несколько основных типов аккумуляторов: кислотный, щелочной, гелевый и гибридный [2]. Некоторые их параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры аккумуляторов

Тип аккумулятора		Количество циклов перезаряда (раз)	Рабочий диапазон температур (℃)	Потеря емкости (% в год)	Срок службы (год)
Кислотный	Сурьмянистые	До 500	-10…+50	До 45%	3-4
	Малосурьмянистые	До 600	-10…+50	До 45%	3-4
	Кальциевые	До 550	-10…+50	До 45%	5-7
Щелочной	Литий-полимерные (Li-Pol)	500-800	-10…+50	20%	20-25
Гелевый	AGM	До 500	-20…+60	40%	До 10
	GEL	До 500	-10…+50	40%	До 10
Гибридный	Никель-металл-гидрид (Ni-MH)	500-1000	-10…+40	25%	3-5
	Свинцово-кислотный	300-1200	-20…+50	20%	До 12

Достоинством сурьмянистых АКБ является их малая стоимость. Из недостатков же следует отметить высокую требовательность к уходу и малый срок службы и большую потерю емкости.

Пластины с уменьшенным содержанием сурьмы в малосурьмянистых АКБ снижают интенсивность испарения воды из электролита. В результате, такие аккумуляторы требуют меньшей частоты восполнения электролита. Важное преимущество малосурьмянистых аккумуляторов – терпимость к электрическим параметрам сети питания, что предотвращает сильную смену параметров аккумулятора при перепадах напряжения. Для него не опасен глубокий разряд, но срок службы у таких АКБ невелик [2].

Главная особенность кальциевых аккумуляторов снижение интенсивности электролиза, и, соответственно, ему не нужно восполнять электролит. Они имеют низкую степень саморазряда. По сравнению с сурьмянистыми аккумуляторами саморазряд меньше примерно на 70 процентов. Перезаряд стал не столь критичен.

В то же время, кальциевые АКБ гораздо более чувствительны к сильному разряду, чем другие виды аккумуляторов. Этот вид аккумуляторов чувствителен к стабильности электрических характеристик сети питания.

Принцип действия Li-Pol АКБ основан на способности полимеров приобретать свойства полупроводников при воздействии на них ионами электролита.

Эти АКБ обеспечивают большую плотность тока. Установка плоских и легких литий-полимерных батарей увеличивает время работы электродвигателей и уменьшает вес оборудования. У таких аккумуляторов отсутствует эффект памяти, они сохраняют работоспособность при температуре воздуха в пределах от -20 до +60 градусов, плотность энергии на единицу объема выше чем у NiCd и NiMH батарей. Могут храниться в разряженном состоянии без потери характеристик долгое время. Их емкость снижается при минусовой температуре, необходим особый режим заряда. Взрыво- и пожароопасность, высокая цена.

Отличия между технологиями AGM и GEL заключается в способе связывания электролита. В АКБ вида AGM электролитом пропитывается пористое стекловолокно. По технологии GEL электролит переводят в гелеобразное состояние с помощью добавок соединений кремния.

К преимуществам гелевых аккумуляторов обоих видов следует отнести низкий саморазряд и высокую устойчивость к вибрации. Не требуют обслуживания. После глубокого разряда они полностью восстанавливают свою ёмкость. Заряд этого вида аккумуляторов проводится меньшими значениями тока, чем в случае со свинцово-кислотными моделями.

К недостаткам данного вида АКБ относится падение проводимости гелеобразного электролита и соответственно емкости аккумулятора при отрицательных температурах. Они не выдерживают ускоренного заряда, напряжение выше 14.4 *В* и выше вызывает необратимые процессы разложения геля.

Ni-MH аккумуляторы значительно уступают по емкости на единицу массы и литий-йонным, и литий-фосфатным аккумуляторам. Конструкция их анало-

гична никель-кадмиевым источникам питания [3], а протекающие в них химические и физические процессы такие же, как в никель-водородных аккумуляторах.

Среди плюсов Ni-MH аккумуляторов:

- высокие удельные энергетические характеристики;
- одноразовая ежемесячная разрядка до 1 *В* избавит от свойственного данному типу батарей снижения разрядного напряжения.
- Меньше выражен эффект памяти.

О недостатках Ni-MH

- узкий интервал рабочих токов;
- возможность перегрева вызывает необходимость установки термопредохранителя и отказ от производства батарей, в которых более десятка аккумуляторов;
- необратимая потеря емкости при разрядке до нулевого значения напряжения;
- низкий температурный рабочий диапазон
- небольшой срок эксплуатации.

Достоинствами свинцово-кислотных батарей является нетребовательность к температуре внешней среды, виброустойчивость и пожарную безопасность. Отсутствует эффект памяти и подходят для долгосрочной эксплуатации в буферном режиме подзарядки, без периодов полной разрядки батареи. Служат не менее 10 лет. Саморазрядка свинцово-кислотного аккумулятора составляет примерно 40% в год при температуре воздуха +20 градусов. С, что в 4 раза медленней, чем у никелево-кадмиевых элементов питания.

Среди недостатков, можно отметить малый срок службы (до 500 циклов заряда/разряда), при глубокой разрядке и хранении без подзарядки пластины аккумулятора портятся из-за сульфатации, токсичность оксида свинца

Сравнительный анализ параметров различных типов аккумулятор показал, что, наиболее подходящими для автономной системы обеспечения является свинцово-кислотный аккумулятор из-за его долговечности, большого срока службы, широкого рабочего диапазона температур и небольшой потери емкости.

Литература:

1. Дайчман, Р.А. Рекомендации по выбору оборудования комбинированных (гибридных) систем автономного альтернативного электроснабжения / Р.А. Дайчман // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 6. – С. 52-54
2. Выбор и эксплуатация аккумуляторов для автономного и резервного электроснабжения: [Электронный ресурс]. —Режим доступа: http://invertor.ru/akb.html свободный (дата обращения 12.02.2019)
3. Применение технологии накопления электрической энергии для увеличения надежности системы электроснабжения на базе возобновляемых источников электрической энергии: [Электронный ресурс]. —Режим доступа: https://research-journal.org/technical/primenenie-texnologii-nakopleniya-elektricheskoj-energii-dlya-uvelicheniya-nadezhnosti-sistemy-elektrosnabzhenie-na-baze-vozobnovlyaemyx-istochnikov-elektricheskoj-energii/ свободный (дата обращения 10.02.2019)

А.А. Ковалев, адъюнкт: А.В. Навродский, курсант; А.В. Клюев, к.т.н., доцент
(ВА ВПВО ВС РФ в г. Смоленске)

ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ИЗБЫТОЧНОСТИ

Одной из важнейших задач, стоящих перед разработчиками современных цифровых вычислительных систем является задача обеспечения надежности их функционирования. Для управляющих систем такая задача определяется качеством (правильностью и своевременностью выдаваемой информации) управляющих воздействий, формируемых этими системами.

Среди существующих методов обеспечения надежности наиболее перспективным является резервирование. Известно большое количество способов резервирования, которые можно применить при проектировании вычислительных систем, но при этом все они предполагают введение в состав вычислительной системы того или иного вида избыточности.

Современные вычислительные системы представляют собой сложные аппаратно-программные комплексы, при создании которых возможно применение всех известных в настоящее время видов избыточности (структурной, временной, информационной, алгоритмической, функциональной и параметрической).

Вопросами введения избыточности занимаются многие смежные отрасли науки и техники: теория надежности; теория информации; кибернетика; информатика и др. Каждое из научных направлений рассматривает свои аспекты данного вопроса, кроме того в самой теории надежности традиционно сложилось, что применение различных видов избыточности рассматривается по отдельности. При этом, в готовой вычислительной системе все виды избыточности переплетаются и работают совместно, что требует от разработчиков вычислительных систем решения сложной, в большей части, оптимизационной задачи по распределению имеющихся ресурсов на введение того или иного вида избыточности.

Первый вопрос, который необходимо решить при построении высоко надежной вычислительной системы – это вопрос оценки эффективности различных видов избыточности. С этой целью необходимо определиться с показателем эффективности, по которому можно сравнивать виды и способы введения избыточности.

Очевидно, что при создании вычислительной системы необходимо стремиться к тому, чтобы повысить вероятность безотказной работы системы. В таком случае, для оценки эффективности введения избыточности в состав вычислительной системы предлагается рассматривать ее как совокупность отдельных подсистем, каждая из которых может быть реализована $u_{i(lj)}$ способами. Отказ любой из подсистем приводит к отказу всей системы в целом. Определение варианта системы осуществляется путем выбора способа реализации каждой подсистемы v_{extr}, доставляющий максимум целевой функции

$$P(v) = \prod_{j=1}^{n} P_j(u_{j(lj)}) \qquad 1)$$

при наличии ограничений

$$\begin{gathered} g_p(v) = \sum_{j=1}^{n} g_p(u_{j(lj)}) \le g_p^*, \qquad (p = 1, \dots, q), \\ g_p(v) = \sum_{j=1}^{n} g_p(u_{j(lj)}) \ge g_p^*, \qquad (p = q+1, \dots, Q), \\ v \in V, u_{j(lj)} \in U_j, \qquad (j = 1, \dots, n), \end{gathered}$$

где $U_j = \{u_{j(1)}, \dots, u_{j(lj)}, \dots, u_{j(\xi j)}\} (j = 1, \dots, n)$ – совокупность компонент различных типов, которые могут использоваться в *j*-й подсистеме (количество элементов в множестве U_j равно ξ_j), v – текущий вариант системы $V = \prod_{j=1}^{n} U_j$;

$P_j(u_{j(lj)})$ – надежность (вероятность безотказной работы на заданном интервале времени) элемента *j*-й подсистемы l_j-го типа;

$g_p(u_{j(lj)})$ – значение *p*-го ограничивающего фактора, для элемента l_j-го типа *j*-й подсистемы;

$g_p(v)$ – количество *p*-го ограничивающего фактора израсходованного на всю систему;

g_p^* – максимально возможное количество *p*-го ограничивающего фактора для всей системы в целом.

Использование вероятности безотказной работы *P(t)*в качестве показателя эффективности введения избыточности наиболее удобно когда применяют структурную избыточность. Вопросы оценки надежности для ряда, часто встречающихся практических случаев общего и раздельного резервирования (рис. 1, 2), холодного и горячего резервирования, резервирования с восстановлением элементов и без хорошо изучены в теории надежности [1, 2, 3]. Для случаев, представленных на рис. 1 и 2. выражения описывающие вероятность безотказной работы будут иметь вид

для схемы общего резервирования

$$P_{об} = [1 - (1 - P_{11}P_{12} \dots P_{1n})(1 - P_{21}P_{22} \dots P_{2n}) \dots (1 - P_{k1}P_{k2} \dots P_{kn})] \qquad (2)$$

для схемы раздельного резервирования

$$\begin{gathered} P_{раз} = [1 - (1 - P_{11})(1 - P_{21}) \dots (1 - P_{k1})] \\ [1 - (1 - P_{12})(1 - P_{22}) \dots (1 - P_{k2})] \dots \\ [1 - (1 - P_{1n})(1 - P_{2n}) \dots (1 - P_{kn})] \end{gathered} \qquad 3)$$

Однако, в случае применения многовидовой избыточности, выбор в качестве показателя эффективности вероятности безотказной работы приводит к тому, что итоговые выражения (2) и (3) для оценки уровня надежности проектируемых вычислительных систем будут громоздкими, а в некоторых случаях, так как многие виды избыточности взаимосвязаны и обусловливают друг друга, их получение будет не представляться возможным.

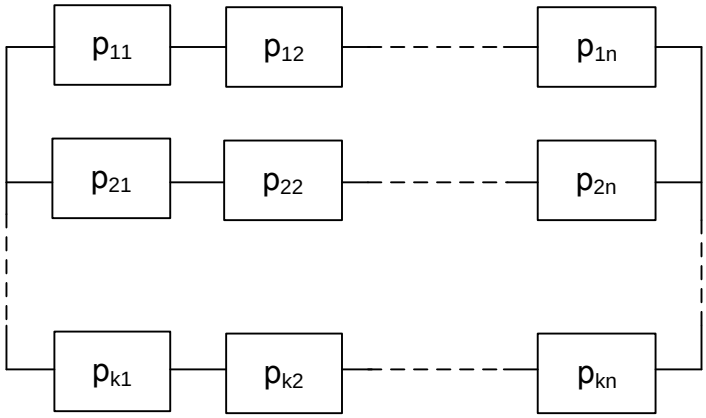


Рис. 1. Структурная схема надежности общего резервирования

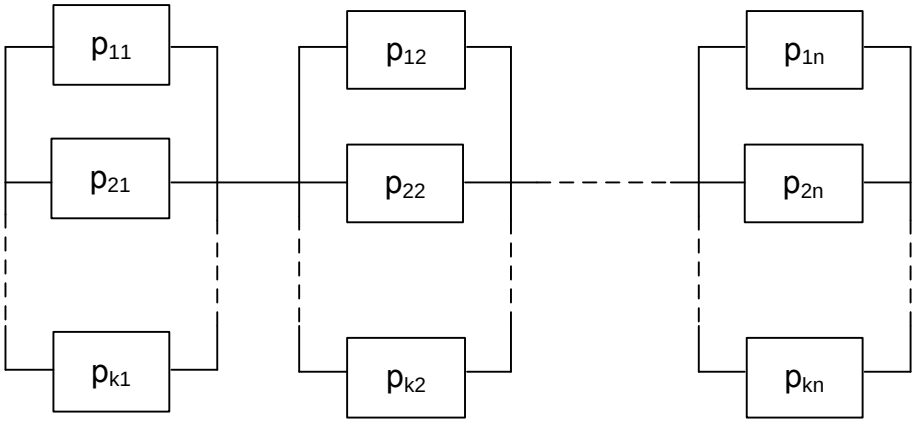


Рис. 2. Структурная схема надежности раздельного резервирования

В ряде работ [2] предлагается в качестве показателя эффективности использовать коэффициент резервирования, численно равный: $K_{\text{р}} = n + 1$, где n– кратность резервирования. Но, по той-же самой причине, его применение не целесообразно. Более того, не для всех типов избыточности этот параметр будет иметь эквивалентную с точки зрения надежности значимость.

Для выбора показателя эффективности различных видов избыточности в ВС целесообразно рассмотреть специфику надежности данных объектов. Не зависимо от сложности технической реализации и важности решаемых задач, с физической точки зрения, любая цифровая ВС представляет собой комплекс аппаратных и программных средств, используемых для получения, хранения, преобразования и выдачи информации оконечным устройствам.

Так как, существование информации не возможно без физического носителя, то в случае его разрушения (отказа ВС или ее составных частей) утрачивается (искажается) и сама информация.

Однако искажение (потеря) информации в ВС возможно и без деструкции ее аппаратной части, в случае сбоев ВС, происходящих в результате комплексного воздействия различных внутренних и внешних дестабилизирующих факторов.

Под сбоем понимается однократное кратковременное искажение порядка работы или ее прерывание, не нарушающее границ работоспособности, установленных критерием отказа. В цифровых устройствах они представляют собой однократные искажения перерабатываемой информации. При определенных условиях сбои приводят к возникновению отказов сбойного характера (ОСХ).

Не смотря, на то что природа устойчивых отказов и сбоев различна, последствия их возникновения для управляющих вычислительных систем будут одинаковы. При этом, статистика показывает, что интенсивность сбоев, более чем на порядок, превосходит интенсивность устойчивых отказов. Соответственно, обеспечение надежности вычислительной системы должно определяться степенью защищенности ее от сбоев.

Борьба со сбоями, а равно как и с устойчивыми отказами в ВС возможна по трем направлениям (рис. 3).

В любом из трех направлений (рис. 3) для обеспечения требуемого уровня надежности ВС предполагается использование, того, или иного вида избыточности. Более того, в качестве аксиомы можно отметить, что обеспечение надежности не возможно без введения избыточности.

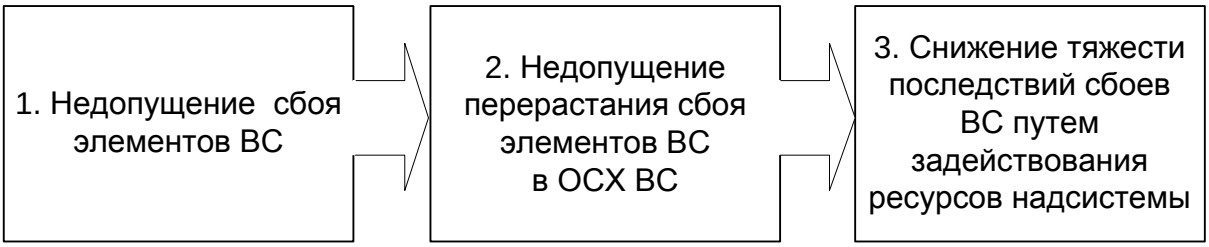


Рис. 3. Направления борьбы со сбоями (отказами)

Оценивать эффективность введения избыточности в состав ВС, а равно и других мероприятий по обеспечению надежности ВС в процессе их эксплуатации, целесообразно по интенсивности потока ОСХ ВС – $\lambda_{ОСХ}$. Соответственно, введение параметрической избыточности и другие мероприятия по недопущению сбоев элементов ВС оцениваются по интенсивности потока сбоев – $\lambda_{сб}$. Для оценки эффективность введения остальных видов избыточности предлагается использовать коэффициент прореживания потока сбоев, численно равный

$$K_{пр} = \frac{\lambda_{сб}}{\lambda_{ОСХ}}. \qquad 4)$$

Таким образом, при выборе варианта реализации вычислительной системы с многовидовой избыточностью предлагается рассмотреть структуру доставляющую минимум целевой функции

$$\lambda_{ОСХ}\left(u_{i(lj)}\right) = \frac{\lambda_{сб}\left(u_{i(lj)}\right)}{K_{пр}\left(u_{i(lj)}\right)} \to \min. \qquad 5)$$

Предложенные показатели – $\lambda_{сб}$, $K_{пр}$,$\lambda_{ОСХ,}$ позволяют наиболее объективно, с точки зрения надежности функционирования, оценить эффективность введения различных видов избыточности в состав ВС. При этом природа вводимой избыточности не имеет значения, соответственно появляется возможность комплексной оценки эффективности введения избыточности.

Литература

1. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. Учебное пособие. – СПб.; Питер, 2005. – 479 с.
2. Скачков С.А. Методы, модели и средства повышения надежности ЗРВ войсковой ПВО в условиях отказов сбойного характера вычислительных систем. Монография. Смоленск, ВА ВПВО ВС РФ, 2008. 273 с.
3. Труханов В. М. Новый подход к обеспечению надежности сложных систем. М.: «Спектр», 2010.
4. Заявка на изобретение №2018109822 от 20.03.2018 г. «Способ обеспечения надежности вычислительных систем при различных архитектурах избыточности».

А.А. Ковалев, адъюнкт; А.В. Навродский, курсант; рук. А.В. Клюев, к.т.н., доцент
(ВА ВПВО ВС РФ в г.Смоленске)

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В настоящее время работа большей части систем управления полностью автоматизирована и роль операторов во время процесса управления сводится к выбору вариантов и принятию решения. Основным элементом систем управления являются вычислительные системы (ВС), в которых проявляется явная тенденция увеличения доли цифровой обработки в сравнении с аналоговой.

Характерной особенностью систем имеющих дело как с передачей, так и с обработкой информации, является то, что они подвержены сбоям. К сбоям относятся самоустраняющиеся отказы или однократные отказы, устраняемые незначительным вмешательством оператора. Данный вид отказа особенно критичен в том случае, когда на входе управляющей системы появляется неправильная информация, которая может привести к срыву выполняемой задачи или к другим более тяжким последствия.

К основным направлениям борьбы с отказами сбойного характера ВС можно отнести:

мероприятия по недопущению сбоев – снижение чувствительности аппаратной части к воздействию среды эксплуатации;

мероприятия по прореживанию сбоев – недопущение перерастания сбоя в отказы сбойного характера;

мероприятия по снижению уровня последствий сбоев – использование ресурсов управляющей системы для снижения тяжести последствий сбоев [1].

Наиболее перспективным направлением в борьбе с отказами сбойного характера ВС являются мероприятия по прореживанию сбоев, которые возможно реализовать при помощи резервирования на этапе проектирования.

В соответствие с ГОСТ 27.002–2015 резервированием называется применение дополнительных средств и (или) возможностей с целью сохранения работоспособного состояния объекта при отказе одного или нескольких его элементов. Таким образом, резервирование – это метод повышения надежности объекта путем введения избыточности. В свою очередь, избыточность – это дополнительные средства и (или) возможности сверхминимально необходимые для выполнения объектом заданных функций. Задачей введения избыточности является обеспечение нормального функционирования объекта после возникновения отказа в его элементах.

Рассматривая в отдельности каждый вид избыточности для аппаратных средств (структурная, временная, параметрическая, функциональная, алгоритмическая, информационная), можно сделать вывод, что к основным видам избыточности рассматриваемым на практике относятся структурная и временная, причем совместное использование этих видов повышает показатели надежности ВС [2].

Для оценивания надежности ВС в условиях отказов сбойного характера необходимо создавать модели, в которых учитывается влияние многовидовой избыточности на показатели надежности.

Из анализа структурной избыточности, становится ясно, что моделирование наиболее просто осуществить комплексированием теории алгебры логики, при помощи которой имитируются схемы постоянного резервирования и резервирования замещением.

Моделирование временной избыточности возможно при использовании резерва времени, создаваемого за счет увеличения времени, выделенного системе для выполнения задания. В работе ВС допускаются незначительные перерывы, протекающие без потери качества функционирования (пока управляемые параметры находятся в пределах допусков), которые можно использовать для восстановления её работоспособности.

Рассмотрим информационную избыточность. В современных ВС информационная избыточность используется для улучшения многих характеристик. Она влияет на показатели надёжности, достоверности обработки и передачи информации, точности вычислений, производительности. Можно с уверенностью сказать, что без информационной избыточности в той или иной форме невозможно представить ни один информационный процесс. Информационная избыточность уменьшает:

поток отказов системы, так как не все отказы элементов становятся отказами системы; если последствия отказа элемента удаётся устранить за счёт информационной избыточности, то он не считается отказом системы;

время восстановления за счёт уменьшения объёма работ, обесцененных отказом; при этом уменьшается время, затрачиваемое на повторение обесцененной части работ, и увеличивается полезная наработка;

время восстановления за счёт сокращения времени обнаружения и поиска неисправности.

Способы введения информационной избыточности весьма разнообразны. Информационная избыточность существует в виде избыточности внутреннего информационного языка устройств обработки и передачи данных, в виде избыточности помехоустойчивых кодов. Её можно вводить и как избыточность массивов данных в составе файла данных, и как избыточность файловой структуры в памяти ЭВМ.

Общая схема применения кодов с обнаружением и исправлением ошибок имеет следующий вид (рис.1). Исходная кодовая комбинация *и* расширяется добавлением дополнительных корректирующих разрядов в кодирующем устройстве К. Полученная кодовая комбинация *х* передается через канал связи С или записывается в памяти П. При этом могут возникать ошибки либо из-за технической неисправности С или П, либо из-за сбоев. В результате передается или считывается кодовая комбинация *х**, которая после декодирования устройством D при условии достаточно малого количества ошибок приобретает первоначальный неискаженный вид *и*.

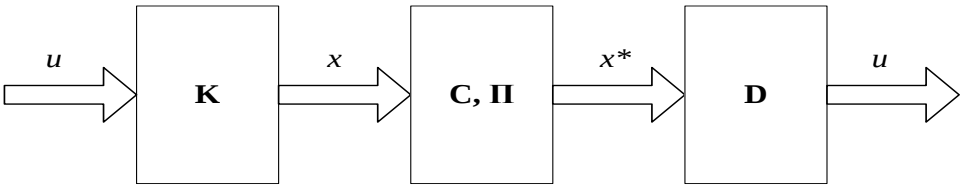


Рис. 1. Общая схема применения кодов с обнаружением и исправлением ошибок.

Не трудно заметить, что для передачи неискаженной полезной информации, необходимо увеличивать как количество аппаратных средств, так и время на кодирование и декодирование информации.

Анализируя способы введения информационной избыточности можно сделать вывод о возможности ее представления в виде совместного применения структурной и временной избыточности. Ведь принимается во внимание то, что создание избыточной информации невозможно без какого-либо увеличения структуры, а также и времени обработки такой информации.

В формализованном виде коэффициент информационной избыточности возможно представить как:

$$К_{ии} = К_{си} + К_{ви}$$

где $К_{ии}$ – коэффициент информационной избыточности, $К_{си}$ – коэффициент структурной избыточности, $К_{ви}$ – коэффициент временной избыточности.

На рисунке 2 представлена графическая зависимость вероятности безотказной работы от интенсивности потока отказов ВС. Анализируя график, можно сделать вывод о том, что структурная и временная избыточности в отдельности "проигрывают" информационной избыточности.

Применение информационной избыточности с целью обеспечения надежности ВС в некоторых случаях позволяет получить наиболее эффективные и экономические решения. Например, если существующие методы структурного и временного резервирования требуют , по крайней мере в однопроцессорных

системах, удваивания количества аппаратуры для достижения требуемого уровня надежности, то при помощи информационной избыточности аналогичный эффект может быть достигнут увеличением количества оборудования на 10 – 30% [3].

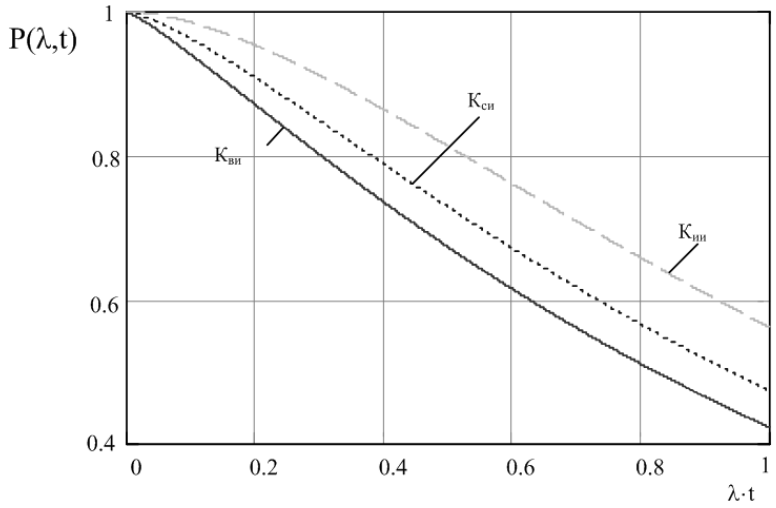


Рис. 2. Зависимость вероятности безотказной работы вычислительной системы от интенсивности потока отказов.

Подводя итоги вышеизложенному, информационная избыточность является одним из методов резервирования для обеспечения надежности ВС, и ее моделирование представляет собой частный случай применения структурной и временной избыточности в комплексе.

Литература

1. Скачков С.А. Методы, модели и средства повышения надежности ЗРВ войсковой ПВО в условиях отказов сбойного характера вычислительных систем. монография. Смоленск: ВА ВПВО ВС РФ,2008.
2. Клюев А. В., Ковалев А. А., Навродский А.В. обеспечение надежности вычислительных систем за счет комплексного применения структурной и временной избыточностей.// Сб. материалов VIII международной научно-техническая конференция «Энергетика, информатика, инновации-2018 ». Смоленск, 2018.
3. Иыуду К.А. Надежность, контроль и диагностика вычислительных машин и систем. учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа,1989.

Д.П. Кондратович, студ.; рук. В.Л. Жбанова, доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

В статье рассмотрим влияние программного обеспечения (ПО) написанного на языках программирования *Basic*, *Phyton*, Ассемблер для автоматизации рабочих процессов на оптико-электронных устройствах.

Примером оптико-электронного прибора, на который необходимо писать ПО, является электронный микроскоп японской компании *Olympus BX53M*. Это исследовательский микроскоп для материаловедения, который может осна-

щаться, как металлографический микроскоп, микроскоп для кристаллографии и другие.

Для создания ПО необходимо выбрать язык программирования, который делится на два класса:

- машинно-ориентированные (низкого уровня);
- алгоритмические (высокого уровня).

Язык низкого уровня направлен на определенный тип процессора и записывается в машинных кодах (0 или 1). Этот язык доступен компьютеру, но не понятен человеку (например, язык Ассемблера). Языки программирования высокого уровня – заносятся с помощью английских слов и фраз. Такой язык понятен человеку но не доступен компьютеру. Эти языки следует переводить на машинные коды. Для этого применяются трансляторы. Они делятся на:

Компиляторы – моментально пересчитывают исходный текст программы на язык машинных кодов. После этого формируется командный файл (*.exe* или *.com*).

Интерпретаторы – переводят исходный текст программы по шагам. И каждый раз при запуске обращаются к исходному тексту. Очень удобно при отладке программ.

Рассмотрим каждый язык программирования по отдельности для определения их эффективности. Язык *BASIC* входит в семейство языков программирования высокого уровня. Рассмотрим достоинства и недостатки для разработки ПО.

Достоинства:

-чрезвычайно простой синтаксис языка;
- встроенный редактор и оболочка (*vb*);
- малые трудо-время затраты;
- не нужно объявлять переменные;
- возможность компиляции, в р-код и в машинный код.

Недостатки:

- низкая скорость работы приложения;
- синтаксическая «бедность» языка.
- поддержка операционных систем только семейства *windows*;
- отсутствие механизма наследования объектов;
- требует установленных *dll* для работы программы.

Анализируя вышеперечисленные достоинства и недостатки можно сделать вывод: *Basic* целесообразно использовать для сравнительно небольших и несложных задач, в которых скорость работы, в основном определяется действиями пользователя. Для похожих задач сначала выходит время разработки приложения. Таким образом, при написании простого и нетрудоемкого ПО для электронного микроскопа, подойдет язык *Basic*, но не с более сложными и многоуровневыми схемами.

Python – это свободный интерпретируемый объектно-ориентированный расширяемый встраиваемый язык программирования высокого уровня. Рассмотрим его достоинства и недостатки для разработки ПО.

Достоинства:

- реализован практически на всех платформах и операционных системах.
- расширяемость языка - имеется возможность усовершенствования языка программистами.
- наличие большого числа подключаемых к программе модулей.
- простой в освоении, преимущественно на начальном этапе.
- механизмы модульности хорошо рассчитаны и они свободно используются.

Недостатки:

- не очень удачное поддержание многопоточности и как следствие условно низкая скорость действия программы.
- на языке *Python* разработано не много хороших программ по сравнению с другими универсальными языками программирования.
- начальная ограниченность средств для работы с базами данных.

Таким образом, *Python* – то разноплановый язык программирования, с помощью которого можно делать приложения в диапазоне от мобильных приложений до роботов и системных сервисов. Анализируя язык программирования *Python* для разработки ПО электронного микроскопа, можно сделать вывод: на нем можно быстро написать как и несложный программный код, так и многоуровневые системы автоматизации электронного оборудования, применяя при этом небольшие затраты по времени и средствам.

Язык ассемблера – машинно-ориентированный язык программирования низкого уровня. Команды языка ассемблера один в один соответствуют командам процессора. Исследуем его достоинства и недостатки для разработки ПО.

Достоинства:

- быстродействие, быстрее только лишь воспользоваться непосредственными инструкциями процессора;
- безопасность, низкоуровневость почти исключает присутствие белых пятен в коде;
- результативность использования возможностей определенной платформы. Нацеленность на используемую машину допускает иметь основательное преимущество по сравнению с высокоуровневыми языками;
- усвоение исполняемого кода программистом.

Недостатки:

- тяжело выучить. Несколько диалектов, специализация на платформу - все это не облегчает быстрое изучение и понимание;
- трудно читать, довольно большой листинг, простые одинаковые операции.
- написание программ, часть примитивных операций могут вызывать головную боль у программиста.
- большинство используемых машин не нуждается в таком примитивном языке,

- высокий порог входа. Представить исполняемый код в языке ассемблера сумеет практически любой средний программист. Проделать это эффективнее компилятора – лишь только малая часть;
- сильно лимитированное количество библиотек, сообществ, дополнительных ресурсов по современным меркам.

Исходя из всех достоинств и недостатков, можно сделать вывод: язык Ассемблера имеет исключительное быстродействие среди своих «одноклассников», но в тоже время очень сложен в изучении, он подойдет для разработки программ для автоматизации машинных операций, для работы с микроконтроллерами но никак, для того чтобы на нем разрабатывать мобильные приложения и т.п. Ассемблер – это определенно хороший выбор для создания ПО для электронного микроскопа. На этом языке программирования стоит разрабатывать сложное ПО для электронных машин, так как быстродействие программ написанных на нем может значительно превышать быстродействие на других языках, но малое количество программистов умеющих работать на ассемблере и соответственно сложность написания программ заставляет перейти на более легкие языки программирования.

Подводя итог ко всем трем приведенным выше языкам программирования, отметим, что для разработки сложного ПО для машин, а в нашем случае это электронный микроскоп, самым неэффективным будет язык *Basic* ввиду его простоты, золотой серединой станет язык *Phyton* из-за его универсальности, самый лучший вариант разработки ПО это язык ассемблера но с ним очень трудно работать и изучить, исходя из этого программирование на нем является редкостью.

Далее на языке *Phyton* будет написана программа для расчетов координат цвета исследуемых объектов в цифровом микроскопе и колориметре.

Литература:
1. Уорт Т. Программирование на языке Бейсик. –М.: Машиностроение, 1981. 225с.
2. Любанович Б. Простой Python. Современный стиль программирования. – СПб.: Питер, 2016. 480с.
3. Аблязов Р.З. Программирование на ассемблере на платформе x86-64. – М.: ДМК Пресс, 2011. 301с.

М.Е. Кондрашова, маг.; рук. М.В. Беляков, к.т.н., доцент
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГОКРАТНОЙ СКАРИФИКАЦИИ НА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕМЯН ЛЮЦЕРНЫ

Целью данной работы является исследование характеристик семян люцерны при многократной скарификации, выполненной механическом способом.

Данная работа призвана быть использованной для создания оптико-электронного прибора для оценки качества скарификации семян кормовых культур.

Спектральные кривые возбуждения (СВ) и люминесценции (СЛ) были получены в соответствии с [1].

На первом этапе работы было произведено синхронное сканирование по всему доступному диапазону длин волн, в нашем случае это 180-760 нм. Далее были определены пики кривых сканирования (длина волны возбуждения и люминесценции) и произведены пробные измерения. В итоге были получены следующие диапазоны для измерений: от 410 до 500 нм для СВ и от 80 до 640 нм для СЛ.

В работе проводились измерения СВ И СЛ для нескарифицированных и скарифицированных (5 последовательных этапов скарификации) семян люцерны. Как и в более ранних опытах [1-2] для статистики были произведены измерения 20 семян люцерны. После проведения опыта кривые для каждого этапа скарификации подвергались усреднению. Полученные результаты представлены на рисунке 1.

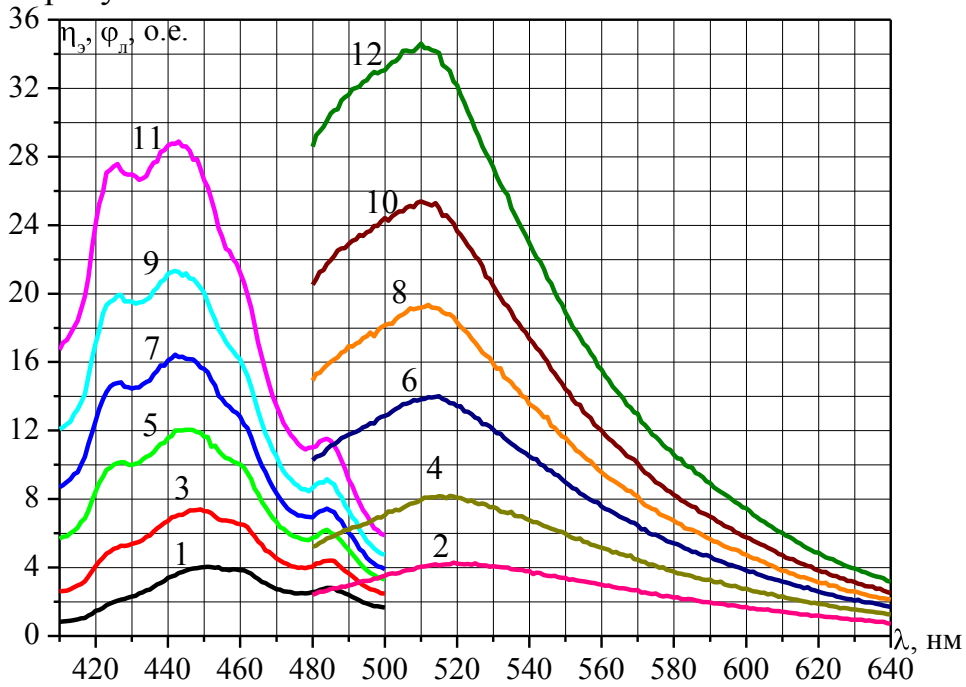


Рисунок – СВ и СЛ семян люцерны: 1,2 - нескарифицированных, 3,4 - скарифицированных 1 раз, 5,6 - 2 раза, 7,8 - 3 раза, 9,10 - 4 раза, 11,12 - 5 раз соответственно

Главные максимумы усредненных кривых СВ лежат в диапазоне 442-451 нм, побочные – 483-485 нм; пики усредненных кривых СЛ лежат в диапазоне 510-525 нм.

Рассчитаем интегралы под кривыми СВ и СЛ. Оказалось, что первая скарификация увеличивает площадь под кривой СВ в 1,87 раза, вторая - в 3,07, третья - в 4,14, четвертая - в 5,35 и шестая - в 7,19 раза. Поток же увеличивается в 1,83, 2,94, 3,91, 5,05 и 6,74 раза после соответствующей скарификации.

В то же время отношение величины интегралов под кривыми СЛ и СВ уменьшается: первоначально его величина составляла 1,78, после первой скарификации - 1,74, второй - 1,70, третьей и четвертой - 1,68 и к пятой скарификации достигается значение 1,67.

Определим соотношение главного и побочного горбов кривых СВ. Изначально горбы для нескарифицированных семян имели соотношение 3,09, после

первой скарификации скарификации - 3,92, после второй - 4,84, третьей - 5,50, четвертой - 5,88 и после пятой - 6,30. Это говорит о том, что в процессе скарификации побочный горб становится менее выраженным.

Далее провели математическую обработку с использованием пакета *Microcal Origin* 7.0. [3]. Результаты представлены в таблице.

Таблица – Статистические характеристики семян люцерны при многократной скарификации

Возбуждение									
Скарификация	M_{λ},нм	σ^2	σ	μ_3	$\mu_4 \cdot 10^5$	*As*	E_{λ}	*E*, эВ	H, о.е.
нет	457	488	22,08	204	5,17	0,02	-0,83	2,72	239
1	453	515	22,70	1784	5,72	0,15	-0,85	2,74	448
2	450	516	22,72	3210	5,89	0,27	-0,79	2,76	735
3	448,	508	22,55	3984	5,89	0,35	-0,72	2,77	991
4	447	503	22,43	4338	5,87	0,38	-0,68	2,78	1282
5	447	495	22,24	4575	5,79	0,42	-0,63	2,78	1720
Люминесценция									
Скарификация	M_{λ},нм	σ^2	σ	μ_3	$\mu_4 \cdot 10^6$	*As*	E_{λ}	*E*, эВ	Ф,о.е.
нет	544	1566	39,57	28278	5,75	0,46	-0,66	2,29	426
1	541	1535	39,17	32712	5,79	0,54	-0,54	2,31	778
2	537	1490	38,60	37618	5,83	0,65	-0,37	2,32	1253
3	535	1458	38,18	39888	5,83	0,72	-0,26	2,33	1666
4	533	1436	37,90	41206	5,82	0,76	-0,18	2,34	2150
5	532	1411	37,57	41894	5,77	0,79	-0,10	2,34	2868

Используя данные, представленные в таблице, можно сделать вывод о том, что для СВ и СЛ при скарификации характерно смещение центра тяжести спектра в коротковолновую область. Для СЛ при скарификации дисперсия постепенно уменьшается, а для СВ четкая зависимость не прослеживается. Для СВ коэффициент асимметрии, эксцесс, полная энергия спектра и площадь под кривой спектра при скарификации постепенно возрастает, аналогично для площади под кривой СЛ.

Полученные результаты могут быть использованы как априорные данные при создании метода и прибора контроля качества скарификации [4].

Литература:

1. Зиенко С. И., Беляков М. В., Малышкин В. В., Кондрашова М. Е. Люминесцентная диагностика семян кормовых растений при скарификации // Научная жизнь, 2017, №5-6, с. 4-13.
2. Беляков М. В., Харитонова Д.А., Кондрашова М.Е. Люминесцентные характеристики семян галеги восточной при скарификации. // Энергетика, информатика, инновации – 2015: Сб. трудов V Межд. науч.-техн. конф. – Смоленск: Универсум, 2015. –т. 1, С.264-266.
3. Зиенко С. И., Беляков М. В., Малышкин В. В. Параметры спектров семян галеги восточной при многократной скарификации // Энергетика, информатика, инновации – 2016: Сб. трудов VI Межд. науч.-техн. конф. – Смоленск: Универсум, 2016. –т. 2, С.75-79.
4. Беляков М. В. Фотолюминесцентный метод оценки параметров семян растений и прибор для его реализации // Инновации в сельском хозяйстве, 2018, №2(27), с. 153-159.

Д.В. Короткевич, магистрант; рук. С.А. Образцов, к.т.н., доцент
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

СРЕДСТВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ЗАГРУЗКИ И ОТЛАДКИ КОНФИГУРАЦИИ XILINX FPGA

Микросхемы программируемых вентильных матриц (FPGA) дают возможность изменять логику своего функционирования на аппаратном уровне. Неизменными остаются базовые логические ячейки и специальные логические блоки. При разработке с использованием программируемых логических интегральных схем рассматриваемого типа проектирование производится в виде описания функционирования. При программировании последовательных машин чаще применяются языки программирования, реже использование графического представления в виде схемы из блоков. В случае с FPGA схематическое представление часто использовать удобнее. Также применяются специальные языки программирования, такие как VHDL и Verilog, которые, хоть и похожи по синтаксису на другие языки программирования, принципиально отличаются от них параллельностью выполнения некоторых процессов. И по сути своей они описывают цифровую схему на аппаратном уровне. FPGA также имеют свои особенности загрузки и хранения своей конфигурации.

В этом докладе приводятся результаты изучения использования специальных средств для работы с FPGA производства фирмы Xilinx – одной из наиболее успешных наряду с Altera в области микросхем программируемой логики. Вышеупомянутая работа включает проектирование, моделирование, загрузку и отладку программного обеспечения. Отдельное внимание уделено некоторым подводным камням, с которыми можно столкнуться в процессе разработки.

Для наиболее новых на 2019 год микросхем ПЛИС от Xilinx рекомендуется использование системы автоматизированного проектирования Vivado Design Suite. Её нужно применять, начиная с семейств 7 (Spartan-7, Artix-7, Kintex-7, Virtex-7), создаваемых по технологии 28 нм, и к более поздним инструментам. Для более ранних семейств, таких как Spartan-3, Virtex-6 и Spartan-6 применяется САПР Integrated Synthesis Environment (ISE) Design Suite, о которой пойдёт речь, так как изучение и тестирование проводилось на микросхеме Spartan-6. Последняя версия данной САПР, выпущенная в 2013, версия 14.7.

Разработку также можно проводить при помощи Matlab Simulink. Построение происходит при помощи специальных блоков, между которыми формируются связи. Производится управление сигналами. С помощью ISE Design Suite можно создавать проекты с использованием модулей, написанных на языке Verilog, VHDL; представленных схематически. На этапе проектирования производится последовательное выполнение следующих действий:

- Синтез. Производится проверка синтаксиса, компиляция исходного кода или схемы [1]. Создаётся имитационная модель.
- Реализация. Трассировка и маршрутизация. Формируется топология микросхемы.

- Создание программирующего файла. Это файл прошивки.

В результате должен быть создан файл с расширением .bit. Он уже может использоваться для программирования. В случае ошибок на любом из приведённых этапов этот файл не будет создать. САПР указывается на ошибки и предупреждения в случае их наличия и определяет этап, на котором они возникли.

На некоторых операционных системах, как Windows 8 64 бита, могут возникать проблемы и вылеты ISE. Это решается при помощи переименования libPortability.dll в libPortability.dll.orig и libPortabilityNOSH.dll в libPortability.dll по адресу Xilinx\14.7\ISE_DS\ISE\lib\nt64.

Имея файл .bit можно выполнить загрузку конфигурации в энергозависимом режиме при помощи отладчика. В качестве отладчика, именуемого в программных инструментах как Cable, необходимо использовать специальные приспособления от фирмы Xilinx несмотря на то, что они также используют протокол JTAG.

Для загрузки конфигурации существует специальная утилита Digilent Adept. Она применяется для отладочных плат производителя Digilent и имеет свои преимущества. Более же применяемой является программа от Xilinx в комплекте с ISE – ISE iMPACT. Запуск осуществляется при выборе действия Configure Target Device. Здесь есть проблема, также связанная с операционной системой и проявляющая себя как невозможность загрузки, вылет программы при выполнении своих функций. Она решается следующим образом. Нужно запустить 32-разрядную версию ISE iMPACT и сервер. В настройках соединить с remote server, host – localhost. Пути: Xilinx\14.4\ISE_DS\ISE\bin\nt\impact.exe; Xilinx\14.4\ISE_DS\ISE\bin\nt64\cse_server.exe.

Загрузка может осуществляться из постоянного запоминающего устройства. Это всегда внешнее устройства, то есть при разработке с FPGA всегда нужно предусмотреть внешнюю микросхему энергонезависимой памяти, flash или EEPROM. Пожалуй, наиболее простой вариант – использование микросхемы flash-памяти с интерфейсом SPI. Объёма памяти в несколько Мбит, как правило, достаточно для небольшого проекта.

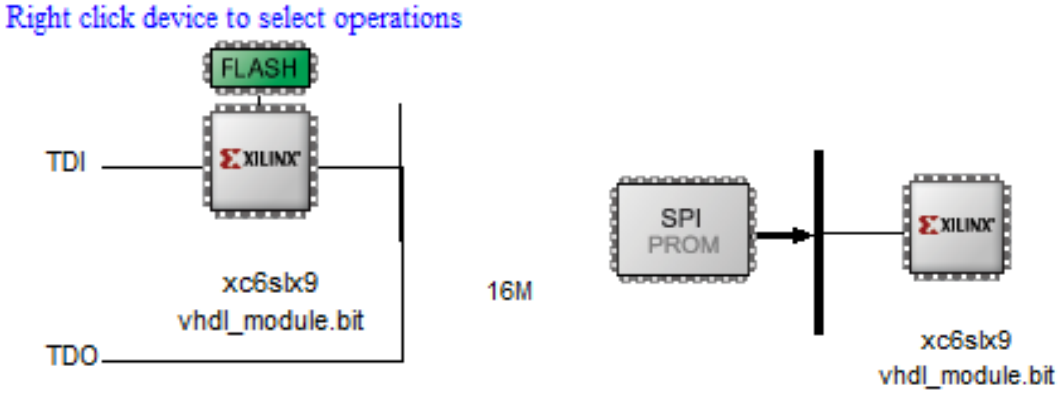


Рисунок 1 – Схемы загрузочных-отладочных цепей в iMPACT

Чтобы выполнить программирование ROM нужно привязать на схеме FPGA к конкретной микросхеме памяти, указав её интерфейс. Загрузка осуществляется при помощи файла с расширением .mcs, который можно получить их файла .bit. Для этого также используется ISE iMPACT, нужно выбрать действие Create PROM file.

После осуществления загрузки в ROM, при подаче питания, первое, что выполняется микросхемой FPGA – загрузка своей конфигурации. Скорость зависит от интерфейса обмена данными и от размера программы. Индикатором успешного конфигурирования может служить состояние специального пина DONE. Если он используется как выход при успешном завершении конфигурации он из нулевого переводится в высокоимпедансное состояние.

Все процессы, будь то компиляция или трассировка, происходят длительное время. Даже если проект небольшой. Это одна из причин, почему следует задействовать дополнительные средства. В частности, применяется моделирование. В качестве программной среды может выступать Matlab Simulink. Используя специальные блоки Xilinx, производится схематическое описание проекта. Далее нужно провести взаимодействие Matlab с ISE, чтобы модули из Matlab включились в проект ISE. Для этого производится генерация модели проекта. Таким образом на ранних этапах проектирования можно выявлять недоработки с помощью моделирования. Это позволяется сэкономить время разработки.

Ещё одним важным аспектом является оптимизация топологии и использования ресурсов кристалла. Для этих целей применяется PlanAhead [2]. С помощью него можно выполнить следующее:

- устранение лишних задержек при распространении сигналов;
- разбор возможных последствий при различных настройках синтезатора;
- организация проекта;
- планирование топологии FPGA;
- планирование распространения тактовых сигналов.

С помощью Xilinx PlanAhead удобно наблюдать за распределением ресурсов на специальном плане, изображающим микросхему. Там показано размещение выводов микросхемы, задействованные ячейки, логические блоки.

Применение приведённых инструментов послужит для сокращения времени и увеличения качества разработки устройства на Xilinx FPGA, как и указанные решения багов в работе этих средств.

Литература

1. Бибило П.Н. Основы языка VHDL. – М.: СОЛОН-Р, 2002. – 219 с.
2. Тарасов И. Использование САПР PlanAhead // Компоненты и технологии. 2012. №4. С. 113 – 120.

И.С. Курдумяков, маг.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОВЕРКИ НАПОЛНЕННОСТИ ГЕЛИЕМ КОЛБЫ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ФИЛАМЕНТНЫХ ЛАМП

В статье рассмотрен способ проверки наполненности гелием колбы светодиодной филаментной лампы.

Ключевые слова: Светодиодные лампы, филамент, нитевидный светодиод, генератор Тесла.

В настоящее время на светотехническом рынке России представлен широкий спектр световых приборов бытового назначения со стандартными цоколями Е27 и Е14, созданных с использованием различных технологий: лампы накаливания, компактные люминесцентные лампы, светодиодные лампы, светодиодные филаментные лампы [1].

Как правило конструкция светодиодной лампы состоит из одного мощного чип-светодиода из нитрида галлия (или сборки из нескольких чип-светодиодов), люминофора, а также драйвера питания, который позволяет светодиоду излучать свет с максимальной эффективностью. Кроме того, важной задачей является отвод тепла от преобразователя и непосредственно от светодиода, для повышения долговечности работы последнего. Для этих целей в конструкции ламп предусмотрен радиатор, обеспечивающий отвод тепла от светодиодной сборки и драйвера (в зависимости от мощности и сложности светового прибора) (рис. 1). Однако с развитием научно-технического прогресса, набирает популярность технология нитевидных (филаментных) светодиодов.

Рис. 1 – Распространённые варианты конструкции LED-ламп с углом свечения в 180°

Филаментные лампы обладают рядом преимуществ по сравнению с классическими чип-светодиодами. Нитевидный светодиод состоит из множества (в некоторых случаях даже сотен) бескорпусных светодиодов, нанесённых на прозрачную, а не на металлическую подложку. Материалом подложки как правило является стекло или сапфир, благодаря чему свет распространяется практически равномерно [2]. Подложка, как и светодиодная нить покрываются смесью силикона и люминофора, преобразующего синий свет светодиодов в белый (рисунок 2). Сейчас большинство производителей при выборе цветовой температуры полагаются исключительно на состав люминофора. Подобное устройство филаментной лампы делает возможным использовать совместно красные и синие светодиоды что позволяет добиться большего контроля над желаемой цветовой температурой. Единственным недостатком от применения двух типов светодиодов является меньшая однородность коэффициента цветопередачи [3].

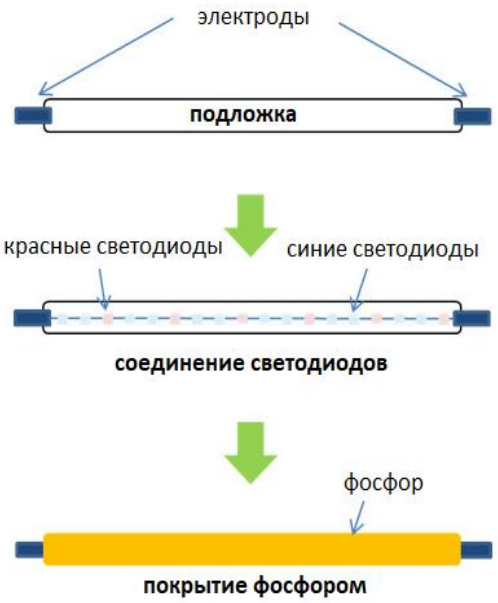


Рисунок 2 – Упрощённый процесс изготовления нитевидного светодиода

При производстве ламп часто сталкиваются с проблемой натекания воздуха в колбу, данная проблема значительно сокращает срок службы лампы. Для филаментных ламп нет возможности применения радиатора, как в традиционных светодиодных лампах. В таком случае применяется наполнение гелием для обеспечения отвода тепла от филаментов и обеспечения рабочего температурного режима. Для проверки люминесцентных, неоновых ламп используют генератор Тесла, при поднесении лампы содержащий аргон или неон, газ в лампах начинает светиться. В филаментных лампах филаменты герметично запаяны в стеклянную колбу (рисунок 3). Эта колба наполнена специальным газом, обладающим высокой теплопроводностью. Именно через газ и осуществляется отвод тепла от светодиодов. Стеклянная колба с тонкими стенками хорошо проводит тепло, поэтому она и используется в качестве теплоотвода. Этим газом является гелий, который не имеет цвета. Чтобы проверить на натекание филаментных ламп, заполненных гелием, используем метод описанный ниже.

Рис. 3 – Распространённый вариант конструкции филаментной светодиодной лампы

Подключаем к центральному контакту (фазе) лампы один из выводов генератора Теслы, газ внутри лампы начинает ионизироваться. Если в колбе находится только воздух, то прикладываемой энергии генератором не хватает, для того чтобы

воздух начал проводить электричество. Это объясняется тем, что у воздуха высокая энергия ионизации. Для полной ионизации воздуха требуется энергия порядка 39 эВ. У гелия энергия ионизация равна 24,6 эВ, поэтому энергии прикладываемой генератором хватает, чтобы гелий находящийся в колбе ионизировался и в лампе возник ток, внутри колбы появляется градиент напряженности электрического поля, изменяя градиент напряженности поля (например за счет применения дополнительного объекта – рука, проводник и т.д.), на контактах филаментов возникает разность потенциалов, благодаря которой через филамент протекает ток и возникает слабое свечение филаментов. В связи с тем, что сила тока через филамент достаточно мала, данную проверку следует проводить в затемненном помещении/пространстве. Или же необходимо предусмотреть методы повешения контрастности наблюдаемого свечения филаментов.

Разрабатываемое устройство действующее по описанному методу поможет в отслеживании натекания филаментных ламп, что улучшит качество изготавливаемой продукции. Особенностью данной разработки будет являться возможность внедрения разрабатываемого устройства в действующие сборочные линии.

Литература

1. Доброзраков И. Е. Некоторые вопросы разработки и изготовления филаментных ламп в ГУП РМ «Лисма» и их технические характеристики / И. Е. Доброзраков, А. И. Лычагин // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики. – 2015. – С. 311-314.

2. Светодиодные лампы Filament Led, новинка 2015 [Электронный ресурс] URL: http://led-obzor.ru/svetodiodnyie-lampyi-po-tehnologii-filament-led (дата обращения: 27.09.2017).

3. Pfeifer, R.P. Int. J. LCA. Comparison Between Filament Lamps and Compact Fluorescent Lamps // The International Journal of Life Cycle Assessment 1996, 1, p. 8–14.

4. Тайны филаментных светодиодных ламп [Электронный ресурс]. URL: http://market.elec.ru/nomer/56/tajny-filamentnyh-svetodiodnyh-lamp/ (дата обращения: 27.09.2017).

Д.Р. Левинцов, студ.; рук. Л.Л. Лямец, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ» в г. Смоленске, г. Смоленск)

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА НИЗКИХ ЧАСТОТ ПО АНАЛОГОВОМУ ПРОТОТИПУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИЛИНЕЙНОГО Z-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Цифровые фильтры находят широкое применение в современных электронных устройствах. Цифровые фильтры могут быть реализованы на специализированных цифровых вычислительных устройствах. Для этого должен быть разработан алгоритм функционирования цифрового фильтра. В основу алгоритма может быть положено разностное уравнение, которое является математической моделью цифрового фильтра. В данной статье рассмотрена методика построения модели цифрового фильтра низких частот по заданному аналоговому прототипу.

Рассмотрим простейший RC-фильтр низких частот. Схема фильтра приведена на рисунке 1.

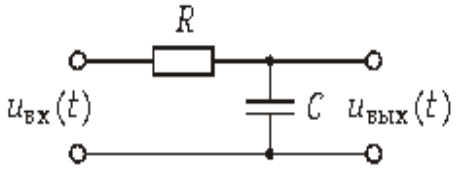


Рисунок 1 – RC-фильтр низких частот

Запишем операторную передаточную функцию $K(p)$ для данной цепи:

$$K(p) = \frac{\frac{1}{Cp}}{R + \frac{1}{Cp}} = \frac{1}{RCp + 1} \qquad (1)$$

Методы дискретного интегрирования позволяют осуществить переход от операторной передаточной функции $K(p)$ к передаточной функции $H(z)$ для дискретного аналога [1, 2]. Передаточная функция линейной дискретной системы в общем случае может быть представлена в следующем виде:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \ldots + a_m z^{-m}}{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \ldots + b_n z^{-n}} = \frac{Y(z)}{X(z)}$$

Для перехода от функции $K(p)$ к функции $H(z)$ воспользуемся билинейным z–преобразованием:

$$p = \frac{2}{T}\frac{(1 - z^{-1})}{(1 + z^{-1})} = \frac{2}{T}\frac{(z - 1)}{(z + 1)}. \qquad (2)$$

Произведем подстановку выражения (2) в выражение (1) и вычислим передаточную функцию $H(z)$ дискретного аналога низкочастотного RC-фильтра.

$$H(z) = \frac{T(z+1)}{(2RC + T)z - 2RC + T} = \frac{T + Tz^{-1}}{(2RC + T) + (T - 2RC)z^{-1}} = \frac{Y(z)}{X(z)},$$

$$Y(z)(2RC + T) + Y(z)(T - 2RC)z^{-1} = TX(z) + TX(z)z^{-1},$$

$$Y(z)(2RC + T) = TX(z) + TX(z)z^{-1} - (T - 2RC)Y(z)z^{-1},$$

$$Y(z) = \frac{T}{2RC + T}X(z) + \frac{T}{2RC + T}X(z)z^{-1} + \frac{2RC - T}{2RC + T}Y(z)z^{-1}. \qquad (3)$$

Для сокращения записей в выражении (3) введем следующие обозначения:

$$\tau = RC,\ A = \frac{\tau}{T},\ b_0 = b_1 = \frac{1}{2A + 1},\ a_1 = \frac{2A - 1}{2A + 1}.$$

Отметим, что для введенных коэффициентов выполняется равенство:

$$a_1 + b_0 + b_1 = \frac{2A - 1}{2A + 1} + \frac{1}{2A + 1} + \frac{1}{2A + 1} = \frac{2A + 1}{2A + 1} = 1.$$

После подстановки принятых обозначений в выражение (3) получим:

$$Y(z) = b_0 X(z) + b_1 X(z)z^{-1} + a_1 Y(z)z^{-1}. \qquad (4)$$

Вычислим разностное уравнение для низкочастотного RC–фильтра. Для этого применим обратное z–преобразование к левой и правой части выражения (4). Разностное уравнение имеет следующий вид:

$$Y(q) = b_0 X(q) + b_1 X(q-1) + a_1 Y(q-1). \qquad (5)$$

Разностное уравнение (5) является математической моделью цифрового низкочастотного RC–фильтра, построенного по аналоговому прототипу.

Полученное разностное уравнение (5) позволяет построить структурную схему цифрового фильтра, являющегося дискретным аналогом исследуемого низкочастотного RC–фильтра.

Полученное разностное уравнение позволяет построить структурную схему цифрового низкочастотного RC–фильтра.

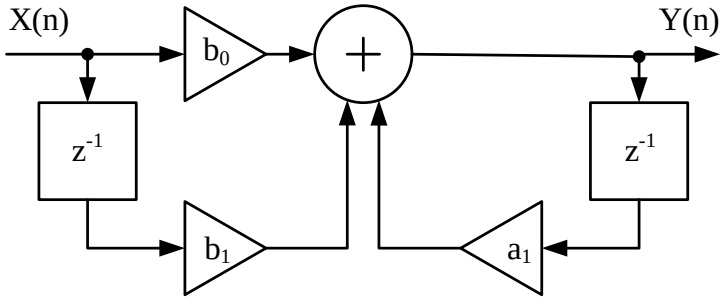


Рисунок 4 – Схема цифрового низкочастотного RC-фильтра, построенная методом билинейного z-преобразования

Для практической реализации низкочастотного цифрового фильтра был выбран аналоговый прототип с параметрами $R = 100$ Ом и $C = 100$ мкФ. В качестве входного сигнала было выбрано гармоническое колебание

$$U_{вх}(t) = U_m \sin(wt)$$

с амплитудой $U_m = 1\,В$. Гармоническое колебание наблюдалось на интервале времени от 0 до $T_н = 15T$, где $T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{w}$. Таким образом, в интервале наблюдения укладывалось 15 периодов наблюдаемого гармонического колебания. Это позволяло увидеть как переходной процесс, так и установившийся режим работы цифрового фильтра. В каждом периоде гармонического колебания дискретизация осуществлялась по 20 отсчетам, т. е. $T_Д = \frac{T}{20}$.

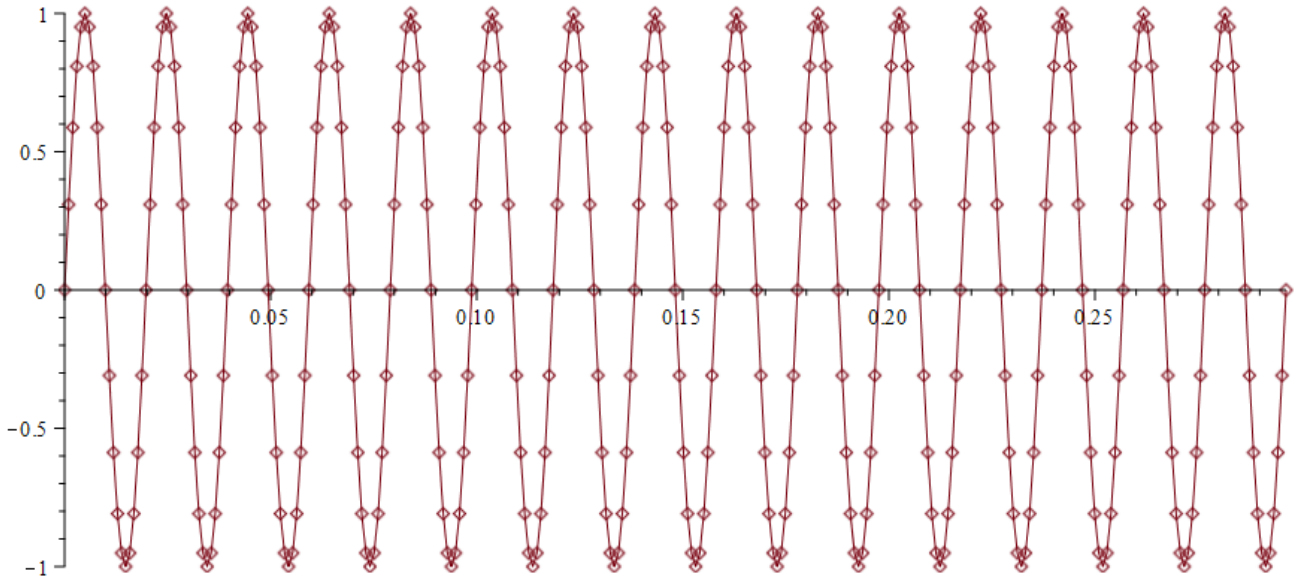


Рисунок 1 – входной дискретный гармонический сигнал

В результате дискретизации входного гармонического колебания при любой частоте w формировался массив дискретных отсчетов, число которых равно 301.

На рисунке 2 точками отмечены значения гармонического колебания, из которых формировался массив $M_{вх}$ отсчетов входного дискретного сигнала. Массив отсчетов на выходе цифрового фильтра $M_{вых}$ вычислялся на основе разностного уравнения (5).

Для исследования амплитудно-частотной характеристики цифрового фильтра на его вход подавался массив $M_{вх}$, который формировался для соответствующей частоты *w* входного гармонического сигнала. Для аналогового низкочастотного фильтра с параметрами $R = 100$ Ом и $C = 100$ мкФ частота среза, определяемая на уровне 0.707 от U_m равна 100 рад/с. Для исследования АЧХ в диапазоне частот от 0 до 100 рад/с значения частот выбирались с шагом 10 рад/с. В дальнейшем от 100 до 1000 рад/с частоты выбирались с шагом 100 рад/с. На рисунке 2 показано дискретное гармоническое входное воздействие и реакция цифрового фильтра на частоте среза 100 рад/с.

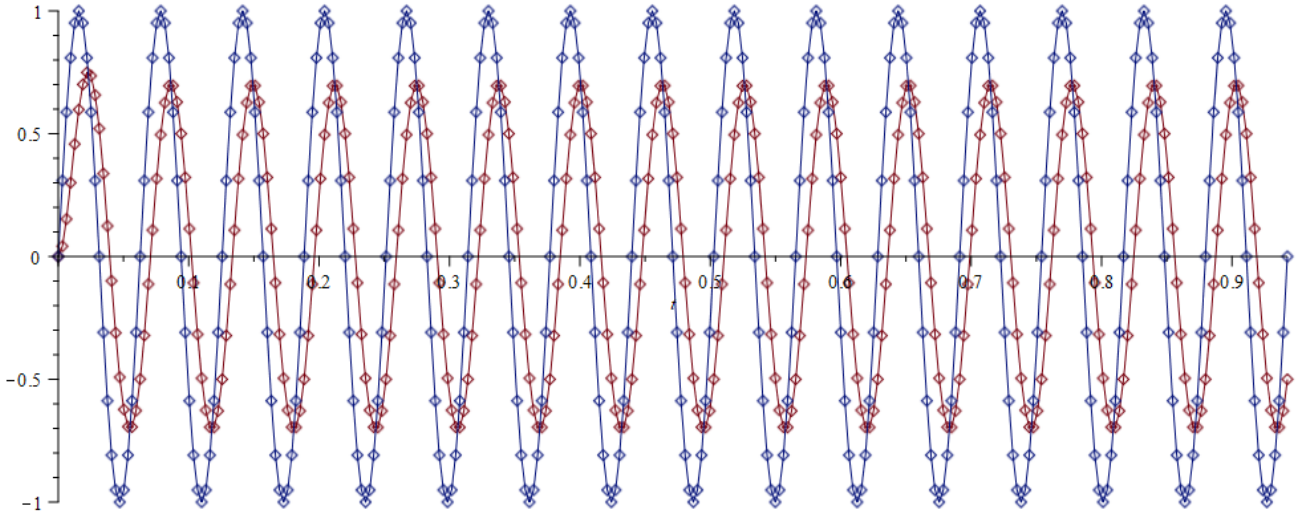


Рисунок 2 – дискретный гармонический сигнал на входе и выходе цифрового фильтра

В таблице 1 приведены вычисленные значения АЧХ аналогового фильтра $K_A(\hat{w})$ и цифрового фильтра $K_ц(\hat{w})$.

w	$K_A(\hat{w})$	$K_ц(\hat{w})$
10	0,995	0,989
20	0,980	0,974
30	0,957	0,957
40	0,929	0,925
50	0,894	0,882
60	0,857	0,853
70	0,819	0,817
80	0,781	0,777

90	0,743	0,736
100	0,707	0,696
200	0,447	0,443
300	0,316	0,328
400	0,243	0,264
500	0,196	0,224
600	0,164	0,196
700	0,142	0,176
800	0,124	0,159
900	0,111	0,147
1000	0,0995	0,1365

Таблица 1 – значения амплитудно-частотных характеристик аналогового и цифрового фильтров

Значение АЧХ для аналогового фильтра рассчитывались по следующей формуле:

$$K_A(w) = 100\sqrt{\frac{1}{w^2 + 10000}}.$$

Значение АЧХ для цифрового фильтра рассчитывались по следующей формуле:

$$K_ц(w) = \frac{\max(M_{вых})}{\max(M_{вх})}.$$

В нашем случае при $U_m = 1$ максимальное значение входного массива равно 1, т. е. $\max(M_{вх}) = 1$.

В результате проведенных теоретических исследований можно сделать вывод о том, что АЧХ низкочастотного цифрового фильтра, построенного на основе билинейного z-преобразования, практически совпадает с АЧХ аналогового прототипа. Построенная модель цифрового фильтра на основе разностного уравнения (5) может быть реализована в виде программного модуля на цифровом вычислительном устройстве.

Литература

1. Антонью А. Цифровые фильтры: анализ и проектирование: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1983. – 320с., ил.

2. Быков В. В. Цифровое моделирование в статической радиотехнике. – М.: Сов. радио, 1971. – 328 с.

3. Основы цифровой обработки сигналов: учебное пособие / Ю.А. Брюханов, А.Л. Приоров, В.И. Джиган, В.В. Хрящев; Яросл. Гос. Ун-т П.Г. Демидова. – Ярославль.: ЯрГу, 2013. – 344с.

4. Смит Д. М. Математическое и цифровое моделирование для инженеров и исследователей. – М.: Машиностроение, 1980. – 271 с.

К.А. Логинов, студ.; рук. А.Н. Конаков, доцент,доцент;
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

ПОВЕРХНОСТНО-ИЗЛУЧАЮЩИЕ ИНЖЕКЦИОННЫЕ МИКРОЛАЗЕРЫ

В статье представлено описание поверхностно-излучающие инжекционные микролазеры.
Ключевые слова: квантовые точки, инерционность, зеркала резонатора , двойная гетероструктура.

Особенности электронного спектра квантоворазмерных гетероструктур и возможность получения больших значений показателя усиления α_ω позволяют реализовать лазеры, активная область которых составляет всего несколько микрон. Весьма привлекательно создать инжекционный лазер, излучающий не с торца *p-n* перехода, а с его поверхности аналогично полупроводниковому лазеру с продольной электронной накачкой. Для его реализации прежде всего необходима среда с очень большим показателем усиления α_ω так, чтобы $\alpha_\omega > 1/d$, где d —толщина активной области Максимальная длина активной области в такой геометрии ограничена диффузионной длиной неосновных носителей заряда в активной области и составляет единицы мкм. Зеркала резонатора должны быть нанесены на излучающие поверхности, через которые пропускается электрический ток. Оптические потери при этом должны быть минимальны. Современная полупроводниковая технология позволяет создавать такие структуры в едином технологическом цикле. На рисунке 1 приведен пример реализации такого лазера, активная область которого содержит вертикально-связанные квантовые точки на основе узкозонного InGaAs в матрице GaAs или $Ga_{1-x}Al_xAs$ эпитаксиального слоя.

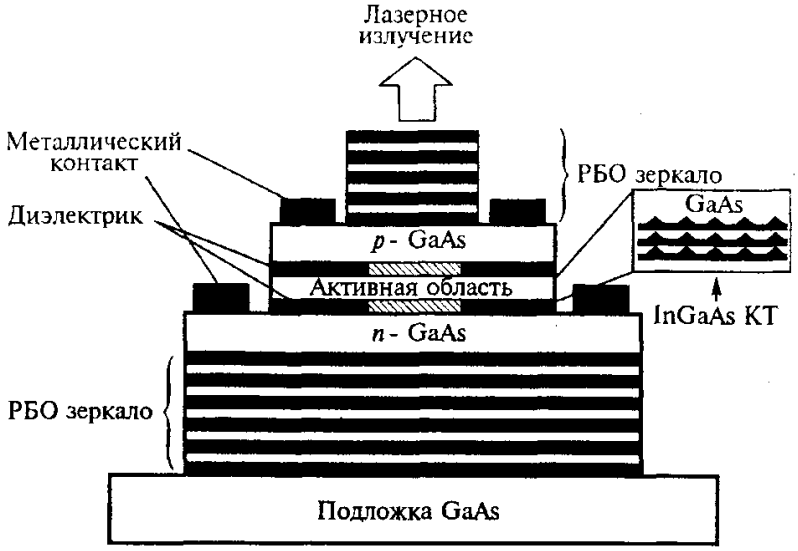


Рис. 1. Поверхностно-излучающий инжекционный микролазер с активной областью, содержащей вертикально-связанные квантовые точки

Квантовые точки за счет стягивания плотности состояний к уровням размерного квантования обеспечивают исключительно большую силу осциллятора для резонансных оптических переходов и как следствие — большую величину показателя поглощения k_ω а при реализации условий инверсии — показателя

усиления α_ω. Зеркала резонатора выполнены в виде чередующихся четвертьволновых слоев с разными показателями преломления так, чтобы их оптическая толщина удовлетворяла условию: $n_1d_1=n_2d_2=\lambda/4$. Такие многослойные структуры работают как интерференционные зеркала. Они называются распределенными брэгговскими отражателями (РБО) и создаются в процессе эпитаксии, например слоев GaAs — $Ga_{1-x}Al_xAs$. Величина коэффициента отражения R задается числом слоев и для нижнего «глухого» зеркала $R = 1$. При необходимости эти же зеркала могут выполнять функцию электрических контактов.

Существуют два принципиально важных обстоятельства, которые необходимо учитывать при создании рассматриваемых лазерных структур.

1. В поверхностно-излучающих лазерах максимальное усиление должно быть обеспечено в направлении, перпендикулярном *p-n* переходу, а в плоскости *p-n* перехода оно должно быть подавлено не только в направлении *x,* как в полосковом лазере, но и в направлении *y.* С этой целью площадь рабочей области ограничивается, например, с помощью тонких диэлектрических (или высокоомных полупроводниковых) слоев. Электрический ток проходит только через отверстие в диэлектрической маске. Его размеры в поперечнике составляют несколько мкм. Поскольку эффективный показатель усиления активной среды должен превышать 1000 $см^{-1}$, то в активной области используется двойная гетероструктура, содержащая набор квантовых ям, квантовых нитей или квантовых точек. Применение квантовых нитей может обеспечить преимущественное усиление в направлении их осей, а особености в функции плотности состояний — большой показатель усиления в узком спектральном интервале. Однако их технология получения пока что не обеспечивает требуемых параметров и потому активная область микролазеров, как правило, содержит или набор квантовых ям или квантовые точки, которые с помощью специальной технологии, использующей эффекты самоорганизации, «складируются» друг на друга, образуя вертикально-связанные КТ, например InGaAs в зпитаксиальном слое GaAs.

2. Длина резонатора в рассматриваемых лазерах составляет несколько длин волн. Расстояние между собственными типами колебаний велико, а спектр усиления — узкий. С одной стороны, это облегчает работу лазера в одночастотном режиме, обеспечивая тем самым высокое качество излучения. С другой стороны, это накладывает жесткие требования к согласованию размеров резонатора с параметрами активной среды (рабочей длиной волны и максимумом коэффициента усиления).

Поверхностно-излучающие полупроводниковые лазеры создаются с использованием современной групповой полупроводниковой технологии в едином технологическом цикле. На одной подложке могут быть выращены структуры, содержащие сотни тысяч активных элементов. Каждый из этих элементов может работать или отдельно, независимо, или в комплексе с другими элементами, обеспечивая работу всей матрицы в целом. Рабочий ток отдельного микролазера не превышает единиц мА при пороговом токе десятые и сотые доли мА. При необходимости такой микролазер удобно стыкуется с оптическим волокном с минимальными потерями излучения.

Обладая малой инерционностью и высоким качеством излучения, поверхностно-излучающие микролазеры используются в системах передачи и обработки оптических сигналов со скоростью до 100 Гбит/с.

Так же разработана программа позволяющая изменять исходные параметры позволяющие получать полупроводниковые лазеры требуемых размеров и соответственно требуемой мощности, с требуемой угловой расходимостью.

Расчет выполненный собственноручно с помощью ЭВМ представлено ниже:

Исходные данные

Таблица 1.

Показатель преломления GaAs, n	3,6
Длина волны лазерного излучения, λ, мкм	0,85
Ширина полосы пропускания спонтанного излучения, $\Delta\nu$, Гц	$1{,}5\cdot10^{13}$
Коэффициент потерь внутри резонатора, η, м$^{-1}$	$5\cdot10^{3}$
Квантовая эффективность, g	0,7
Толщина активной области, d, мкм	5
Коэффициент отражения торцов, R	0,3
Ширина активной зоны (ширина кристалла), W, мкм	250
Пороговое значение плотности инжекционного тока, $J_{пор}$, А/см^2	5000
Рабочее значение плотности инжекционного тока, $J_{пор}$, А/см^2	10000
Мощность оптического сигнала на выходе световода, $P_{вых}$, мВт	100
Коэффициент потерь мощности в световоде, α, дБ/км	0,3

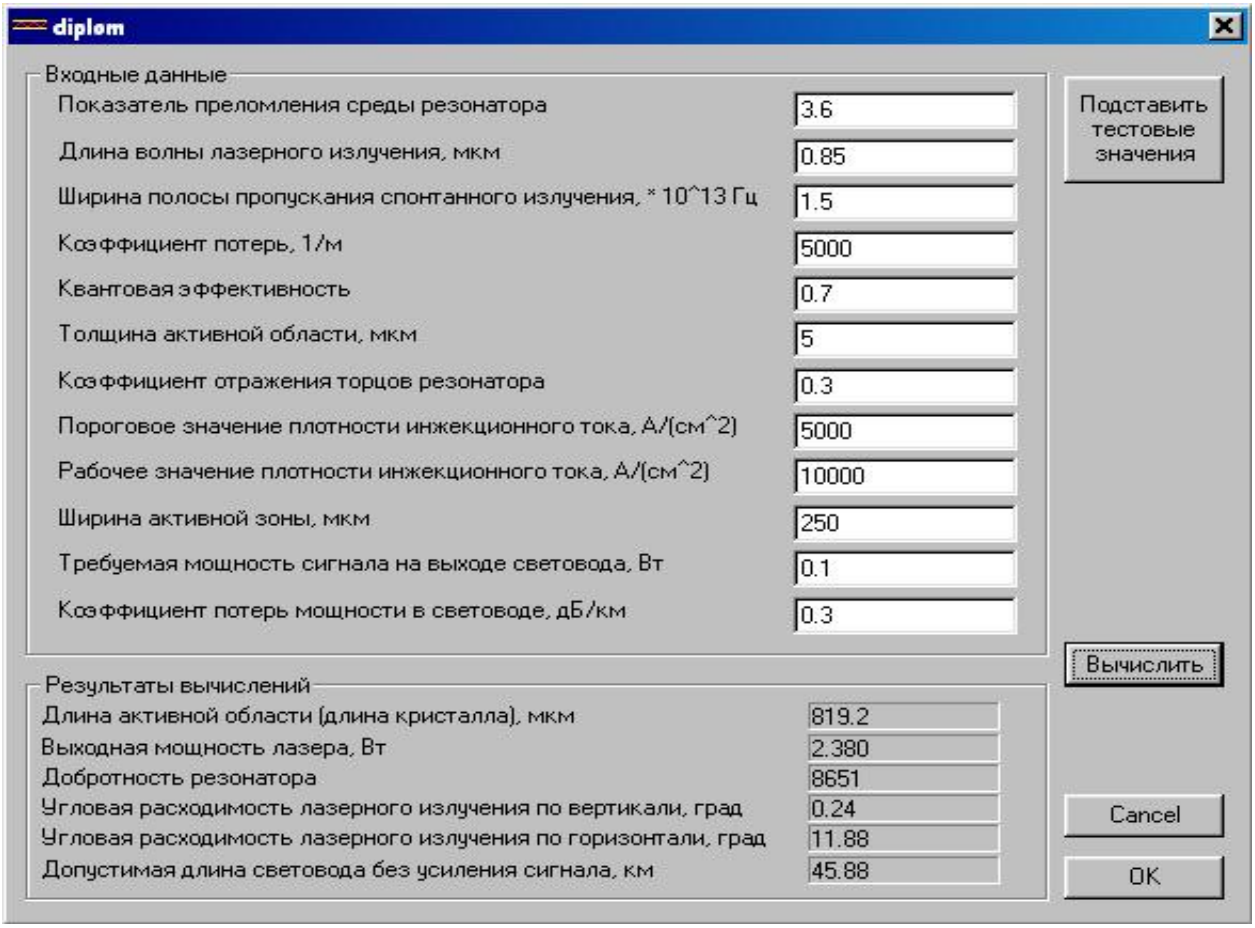


Рис.2. Внешний вид окна программы.

Литература

1. Борейшо А.С. Лазеры. Устройство и действие. Санкт-Петербург: Механический институт, 1992.
2. Айрапетян В.С., Ушаков О.К. Физика лазеров: учебное пособие. Новосибирск: СГГА, 2012.

М.С. Ляпин, студент, С.И. Зиенко, д.т.н., профессор
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ПОДПАЛУБНЫХ АВАРИЙНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

Работа посвящена вопросам построения подпалубных аварийных светильников.

В случае возникновения внештатных ситуаций, вызванных авариями, пожарами и прочими происшествиями, существует вероятность отключения основного освещения. Это значительно затрудняет передвижение персонала в сторону эвакуационных выходов. Во избежание беспрепятственного и безопасного передвижения в тесных коридорах предусматривается аварийное резервное освещение.

Аварийное освещение – это резервное освещение, которое используется при отказе основного светотехнического оборудования, которым оснащено судно.

Освещение безопасности – должно быть активировано при отключении основного света в производственных цехах и прочих помещениях, где отсутствие света может привести к аварии, пожару и прочим ЧП. При таком свете весь рабочий персонал должен быть в состоянии продолжать выполнять свою работу без отрыва от производственного процесса.

Эвакуационное освещение – обеспечивает видимость на путях эвакуации персонала в случае возникновения пожара, аварии или стихийного бедствия, когда ЧП привело к отключению основного источника питания.

Аварийные источники на грузовых судах должны обеспечивать питание аварийного освещения всех коридоров, трапов и выходов из служебных помещений. А также в кабинах пассажирских лифтов и их шахтах, машинных отделениях, помещений генераторных агрегатов, всех постов управления, а также главного и аварийного распределительных щитов, помещений аварийного дизель-генератора, рулевой рубки, штурманской рубки и радиорубки, мест хранения аварийного имущества, пожарного инвентаря, снаряжения пожарных и установки ручных пожарных извещателей, помещения рулевого привода, у пожарного и спринклерного насосов, аварийного осушительного насоса и мест установки пусковых устройств этих механизмов, помещений грузовых насосов, ангаров и посадочных мест для вертолетов, помещения гирокомпаса, медицинских помещений.

Светильник аварийного освещения, далее светильник, устанавливают в подпалубных и других закрытых помещениях. Он предназначен для обеспече-

ния необходимой освещенности при работающей и отключенной питающей сети.

Светильник подключается к сети основного освещения. При этом происходит постоянный подзаряд батарей. При отключении внешнего питания, питание светодиодных модулей осуществляется от аккумуляторов. При этом светильник переключается в аварийный режим и снижает световой поток до 50% от нормируемого значения. Емкости батарей достаточно для непрерывной работы светодиодных модулей не менее 1 часа.

Светильник рассчитан для эксплуатации в условиях макроклиматических районов, как с умеренно-холодным, так и тропическим морским климатом, в том числе для судов пограничного района плавания, в условиях воздействия факторов группы 2.1.2 ГОСТ РВ 20.39.304-98: со следующими ограничениями: рабочая температура окружающей среды от 5 до 50°С, предельная температура окружающей среды от минус 5 до плюс 70°С, кроме воздействия плесневых грибов и агрессивных сред.

Основные параметры и характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные параметры и характеристики

Название параметра	Норма
1 Напряжение питания, В	$220\ ^{+10}/_{-15}$ %
2 Частота напряжения питания, Гц	50±1
3 Максимальная потребляемая мощность, В·А, не более	50
4 Световой поток, не менее, лм	2300
5 Световой поток при работе от аккумуляторов, не менее, лм	1200
6 Время работы от аккумулятора, не менее, ч	1
Примечание – Значения световых параметров даны при номинальных режимах питания светильника.	

Так как светильник нацелен на работу судов специального назначения, все модули, входящие в его состав должны быть приняты специальным ведомством.

В связи с основной задачей светильника, которой является именно работа от аккумуляторной батареи (АКБ) целесообразно задаться вопросом о комплектующих прибора. Основными комплектующими прибора является непосредственно сам аккумулятор, источник света и микро-ЭВМ.

Обзор начнем с микро-ЭВМ. Питающее напряжение поступает на импульсный AC/DC преобразователь 220/24 откуда используется для заряда АКБ. Для стабилизации плавающего напряжения АКБ применяется стабилизатор 24/24, с которого осуществляется питание светоизлучающих диодов и управляющей электроники.

Контроль над работой изделия осуществляет микро-ЭВМ, которая проводит измерения напряжения АКБ, контроль наличия сетевого напряжения, контроль наличия зарядного тока, контроль тока светооптического блока, а так же измерение температуры АКБ.

При наличии сетевого питания и низкого заряда АКБ микро-ЭВМ проводит включение зарядного устройства. При повышении напряжения АКБ до но-

минала зарядное устройство отключается. В процессе заряда микро-ЭВМ контролирует ток заряда и температуру корпуса АКБ и в случае возникновения критического тока либо температуры происходит немедленное отключение АКБ.

При наличии сетевого напряжения микро-ЭВМ так же активирует токовый драйвер на полную мощность для питания светооптического блока. При пропадании сетевого питания происходит автоматический переход на резервный источник (АКБ) с уменьшением выходной мощности токового драйвера.

При отсутствии сетевого напряжения и падении уровня заряда АКБ близко к критическому уровню, микро-ЭВМ произведет автоматическое выключение всех систем.

Повторный запуск электронного блока управления производится подачей питающего напряжения на вход изделия.

Что касается самого аккумулятор, можно сказать о том, что с недавнего времени наиболее распространенным способом накопления электрической энергии являлось применение свинцово-кислотных аккумуляторных батарей. Они, например, широко используются в системах бесперебойного электроснабжения малой мощности, но абсолютно непригодны для перекачки больших потоков энергии в ежедневном режиме. С развитием технологий на рынке появились литий ионные (ЛИА) АКБ.

Высокая реактивность и способность лития интеркалировать (проникать) в кристаллическую решетку другого материала позволяет сохранить в атомных связях большое количество энергии, поэтому служит идеальным накопителем.

В виду малой емкости аккумуляторов, используемых в светильниках аварийного освещения, наилучшим вариантом использования являются приборы со светодиодным источником света – LED. Основные преимущества использования светодиодов – это низкое энергопотребление и за счет этого происходит увеличение времени автономной работы нашего прибора, так же долгий срок службы и высокая надежность. Кроме этого, использование светодиодов позволило производителям больше не учитывать габариты ламп и спроектировать очень компактные изделия с современным дизайном.

Таким образом, для построения светильника аварийного освещения требуются комплектующие обладающие специальными свойствами, которые находят ограниченные применения в ограниченном производстве промышленности.

Литература:

1. Ю.Г. Басов. Светосигнальные устройства.– М.: Транспорт.1993.– 309с.

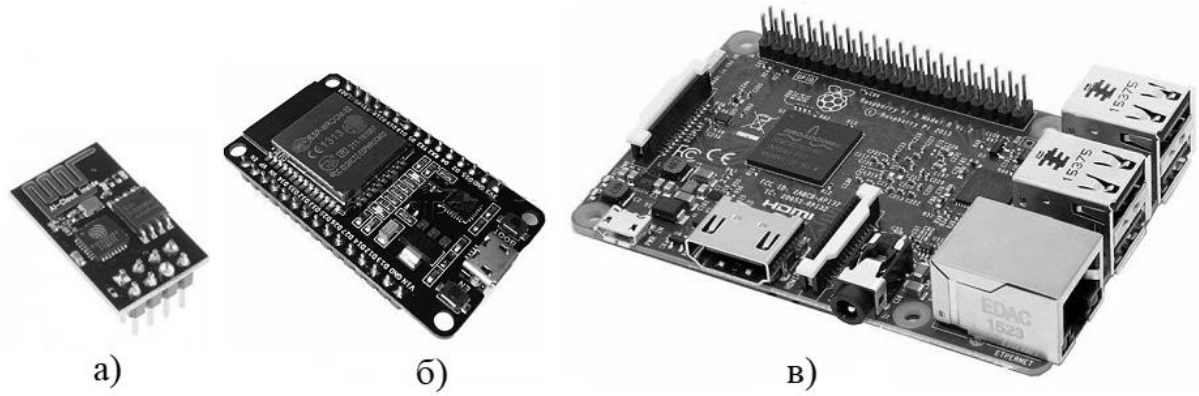
Д.Д. Мартынов, студ.; рук. С.А. Образцов, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ НА ОСНОВЕ СЕТИ *WI-FI*

Интернет повсеместно проник в повседневную жизнь человека. С его развитием появились идеи умных домов и предприятий, управление которыми производилось бы через интернет с сайта или приложения в смартфоне. В основе этих идей лежит принцип взаимодействия устройств с человеком и между собой с помощью различных сетевых протоколов передачи данных. Основным компонентом каждого устройства, управляемого через интернет, является микроконтроллер, который обрабатывает всю информацию, поступающую из периферии, и на её основе выполняет команды, запрограммированные в его память, в связи с этим, многие производители стали разрабатывать микроконтроллеры с возможностью подключения его к интернету. Все модули имеют свои ограничения, один и тот же проект возможно с легкостью реализовать на одном модуле, но на другом его реализация окажется невозможной. Целью данной работы является анализ современной электронной компонентной базы для построения устройств Интернета вещей.

Существует большое количество модулей разной степени функциональности, одним из простейших модулей является *ESP-01* (рис. 1а), данный модуль основан на одном из самых популярных микроконтроллеров имеющих *Wi-Fi* интерфейс *ESP8266*. Одной из важнейших особенностей этого микроконтроллера является то, что он способен выполнять программы из внешней flash-памяти. Основными достоинствами *ESP8266* является: дешевизна, универсальность, большое количество справочных материалов, а также простота интеграции в более сложные устройства. Данный микроконтроллер имеет последовательный *UART* интерфейс, через который он программируется. Из недостатков можно выделить: малую скорость работы, основная тактовая частота микроконтроллера 80 *МГц*, малое количество памяти, как оперативной, так и *flash*-памяти, первые версии *ESP8266* выпускались с 512 *Кбайт flash*-памяти, но из-за увеличения объёма библиотек, память расширили до 16 *Мбайт*. Модуль *ESP-01* выполнен на плате с 8 выводами, из которых 4 являются *GPIO* портами, 2 вывода выделены под питание и 2 вывода являются *UART* интерфейсом, для программирования модуля. Из-за малого количества выводов *ESP-01* подходит только для реализации простых устройств, таких как: Термометр, передающий показания через интернет или лампочка, которая включается или выключается по нажатию кнопки в смартфоне. Управление модулем *ESP-01* происходит с помощью *AT*-команд, для этого модуль нужно подключить к компьютеру через *USB-UART* переходник. Для создания устройств, на основе этого модуля нужно написать программу и прошить его, для этого подойдёт *Arduino IDE*.

Из-за маленького числа *GPIO* портов реализации сложных устройств на основе *ESP-01* невозможна, а на других модулях основанных на *ESP8266* затруднительна. Производитель *ESP8266* создал новую модель микроконтроллера *ESP32*, который используется в модуле *ESP-WROOM-32* (рис. 1б), данный микроконтроллер лучше своего предшественника по всем характеристикам. *ESP32* работает на частоте 160 *МГц*, имеет 448 *Кбайт* оперативной памяти и от 1 до 64 *Мбайт flash*-памяти. Но основной характеристикой, из-за которой данный микроконтроллер подходит для построения сложных устройств, является наличие 36 *GPIO* портов. Встроенный *Bluetooth* модуль открывает возможности для создания шлюзов или совместного управления устройствами, использующими *Wi-Fi* и *Bluetooth* сети. С помощью модулей на основе *ESP32* можно реализовать от бегущей строки, до устройства мониторинга состояния комнаты, которое требует большого количества периферии. Модуль программируется через встроенный *UART* интерфейс, поэтому для начала работы достаточно подключить его к компьютеру. Микроконтроллер поддерживает несколько языков программирования, таких как *Arduino C, Lua, MicroPython и Espruino*, что позволяет выбрать удобную среду разработки.



а) б) в)

Рисунок 6 – Рассматриваемая элементная база

Для реализации устройств, требующих больших вычислительных мощностей целесообразно использовать одноплатную микроЭВМ Raspberry Pi, некоторые модели, имеющие *Wi-Fi* модуль, такие как: *3A+, 3B* и *3B+* снабжены 4-ядерными процессорами с тактовой частотой от 1.2 до 1.4 *ГГц*. Наличие 40 *GPIO* портов позволяет подключить различные периферийные устройства. Одной из лучших моделей для проектирования устройства интернета вещей является *Raspberry Pi 3B+* (рис. 1в), данная модель имеет *Wi-Fi* модуль, работающий по стандарту *802.11ac*, что позволят передавать данные со скоростью от 433 *Мбит/с* до 6.77 *Гбит/с*, а так же *Bluetooth* модуль. Вместе модули так же, как и в *ESP32* позволяют использовать устройство как шлюз или взаимодействовать с другими устройствами использующими *Wi-Fi* или *Bluetooth*. Устройство имеет 1 *Гбайт* оперативной памяти и поддержку *Micro-SD* карт памяти для загрузки операционной системы и хранения файлов. *Raspberry Pi* способен выполнять функции как микро-компьютера, так и микроконтроллера. На его основе можно создавать устройства различной сложности, от устройств управляющих одним датчиком до серверов и вычислительных систем. Вычислительная мощность и

большое количество портов дают возможность для реализации таких сложных устройств как устройство распознавания лиц.

В таблице 1 представлен основные параметры и результат сопоставления преимуществ и недостатков рассматриваемых модулей.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки рассматриваемой элементной базы

Модуль	Преимущества	Недостатки
ESP-01	Низкая цена Компактность платы Количество *FLASH* от 1 до 16 *МБайт*	Помехи на частоте 2.4 *ГГц* Малая тактовая частота 80 *МГц* Малое количество *GPIO* портов Количество *ROM* 50 *Кбайт*
ESP32	Количество *GPIO* портов Частота 160 МГц Количество *ROM* 448 *Кбайт* Количество *FLASH* от 1 до 64 *Мбайт* Наличие *Bluetooth* модуля	Помехи на частоте 2.4 *ГГц* Большой размер отладочной платы
Raspberry Pi 3B+	Количество *GPIO* портов Частота 1.4 *ГГц* Количество *ROM* 1 Гб Возможность подключения *Micro-SD* карт памяти	Высокая цена Помехи на частоте 2.4 *ГГц* Большой размер платы

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать вывод, что при выборе модуля для реализации устройств Интернета вещей нужно обращать внимание на сложность разрабатываемого устройства и возможности модуля, на основе которого будет реализован проект. Например, модули, основанные на популярных микроконтроллерах *ESP8266* и *ESP32*, позволяют создавать устройства для «Умного дома», а *Raspberry Pi* подойдёт для создания охранных систем в промышленных масштабах.

Литература

1. Шварц М. Интернет вещей с ESP8266. - М. СПб.: БХВ-Петербург, 2018. - 192 с.
2. Espressif IOT Demo Smart Light/Plug/Sensor Version 1.0.1 [Электронный ресурс] Espressif Systems, URL: https://esp8266.ru/download/esp8266-doc/april-2015/2B-ESP8266__SDK__IOT_Demo_EN_v0.5.pdf (дата обращения 01.03.2019)

К.С. Маслова, студ., К.А. Красовская, студ.;
рук. М.В. Беляков, к.т.н, доц., М.Г. Куликова, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СПИРТОВЫХ НАСТОЕВ КЕДРОВЫХ ОРЕХОВ

Исследованы спектральные характеристики возбуждения фотолюминесценции спиртовых настоев кедровых орехов, полученных с применением СВЧ-излучения.

Ключевые слова: *кедровые орехи, спектрофотометр, настои, спектрофлуориметр, люминесценция, продукт, экстракция*

Основу большинства важнейших производств в пищевой, медицинской, химической, микробиологической, косметической, нефтехимической промышленности составляют процессы экстракции. Из анализа технологической схемы производства настоек видно, что основным технологическим процессом, влияющим на качество готового продукта, является процесс экстракции. В связи с увеличением темпов производства и требований к получаемым продуктам необходимо изучать процессы экстракции с помощью современных подходов.

Для эксперимента были приготовлены три образца спиртовых настоев кедрового ореха. Соотношение орехов и водно-спиртовой жидкости использовалось 1:20 соответственно, согласно ТУ ликероводочного завода, изготавливающего данную продукцию. Концентрация водно-спиртовой жидкости – 50%. Настоя готовились в стеклянных конических колбах с плотной пробкой. Колбы хранились в темном прохладном месте.

В качестве образцов принимаем следующие настои: образец 1 – без применения СВЧ-излучения; образец 2 – СВЧ-излучение в течение 1 минуты; образец 3 – СВЧ-излучение в течение 3 минут.

Все образцы готовились и исследовались одновременно, при одинаковых условиях. Качество полученных настоев проверяли спектральными методами исследования.

Последовательность проведения эксперимента:

1. Подготовка водно-спиртовой жидкости и орехов.
2. Приготовление образцов настоев.
3. Измерение спектральных характеристик настоев через определенные интервалы времени в течение 30 суток.
4. Обработка полученных результатов.

Исследование проводилось на спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама» Графики, полученные в результате измерений, позволяют сравнивать спектры люминесценции и возбуждения различных растворов. По полученным спектрам можно предположить какое вещество люминесцируют, определить количество таких веществ [1-4].

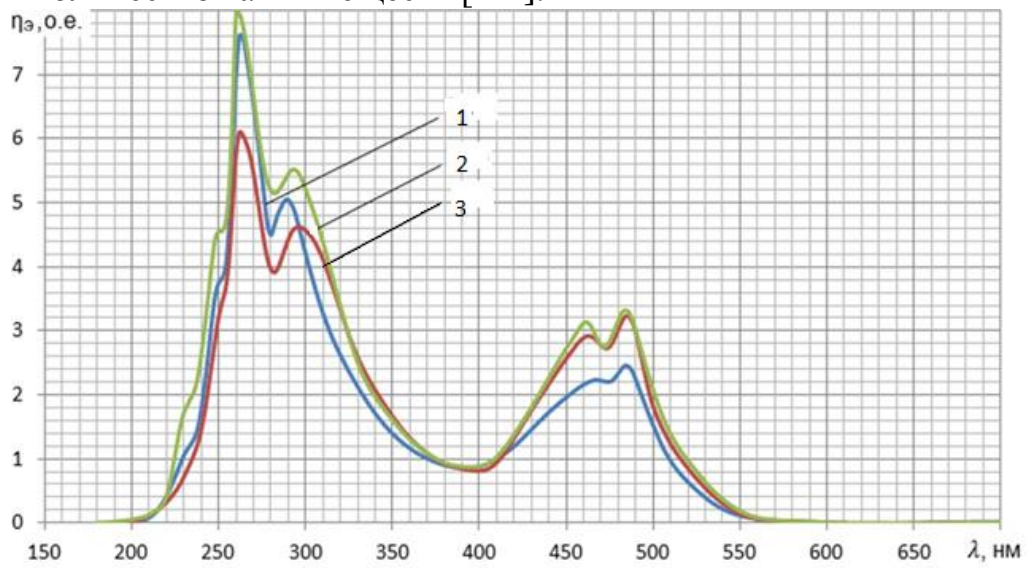


Рисунок 1 – Спектры возбуждения при синхронном сканировании (1день)

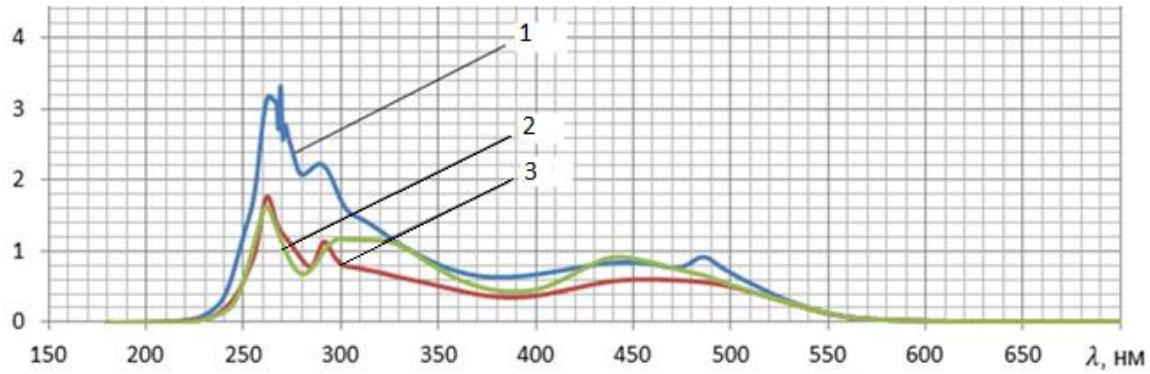


Рисунок 2 – Спектры возбуждения при синхронном сканировании (14день)

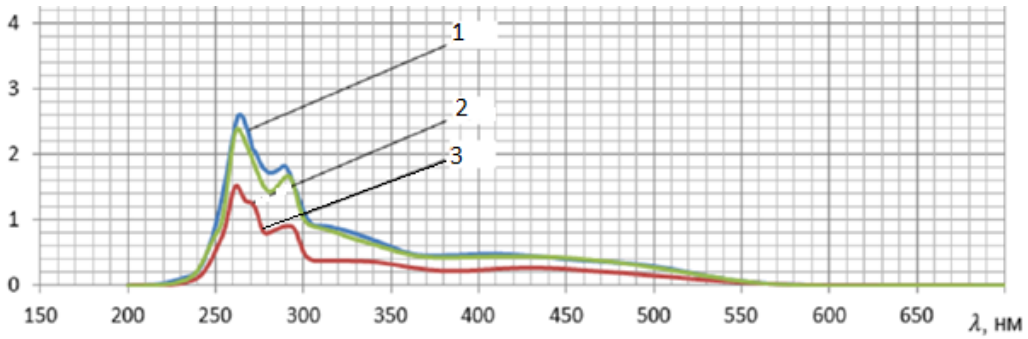


Рисунок 3 – Спектры возбуждения при синхронном сканировании (30 день)

Проанализировав графики можно сделать вывод, что с течением временем вещества взаимодействуют все больше. Данный максимум имеет более пологую форму, что говорит о плохой способности люминесцировать темные вещества. Данный факт подтверждается низким показателем потока возбуждающего излучения, поглощенного веществом. Из графиков видно, что образец 3 становится достаточно стабильным на 14 сутки настаивания. Далее его спектральные характеристики меняются незначительно. Значит, используя СВЧ-обработку в процессе настаивания можно сократить время процесса до 14 суток, вместо 30 суток, установленных по ТУ.

Литература

1. Егоров А. Н., Сидорова А. И. Определение оптимальной концентрации спирта с помощью спектральных характеристик в технологиях производства настоев // Интеллектуальные информационные технологии, энергетика и экономика. Сборник трудов XIV Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. В 3-х томах. 2017 с. 157-160.

2. Лопачев Е. А., Ермолаева Т. А., Беляков М. В. Исследование природного лигнина настоев ореха кедра // Пиво и напитки, 2017, №4, с. 48-51.

3. Самарин М. Д., Куликова М. Г., Беляков М. В. Применение оптических методов в технологиях пищевых производств // COLLOQUIUM-JOURNAL, 2017 , №6-1(6) , с. 55-58.

4. Беляков М. В., Куликова М. Г., Новикова М. А. Определение оптических спектральных свойств как метод оценки качества растительной продукции // Энергетика, информатика, инновации – 2016: Сб. трудов VI Межд. науч.-техн. конф. - Смоленск: Универсум, 2016. –т. 2, С.107-112.

Е.В. Матыченков, студ.; рук. Д.С. Рассказа, асс.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА КОНТЕЙНЕРА-ДОЗАТОРА ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

Соблюдение доз и сроков приема лекарств в соответствии с курсом, назначенным врачом, часто имеют решающее значение для получения благоприятного результата лечения. Исследования показывают, что нарушения графика и дозировки приема лекарств способствуют преждевременной смерти почти 200000 европейцев ежегодно. В России по статистике 37% людей, которым выписывают лекарства, не соблюдают режим их приема.

Особенно подвержены риску люди с ограниченными возможностями, в частности с заболеваниями мозга, называемыми “старческими” (болезнь Альцгеймера, рассеянный склероз, болезнь Паркинсона).

Разработка контейнера-дозатора лекарственных средств является актуальной задачей в настоящее время.

Основные задачи, выполняемые разрабатываемым устройством — сортировка таблеток и их выдача в соответствие с рецептом и курсом лечения, прописанными врачом. Таким образом, исключается прямой контакт больного с медицинскими препаратами, что предотвращает возможность передозировки лекарственными веществами. Также предусмотрено звуковое и визуальное оповещение о времени приема лекарства.

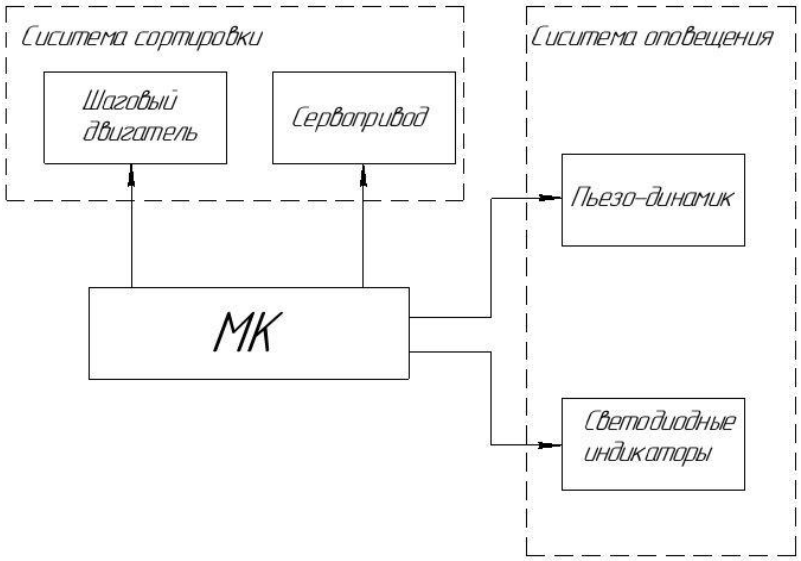


Рисунок 7 — Структурная схема разрабатываемого устройства

Узел сортировки представляет из себя вращающуюся платформу с отсеками для таблеток (рисунок 2). В каждый отсек помещается единственный вид таблеток, в микроконтроллер заносится информация о соответствие каждого отсека виду лекарственного препарата.

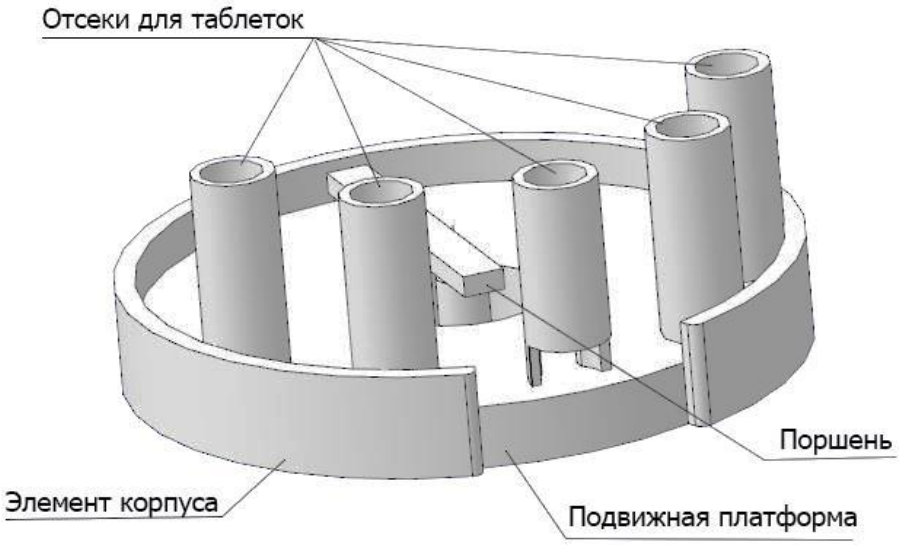


Рисунок 8 — Модель прототипа системы сортировки

Вращение платформы осуществляется с помощью сервопривода таким образом, что напротив поршня оказывается один из отсеков, происходит выталкивание необходимого количества таблеток. Действие повторяется для следующих отсеков, пока не получится набор таблеток, соответствующий рецепту, занесенному в память микроконтроллера. Планируется использовать сервопривод *Tower Pro MG995* (рисунок 3), угол поворота которого лежит в диапазоне от 0 до 180 градусов и имеет момент 9,4 кг/см.

Рисунок 9 — Сервопривод *Tower Pro MG995*

Поршень реализуется с помощью шагового двигателя *28byj-48* (рисунок 4).

Управление поршнем планируется осуществлять при помощи шагового винта. Плюсами данного решения является высокая точность контроля положения поршня, простота реализации и надежность.

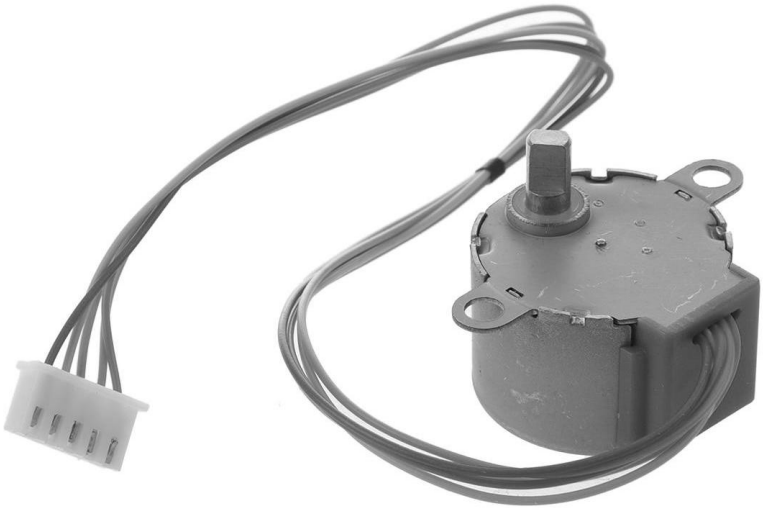


Рисунок 10 — Шаговый двигатель *28byj-48*

Звуковое оповещение пользователя о приеме лекарственных средств планируется осуществлять с помощью звукового пьезо-излучателя *HPA17A* (рисунок 5).

Рисунок 5 — Пьезо-излучатель звука *HPA17A*

В статье представлена концепция, способы реализации основных функций устройства, выбрана компонентная база для проектирования. В настоящее время в соответствие с представленной концепцией ведется дальнейшая разработка устройства: написание программного кода, составление функциональной и принципиальной схем.

Литература:

1. Сервопривод *Tower Pro MG995* [Электронный ресурс], -Режим доступа: http://www.servodatabase.com/servo/towerpro/mg9953 свободный (дата обращения: 24.02.2019).

2. Шаговый двигатель *28BYJ-48-5V* [Электронный ресурс], -Режим доступа: http://www.zi-zi.ru/docs/modules/info_28BYJ-48-5V_ULN2003.pdf свободный (дата обращения: 27.02.2019).

С.О. Митичкин, студ.; С.А. Образцов, к.т.н., доцент
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ ПРОПУСКА ЗВЕНЬЕВ В ЦЕПОЧКЕ ЖАЛЮЗИ

На сегодняшней день повсеместно используются жалюзи, управление которыми осуществляется с помощью специальной цепочки, звенья которой могут иметь самую разнообразную форму, но состоящие, как правило, из пластмассы высокой степени очистки.

Процесс изготовления цепочки, на сегодняшний день, почти полностью автоматизирован, и разбить данный процесс можно на несколько этапов:

- разматывание нитки, на которую будут запрессовываться звенья цепочки;
- плотное смыкание пресс-формы;
- литьё материала под давлением в формующие полости;
- размыкание пресс-формы;
- вытягивание цепочки из пресс-формы;
- намотка цепочки на катушки.

Из всех выше перечисленных этапов, при правильном подходе, наибольшие трудности возникают на этапе литья материала под давлением в формующие полости, так как данный процесс зависит от множества факторов, таких как:

- примеси, входящие в материал;
- давлением, с которым льётся материал;
- время, отводимое на охлаждение материала.

Все выше перечисленные параметры не постоянны и могут изменяться со временем, что может привести к тому, что в одну из формующих полостей может не залиться материал, а это соответственно приведёт к пропуску звена в цепочке жалюзи.

Обеспечить идеальные условия изготовления цепочки не представляется возможным, поэтому требуется применять меры для выявления и устранения пропусков звеньев.

Для понимания работы алгоритма необходимо подробней описать один из этапов изготовления цепочки, а именно этап вытягивания цепочки из пресс-формы.

Есть множество способов вытянуть цепочку из пресс-формы. Для реализации описываемого алгоритма требуется использовать такой способ, который обеспечил бы непрерывную обратную связь по положению. Иначе говоря, необходимо получать с определённой, достаточно высокой, частотой, данные, позволяющие определить приращение в расстоянии между соседними передачами. Минимальная частота, с которой должны посылаться данные о положении, определяется скоростью, с которой вытягивается цепь, а также геометрическими параметрами звена и расстоянием между звеньями. Конечная формула

расчёта минимальной частоты будет различной, в зависимости от формы звена, в данной же статье рассмотрена наиболее распространённая форма – форма шара.

Необходимо, чтобы на минимальную исследуемую длину приходилось как минимум два дискретных отсчёта с данными о положении. В связи с этим, максимальное время между передачами данных о текущем положении рассчитывается по следующей формуле:

$T = \frac{v}{2 \cdot \min(L1, L2)}$, где v – скорость вытягивания цепочки из пресс-формы, $L1$ – диаметр шарика, $L2$ – длина нити между шариками, T – максимальное время между соседними передачами.

Принцип работы обратной связи по положению проиллюстрирован на рис. 1.

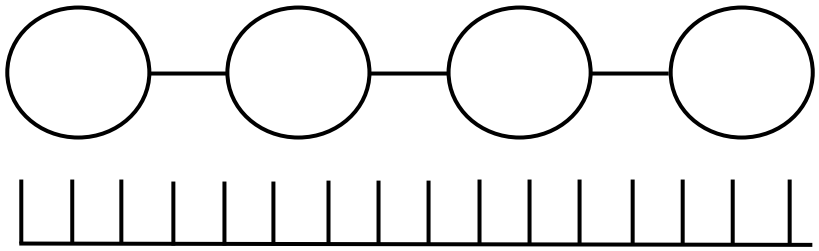


Рисунок 1 – Принцип работы обратной связи по положению

Каждые дискретные отсчёты времени устройство, вытягивающие цепочку из пресс-формы, передаёт на управляющий контроллер данные (на рис. 1 показаны вертикальными линиями) о своём текущем положении относительно некоторой точки, значение которой может быть любым. Управляющий контроллер, с помощью полученных данных, подсчитывает общую длину зоны шарика и зоны нити, за тем, на основе этих расчётов, делает выводы о наличии или отсутствии в данной части пропуска звена.

Для того, чтобы можно было различить зону шарика и зону нити требуется некоторая стационарная точка, в которой нужно установить устройство, постоянно сканирующее проходящую через неё цепочку и передающее на управляющий контроллер данные, позволяющие определить наличие или отсутствие звена в произвольный момент времени.

Функциональная схема требуемой системы проиллюстрирована на рис. 2.

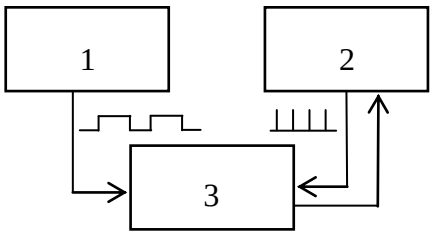


Рисунок 2 – Функциональная схема системы, требуемой для работы описываемого алгоритма, 1 – устройство, сканирующее проходящую через неё цепочку, 2 – вытягивающее устройство с обратной связью по положению, 3 – управляющий контроллер.

Теперь можно перейти непосредственно к описанию алгоритма подсчёта пропуска звеньев в цепочке жалюзи.

После того, как начался процесс вытягивания цепочки из пресс-формы, вытягивающие устройство должно начать передачу данных о своём текущем местоположении относительно начальной точки. При приёме данных о текущем положении управляющий контроллер должен рассчитать приращение между текущим и предыдущим значением положения, а также контроллер должен, по данным от сканирующего устройства, выявить наличие звена или его отсутствие в данный момент времени, а затем, в зависимости от полученных данных подсчитать текущую длину нитки, либо звена. Если текущая длина нити превосходит запланированное значение, то это значит, что обнаружен пропуск звена. Если текущая длина звена превосходит запланированное значение, то это значит, что значит обнаружено наличие звена.

Блок – схема описываемого алгоритма показана на рис. 3.

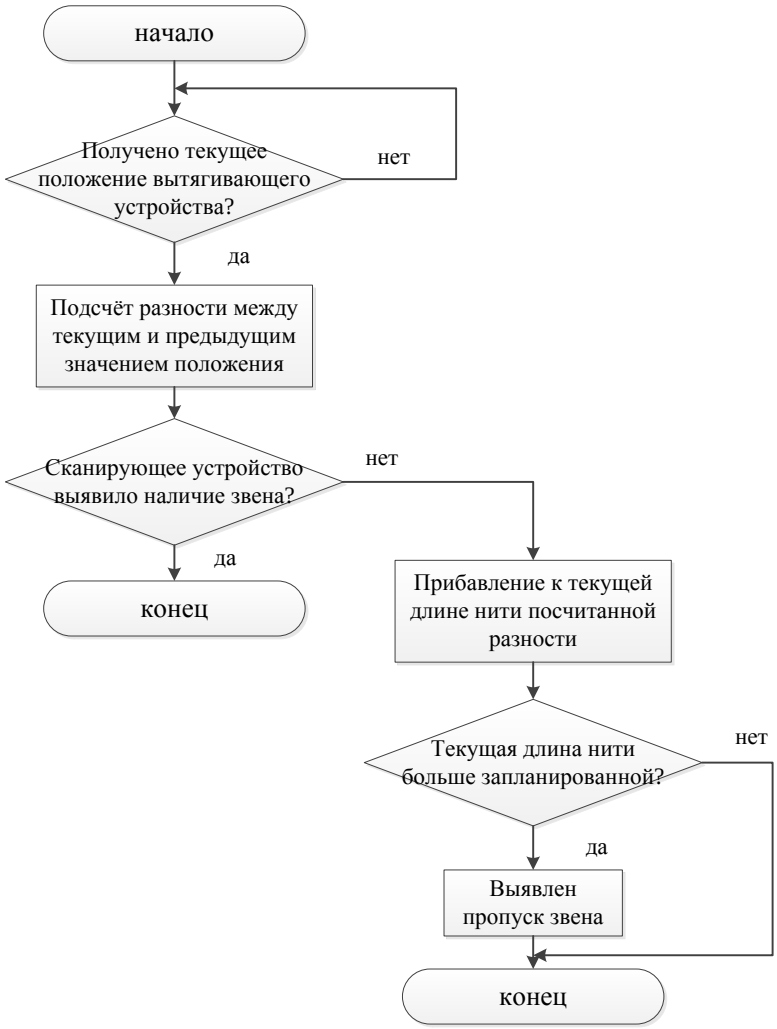


Рисунок 3 – Блок – схема алгоритма обнаружения пропуска звеньев в цепочке жалюзи

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- Процесс изготовления цепочек жалюзи не идеален и в ходе изготовления могут появляться дефекты в виде пропуска одного или нескольких зве-

ньев, а значит, требуется оперативно отслеживать цепочку на наличие таких дефектов, чтобы затем устранять их;

- Для работы алгоритма требуется наличие трёх устройств: сканирующего устройства, выявляющего наличие или отсутствие звена, вытягивающего устройства с обратной связью по положению и управляющего устройства, выполняющего все необходимые расчёты и подсчёты;
- Предлагаемый алгоритм позволяет успешно выявлять пропуски звеньев любой формы при верной установке граничных (запланированных) значений длины нити.

Литература

1. Анучин, А.С. Системы управления электроприводов / А.С. Анучин. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. – 373 с.
2. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ. М.: МЦМНО, 1999. – 960с.

Д.А. Михейченко, студент; рук. С.И. Зиенко, д.т.н., профессор
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске).

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СВЕТОСИГНАЛЬНЫХ АЭРОДРОМНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

Светосигнальная система аэродрома используется для посадки воздушных судов (ВС) как наиболее сложного и ответственного этапа полета. Посадка ВС успешно выполняется, если пилот хорошо воспринимает земные ориентиры при переходе к визуальному полету. Ночью и в сложных метеорологических условиях днем, когда естественные земные ориентиры не видны, значительная роль отводится светотехническим средствам, особенно на последних этапах посадки (планирование, выравнивание, приземление и пробег). Пилот, установив визуальный контакт с землей, при помощи светотехнических средств получает информацию о положении ВС относительно взлетно-посадочной полосы (ВПП), направление на ось ВПП, удаление до ВПП, плоскость горизонта, обозначение ВПП, место приземления и направление пробега после посадки). Светосигнальное оборудование в комплексе с радиосредствами систем посадки на аэродроме обеспечивает:

- конечный этап захода на посадку;
- посадку и взлет ВС ночью и днем при установленных для данного аэродрома минимумах;
- руление и регулирование движением ВС по аэродрому днем и ночью;
- световое ограждение высотных препятствий в районе аэродрома.

Устанавливаемые на аэродроме огни размещают в определенной последовательности, они имеют необходимые световые характеристики и цветность.

При создании светосигнальных систем аэродромов должно учитываться, что светильники должны обеспечивать регулярность и безопасность полетов самолетов авиации в условиях плохой видимости. Технические сложности решения такой задачи, а так же постоянное обновление моделей самолетов

требуют непрерывного совершенствования светосигнальных средств и их высокой надежности.

Рассмотри некоторые основные аспекты в построении светосигнальных систем аэродромов.

Контрасты и угловые размеры светосигнальных огней. При зрительном опознавании предмета наблюдатель вначале обнаруживает его в поле зрения, а затем не только выделяет относительно фона, но и различает его форму (его детали) и цвет. Задачу обнаружения объекта на фоне с определенной яркостью можно рассматривать как выделение сигнала из шума. Шум создается посторонними источниками света, квантовыми флюктуациями выделяемого светового потока и шумами собственной зрительной системы, независимыми от наличия светового сигнала. Разрешающую силу глаза характеризуют предельным углом β, т.е. угловым размером наименьшего объекта, который еще различается отдельно. Ее называют остротой зрения. Поскольку сигнальные огни рассматриваются с больших расстояний, то они воспринимаются как точечные источники света. Их дальность видимости оценивают по формуле Аллара [1]:

$$E = \frac{I}{10^6 \cdot l^2 \cdot \tau^{-l}} = I/N,$$

где $10^6 \cdot l^2 \cdot \tau^{-l} = N$ – метеорологический коэффициент, I– сила света объекта, l – расстояние до объекта, τ – оптическая толщина среды.

Еще одним аспектом является видимость сигнальных огней. Эффективность действия светового сигнала зависит от длительности воздействия на приемник (зрачок глаза), спектрального состава излучения и его плотности. На рисунке 1 схематически представлено изображение действия светосигнального устройства.

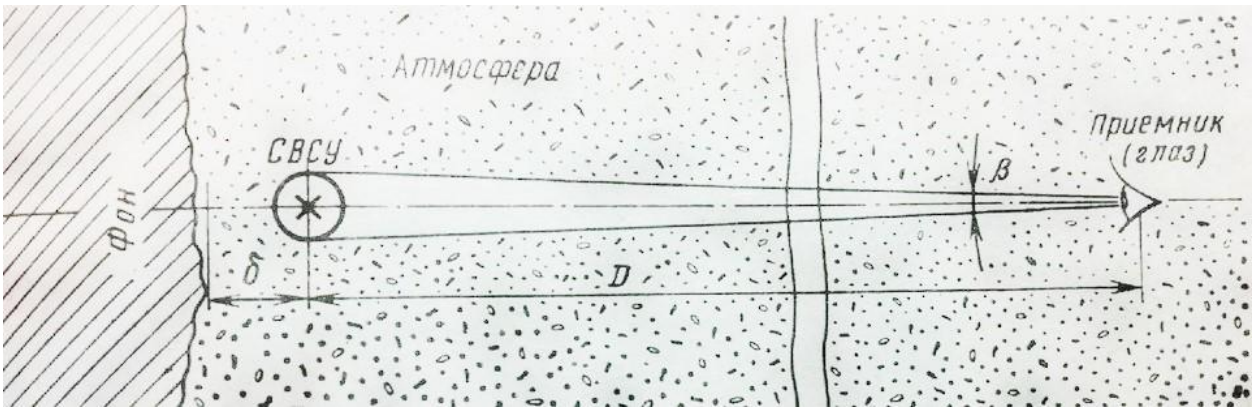


Рисунок 1-действие светосигнального прибора.

В основу расчета дальности видимости огня, с которой заметен его сигнал, положены данные о световых и цветовых порогах. Согласно закону Рикко видимость источника (если угол β, под которым виден источник, не превышает 15'),

оценивается произведением его яркости L на его площадь S, т.е. $L \cdot S$, поскольку $L \cdot S = I$ (сила света), а $\frac{I}{l^2} = E$, следовательно, пороговая видимость определяется пороговым блеском источника. Наблюдатель видит источник света, если блеск его не меньше некоторого порогового значения E_0, которому соответствует предельная дальность видимости. Если наблюдатель из бесконечности начинает приближаться к источнику света ,то на некотором расстоянии он заметит светлую точку и только на более близком расстоянии сможет распознать цвет. Цветовой дальности видимости соответствует минимальный блеск, позволяющий опознать цвет сигнального огня. Оптическая дальность видимости сигнального устройства определяется максимальным расстоянием от него до глаза наблюдателя, когда освещенность глаза не меньше порогового значения E_0. Для расчета дальности видимости сигнала необходимо определить следующие его характеристики:

- Цветность сигнала
- Прерывистость
- Оптические свойства воздушной среды
- Форму и размеры сигнальных знаков с уровнями воспринимаемых контрастов между этими знаками и фоном
- Освещенность приемника излучения (глаза) сигналом

Цветность сигнала. Выбор цветности сигнала важен с точки зрения наибольшей надежности его различия и сохранения постоянства в течении всего времени наблюдения. Этим требованиям в большей степени соответствует красный цвет, у которого совпадают световой и цветовой пороги восприятия. Его легко получить используя фильтра и краски. Важно, чтобы отдельные цвета при восприятии наблюдателем не смешивались. Мерой контроля служат пороги цветового контраста. По этому признаку наиболее далеко отстоят от красного цвета желтые и зеленые огни, так же могут дополняться синими и оранжевыми цветами.

Прерывистость сигнала. Прерывистые огни лучше воспринимаются на фоне множества посторонних огней. Такой сигнал более заметен в тумане за счет дополнительной яркости фона при рассеянии излучения в атмосфере, чем непрерывный сигнал. Сочетанием вспышек различной длительности и пропусками можно создавать любые коды.

Еще одним важным пунктом является яркость аэродромных огней.

Режим яркости аэродромных огней существенно сказывается на безопасности ночной посадки самолетов, так как визуальная обстановка в большой степени зависит от дальности их видимости и четкого восприятия светосигнальной картины. Для установления светосигнальной картины необходимо определить оптимальные значения силы света огней различного типа для всех диапазонов метеорологической дальности видимости. Обычно возрастание силы света огней увеличивает дальность видимости только до известных пределов, так как одновременно увеличивается яркость фона из-за рассеяния излучения атмосферой и снижается контраст. Чаще всего яркость аэродромных огней определяется опытным путем по субъективной оценке пилотов в процессе летных испытаний.

Для контроля яркости аэродромных огней предложено устройство, основанное на сравнении яркости исследуемых огней, излучение которых фокусируется линзой на многогранное зеркало, вращаемое мотором. Рядом с зеркалом находится эталонный огонь. Сравнивая через приемник и электронную систему обработки сигналов яркость аэродромных огней с яркостью эталонного огня, можно определить степень превышения порогового значения силы света огней, достаточно для надежной эксплуатации.

Так же в построении светосигнальных систем немаловажно произвести расчет надежности. В качестве показателей надежности в соответствии с ГОСТ 27.002-89, ГОСТ ВД 20.39.312-85, ТЗ на комплекс устанавливаются следующие показатели надежности: средняя наработка до отказа; вероятность безотказной работы за время одной смены (24 часа). Расчет надежности производится с целью: определение количественных показателей надежности; выявление составных частей и комплектующих элементов, лимитирующих надежность прибора. Под надежностью понимается свойство прибора выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения основных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией, в определенных условиях эксплуатации. Прибор считается работоспособным при следующих условиях: сила света по всем направлениям не достигает значений ниже 50% от заданных в ТЗ; не нарушаются правила и требования электро- и пожаробезопасности.

Таким образом, для построения светосигнальных аэродромных светильников требуется светотехническая аппаратура обладающая специальными свойства и соответствующая жестким требованиям эксплуатации на открытом воздухе, которая находят ограниченное применение в промышленности.

Литература:

2. Ю.Г. Басов. Светосигнальные устройства.– М.: Транспорт.1993.– 309с.

А.М. Мищенко асп.; рук. И.В. Якименко, д.т.н., доцент.; Д.Н. Иванов, С.Н. Бужлаков, И.А. Федоров
(ВА ВПВО ВС РФ г.Смоленск)

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗЛУЧЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ФОНА В БЛИЖНЕМ ИК ДИАПАЗОНЕ

Представлен подход к разработке модели излучения атмосферного фона при помощи специально разработанного измерительно-вычислительного комплекса. Разработанная модель излучения атмосферного фона может применяться для моделирования процесса обнаружения беспилотных летательных аппаратов инфракрасными пассивными оптико-электронными системами. Также представлены результаты статистического анализа экспериментальных исследований пространственной структуры излучения атмосферного фона в ближнем ИК диапазоне. На основе полученных результатов выделен признак, который может использоваться для обнаружения беспилотных летательных аппаратов инфракрасными пассивными оптико-электронными системами.

Ключевые слова: атмосферный фон, ближний ИК диапазон, оптико-электронная система, модель излучения.

Современные вооруженные конфликты отличаются скоротечностью и разнообразием способов применения средств вооружения. Опыт боевых действий в Сирийской Арабской Республике, демонстрирует тенденцию к расширению сферы применения беспилотных летательных аппаратов (БпЛА) различных типов.

Первым и наиболее важным этапом в противодействии БпЛА является их обнаружение. Однако обнаружение БпЛА типовыми комплексами войсковой ПВО представляет собой трудноразрешимую задачу из-за невозможности применения активных средств радиолокации без раскрытия мест расположения комплексов ПВО, а также незначительных величин эффективной площади рассеяния (0,01 – 0,001 м^2) и малых высот полета БпЛА.

Одним из возможных путей решения задачи обнаружения БпЛА является применение широкоугольных инфракрасных пассивных оптико-электронных систем (ПОЭС). Дальность обнаружения БпЛА такими системами можно оценить путём математического моделирования процесса обнаружения. Для этого необходимы статистические модели пространственной структуры излучения (далее модели) атмосферного фона при типовых метеорологических условиях и модели излучения БпЛА различных типов.

Статистические модели излучения атмосферного фона (АФ) в диапазонах 3–5 и 8–13 мкм уже получены и описаны [1, 2, 3, 4], однако для ближнего ИК диапазона информация о таких моделях в открытой печати отсутствует. В связи с этим была разработана методика [5] экспериментальных исследований пространственной структуры излучения (переизлучения) АФ в интересах получения статистических моделей излучения АФ в ближнем ИК диапазоне для различных типов и баллов облачности.

Согласно разработанной методике исследования проводится в два этапа:

1) измерение энергетической яркости АФ в различные сезоны и периоды суток;

2) статистическая обработка результатов измерений с целью получения моделей излучения АФ.

Измерения энергетической яркости АФ проводились при помощи разработанного измерительно-вычислительного комплекса (ИВК), основным элементом которого является радиометр, оснащенный сканирующим зеркалом (рисунок 1) [1].

Сканирующее зеркало производит обзор заданной области пространства (рисунок 2), направляя лучистый поток на объектив радиометра. Лучистый поток, отраженный от сканирующего зеркала фокусируется на фоторезисторе (*PbS*). Электрический сигнал с фоторезистора поступает на предусилитель и далее на вход АЦП, где преобразовывается в цифровой код и записывается микроконтроллером в постоянное запоминающее устройство.

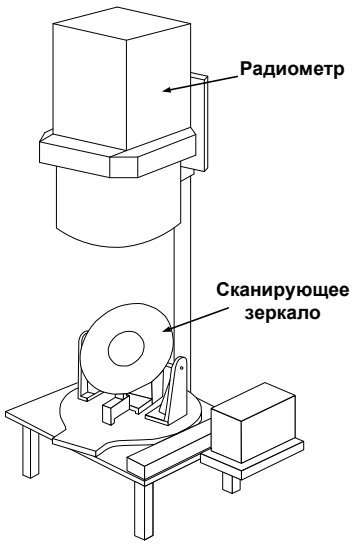


Рисунок 1 – Радиометр со сканирующим зеркалом

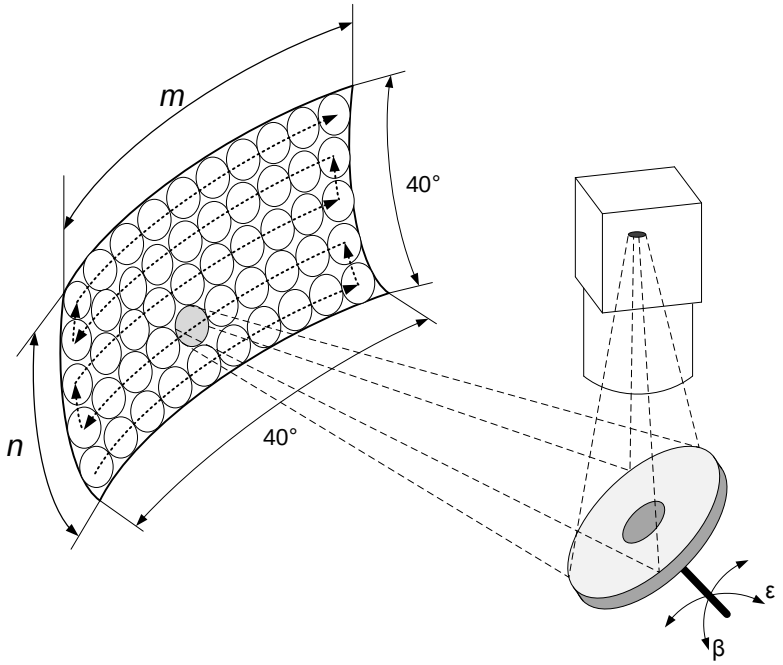


Рисунок 2 – Схема сканирования

Входящая в состав ИВК аппаратура построена на современной элементной базе и обладает следующими характеристиками:

- ширина поля зрения радиометра — 24×24 минут;
- коэффициент передачи радиометра — 1,25 10^7 В·см^2·ср/Вт;
- пороговая чувствительность по энергетической яркости $0{,}658 \cdot 10^{-9}$ Вт·см$^{-2}$·ср$^{-1}$;
- пороговой чувствительности по температуре — 0,358 К;
- погрешность измерения энергетических яркостей — 11%;
- величина шага сканирующего зеркала по углу места и азимуту — 30 минут.

Результат пространственного сканирования АФ (кадр) представляет собой двумерный массив (1), каждый элемент которого содержит информацию об уровне энергетической яркости излучения АФ в выбранном направлении. Совокупность полученных кадров представляет собой пространственную структуру излучения неоднородностей АФ.

$$U = \begin{pmatrix} u_{1,1} & u_{1,2} & \dots & u_{1,n} \\ u_{2,1} & u_{2,2} & \dots & u_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{m,1} & u_{m,2} & \dots & u_{m,n} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Статистическая обработка результатов измерений проводилась после окончания серии измерений состоящей из пачки кадров в среднем по 30 шт.

Всего было исследовано 9 типов облачных полей в дневных условиях (кучевой (Cu) 1–3 балла – 87 шт., кучевой (Cu) 4–6 баллов – 91 шт., кучевой (Cu) 7–9 баллов – 93 шт., слоисто-кучевой (Sc) – 84 шт., высококучевой (Ac) – 73 шт., перисто-кучевой (Cc)– 85 шт., слоистой (St) – 123 шт., перисто-слоистой (Cs) – 118 шт., перистой (Ci) – 89 шт., ясного неба – 117 шт.). Итого: получено 960 кадров излучающего АФ.

В ходе обработки вычислялись средние значения и среднеквадратические отклонения энергетической яркости. Результаты обработки пачек кадров накапливались и представлялись в виде матриц распределения средних значений и дисперсий (среднеквадратических отклонений).

Для оценки масштабности неоднородностей АФ проводился корреляционный анализ различных типов АФ. Рассчитывались коэффициенты корреляции и оценивались их зависимости от углового сдвига в двух направлениях по строкам (по углу места), а затем по столбцам (по азимуту). Полученные зависимости позволяют оценить угловые размеры неоднородностей различных типов АФ по величине радиуса корреляции (угловые значения, соответствующие уровню 0,5).

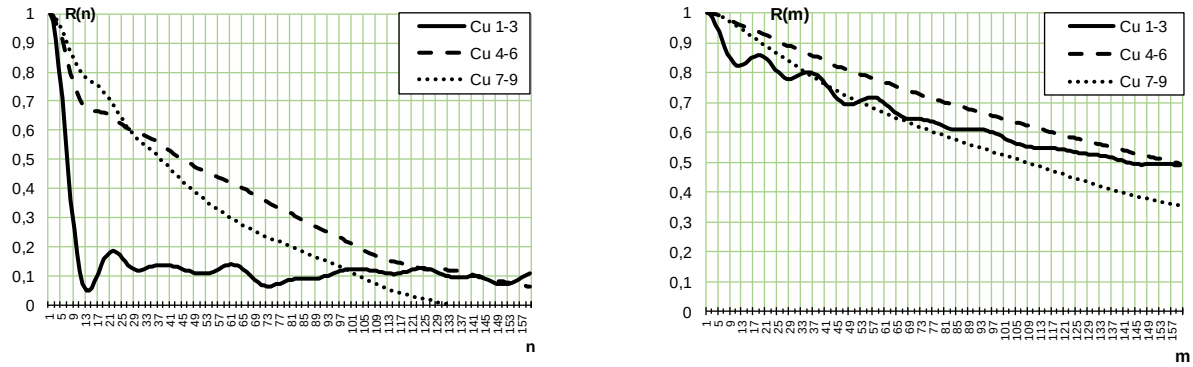
Совокупности полученных кадров, массивов средних значений и среднеквадратических отклонений энергетической яркости АФ, а также корреляционных матриц по строкам и по столбцам представляют собой статистические модели, описывающие закономерности пространственной структуры неоднородностей АФ.

Анализ полученных результатов показал, что облачные поля можно разделить на две группы отличающимися размерами неоднородностей.

В *первую группу* входят те типы облачных полей, которые содержат мелкомасштабные неоднородности (5-18°): кучевая (Cu), высококучевая (Ac), перисто-кучевая (Cc), перистая (Ci) виды облачности.

Во *вторую группу* входят те типы полей, которые содержат крупномасштабные неоднородности (>30°), размер которых превышает размеры полученных кадров: слоистая (St), слоисто-кучевая (Sc), перисто-слоистая (Cs) виды облачности.

Анализ пространственных корреляционных связей для кучевой облачности (Cu) показал, что размеры неоднородностей по углу места примерно одинаковы для всех баллов облачности и равны 7°-18°. В азимутальной плоскости размеры неоднородностей также имеют схожие размеры и расположены в диапазоне 5°-15° (рисунок 3).



(а) (б)

Рисунок 3 – Зависимости коэффициента пространственной корреляции ФИ от углового сдвига по строкам (а) и по столбцам (б) для кучевой облачности (Cu)

В результате удалось выявить ряд свойств облачных полей:

1. Исследованные типы облачных полей можно разделись на два типа, имеющие мелкомасштабные неоднородности и крупномасштабные неоднородности.

2. Пространственные корреляционные функции энергетической яркости излучения (R(n), R(m)) облачных полей АФ имеют значимые коэффициенты пространственной корреляции между соседними строками и столбцами. Поэтому если в соседней строке появится изображение БпЛА, наблюдаемого как точечный объект (ТО), то ожидается заметное изменение коэффициента пространственной корреляции между соседними строками и столбцами. Под ТО изображения БпЛА понимается малоразмерный объект, изображение которого вписывается в $N \leq 5$ пикселей кадра [5-7].

3. Угловые размеры неоднородностей некоторых видов облачных полей АФ ограничены величинами радиусов корреляции по строкам и столбцам. Исходя из этого, *предполагается возможность разделения по ширине пространственных спектров БпЛА и протяжённых неоднородностей АФ*. [7]

4. Пространственная структура неоднородностей АФ не подвержена резким изменениям в пределах области, размеры которой определяются радиусоми корреляции.

Таким образом, экспериментальные исследования позволили разработать статистические модели пространственной структуры излучения АФ, которые могут быть использованы при моделировании процесса обнаружения БпЛА ИК ПОЭС. В процессе анализа результатов экспериментального исследования выявлены закономерности, которые могут быть положены в основу новых алгоритмов обнаружения БпЛА на облачном АФ.

Литература
1 Мищенко А.М., Рачковский С.С., Смолин В.А., Якименко И.В. Экспериментальные исследования пространственного распределения собственного излучения атмосферного фона в инфракрасном диапазоне волн. — М.: Радиотехника, 2017. №2 С. 119-125.
2 Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники. — М.: Сов. Радио, 1978. 400 с.
3 Якименко И.В., Соловьев В.А. и др. Экспериментальное определение характеристик инфракрасного излучения самолетов в полете. Монография. — Смоленск.: ВА ВПВО ВС РФ, 2009. 84 с.
4 Якименко И.В. Методы, модели и средства обнаружения воздушных целей на атмосферном фоне широкоугольными оптико-электронными системами. Монография. — 2-е изд., испр и доп — С-Петербург: Лань, 2014. 176 с.
5 Мищенко А.М., Рачковский С.С., Смолин В.А., Якименко И.В. Результаты исследований пространственной структуры излучения атмосферы в спектральном диапазоне 1,5 – 2 мкм. — М.: Светотехника, 2018. №1 С. 40-44.
6 Мищенко А.М., Якименко И.В., Иванов Д.Н. Экспериментальное определение индикатрисы излучения беспилотного летательного аппарата в инфракрасном диапазоне. — Смоленск.: Вестник войсковой ПВО, вып. 18, ч.1, 2017. С. 134 – 139.
7 Мищенко А.М., Якименко И.В., Иванов Д.Н. Экспериментальное исследование пространственной структуры излучения атмосферного фона в диапазоне 1,5 – 2 мкм. — Смоленск.: Вестник войсковой ПВО, вып. 18, ч.1, 2017. С. 140 – 145.

А.М. Мищенко адъюнкт.; рук. И.В. Якименко, д.т.н., доцент.
Д.Н. Иванов, Д.А. Криштопов, А.А. Фадеичев, П.А. Фадеичева
(ВА ВПВО ВС РФ г. Смоленск)

НОВЫЕ ПОДХОДЫ В ПОСТРОЕНИИ МОДЕЛИ ИЗЛУЧЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В БЛИЖНЕМ ИК ДИАПАЗОНЕ

Аннотация. В статье представлен один из возможных способов построения модели пространственной структуры излучения беспилотного летательного аппарата по результатам натурных измерений, также приведены результаты построения модели излучения беспилотного летательного аппарата в ближнем ИК диапазоне.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, ближний ИК диапазон, оптико-электронная система, модель излучения.

Увеличение численности и расширение сферы применения беспилотных летательных аппаратов (БпЛА) различных типов в вооруженных конфликтах последних лет, остро ставит перед войсковой ПВО задачу борьбы с БпЛА.

Для того чтобы эффективно бороться с БпЛА, необходимо их своевременно обнаруживать, однако обнаружение БпЛА типовыми зенитными комплексами представляет собой трудноразрешимую задачу из-за невозможности применения активных средств радиолокации без раскрытия мест расположения комплексов ПВО, а также незначительных величин эффективной площади рассеяния БпЛА.

Возможным путем решения задачи обнаружения беспилотных летательных аппаратов (БпЛА) является создание широкоугольных инфракрасных пассивных оптико-электронных систем (ПОЭС). Одной из важнейших характеристик ПОЭС является дальность действия. Провести оценку которой можно путём математического моделирования процесса обнаружения БпЛА [1]. Однако для этого необходимы модели излучения БпЛА различных типов и модели излучения фона при типовых метеорологических условиях.

Методика получения статистических моделей излучения фона в блинем ИК диапазоне уже описана [1, 2], однако пригодной данных для создания моделей БпЛА в настоящее время в литературе не описано. В связи с этим была усовершенствована, разработанная ранее [3] методика проведения экспериментальных исследований пространственной структуры излучения БпЛА в инфракрасном диапазоне.

Экспериментальные исследования проводятся при помощи измерительно-вычислительного комплекса (ИВК) и специального вращающегося устройства с двумя степенями свободы [3], в которое закреплялся БпЛА (рисунок 1). Что позволяет получить индикатрису излучения БпЛА при изменении пространственного положения БпЛА [3].

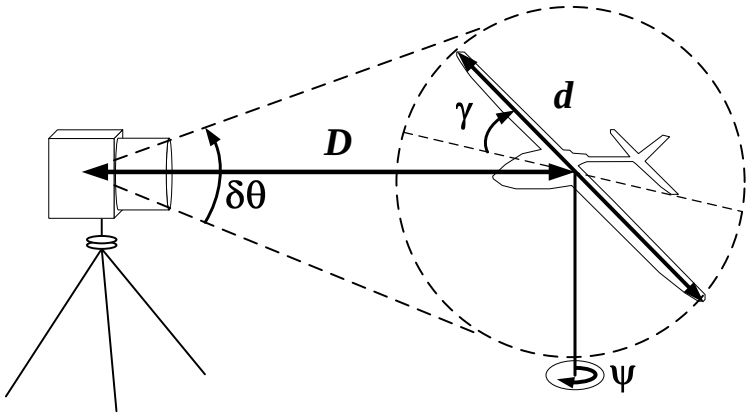


Рисунок 1 – Схема проведения измерений энергетической яркости БпЛА

В виду того, что на чувствительную площадку приемника поступает смесь излучения фона и БпЛА $B_{\text{фбпла}}(\gamma,\psi)$. Для выделения полезного сигнала, т. е. сигнала БпЛА $B_{\text{бпла}}(\gamma,\psi)$, необходимо из суммарного сигнала $B_{\text{фбпла}}(\gamma,\psi)$ вычесть энергетическую яркость фона (рис. 2), параметры которого определяются сразу после проведения измерений яркости БпЛА [4].

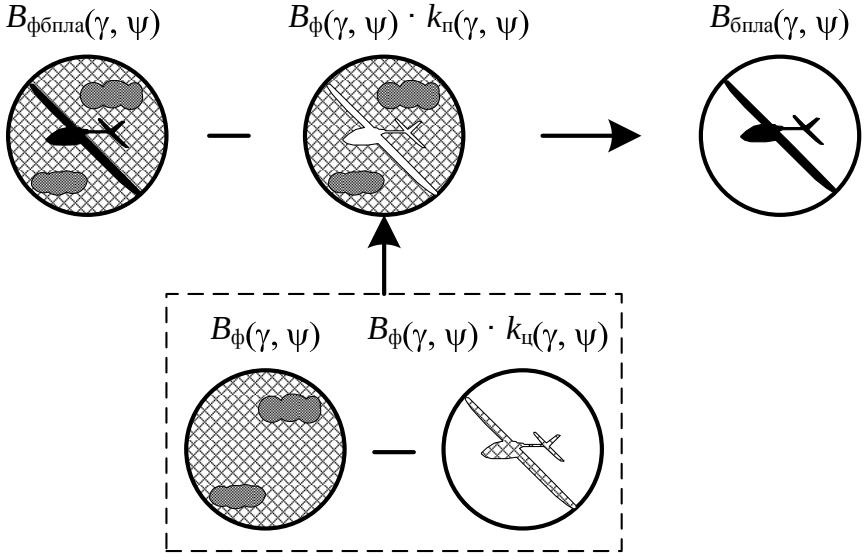


Рисунок 2 – Схема определения энергетической яркости БпЛА

Также необходимо учитывать на вход радиометра поступает только часть излучения фона (рисунок 2), ограниченного площадью проекции БпЛА на картинную плоскость наблюдения.

При известной фоновой составляющей излучения определяется контраст энергетической яркости БпЛА по отношению к фону:

Поскольку БпЛА при наблюдении на большой дальности представляет собой точечный источник излучения, его необходимо характеризовать не энергетической яркостью, а силой излучения.

Сила излучения БпЛА по результатам наблюдаемой энергетической яркости определяется по формуле:

$$J_{\text{бпла}}(\gamma,\psi)=\frac{B_{\text{бпла}}(\gamma,\psi)\cdot S_{\text{пр}}(\gamma,\psi)\cdot D^2}{S_{\text{об}}\cdot\tau_{\text{а}}}=\frac{(B_{\text{фбпла}}(\gamma,\psi)-B_{\text{ф}}(\gamma,\psi)\cdot k_{\text{п}}(\gamma,\psi))\cdot S_{\text{пр}}(\gamma,\psi)\cdot D^2}{S_{\text{об}}\cdot\tau_{\text{а}}}, \quad (1)$$

где $B_{\text{бпла}}(\gamma,\psi)$ – энергетическая яркость БпЛА в зависимости от угла наблюдения;

D – расстояние до БпЛА;

$\tau_{\text{а}}$ – коэффициент пропускания атмосферы, определяемый с помощью методики, изложенной в [3], для метеоситуации, соответствующей условиям измерения;

$S_{\text{об}}$ – площадь входной апертуры радиометра;

$k_{\text{п}}(\gamma,\psi)$ – коэффициент перекрытия БпЛА поля зрения радиометра;

$S_{\text{пр}}(\gamma,\psi)$ – площадь проекции БпЛА на картинную плоскость

С целью получения статистической модели излучения БпЛА необходимо произвести:

1) экспериментальное определение коэффициента перекрытия БпЛА поля зрения радиометра $k_{\text{п}}(\gamma,\psi)$;

2) экспериментальное определение площади проекции БпЛА на картинную плоскость $S_{\text{пр}}(\gamma,\psi)$;

3) экспериментальное определение энергетической яркости смеси излучения фона и БпЛА $B_{\text{фбпла}}(\gamma,\psi)$;

4) экспериментальное определение энергетической яркости фона $B_{\text{ф}}(\gamma,\psi)$;

5) вычисление силы излучения БпЛА $J_{\text{бпла}}(\gamma,\psi)$ в зависимости от ракурса наблюдения;

6) аппроксимацию силы излучения БпЛА путем регрессионного анализа табличных значений, полученных на предыдущем шаге.

Для определения величины перекрытия БпЛА поля зрения радиометра $k_{\text{п}}(\gamma,\psi)$ было проведено натурное моделирование с использованием БпЛА «Мерлин» (типовой представитель класса мини-БпЛА), поворотного устройства и цифровой фотокамеры.

Перед оптической осью цифровой фотокамеры во вращающемся устройстве с двумя степенями свободы закреплялся БпЛА, пространственное положение которого изменялось по углу рыскания (ψ) и углу крена (γ). Фотофиксация БпЛА производилась на фоне белого экрана при вращении БпЛА по углу рыскания от 0

до 360º через каждые 10º при фиксированном угле крена, который после полного оборота по углу рыскания изменялся от -180º до 180º через каждые 10º. Расстояние от фотокамеры до вращающегося устройства фиксировалось и не изменялось.

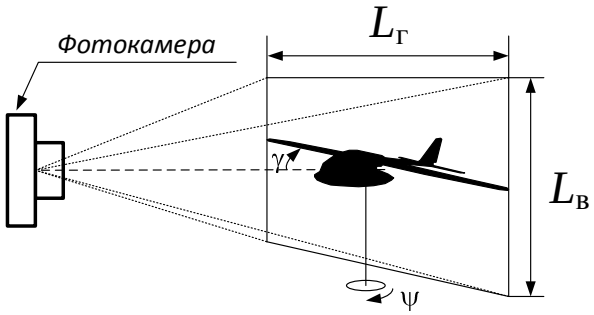


Рисунок 3 – Схема определения площади проекции БпЛА на картинную плоскость

Полученные в процессе фотофиксации пачки кадров обрабатывались (удалялся фон) в редакторе изображений GIMP с целью повышения контрастности изображения БпЛА.

Далее полученная последовательность кадров подвергалась пороговой обработке с целью бинаризации изображений (рисунок 4).

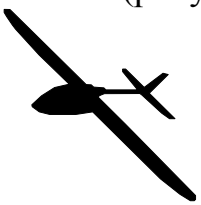


Рисунок 4 – изображение БпЛА после обработки

Очищенные от фона, кадры изображений БпЛА использовались для определения коэффициента перекрытия БпЛА поля зрения радиометра $k_п(\gamma,\psi)$ при различных ракурсах.

В результате были получены значения коэффициента перекрытия в зависимости от ракурса БпЛА $k_п(\gamma,\psi)$ (рис. 5).

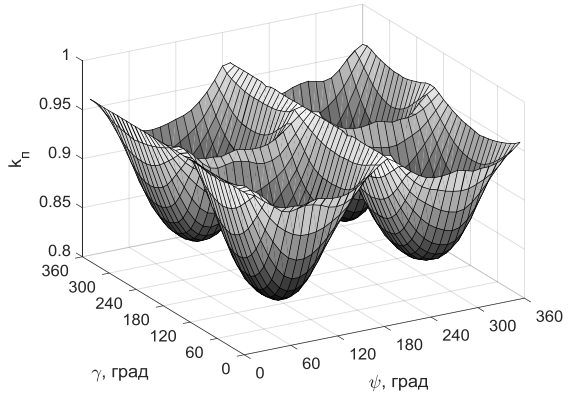


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента перекрытия от пространственного положения БпЛА

Площадь проекции БпЛА на картинную плоскость, при различных ракурсах $S_{пр}(\gamma,\psi)$ определялась по формуле:

$$S_{пр}(\gamma,\psi) = S_{кп} \cdot k_{бпла}(\gamma,\psi). \quad (2)$$

$$S_{кп} = L_г \cdot L_в$$

$$k_{бпла}(\gamma,\psi) = 1 - k_п(\gamma,\psi)$$

Результаты вычисления площади проекции БпЛА на картинную плоскость при различных ракурсах представлены на рисунке 6.

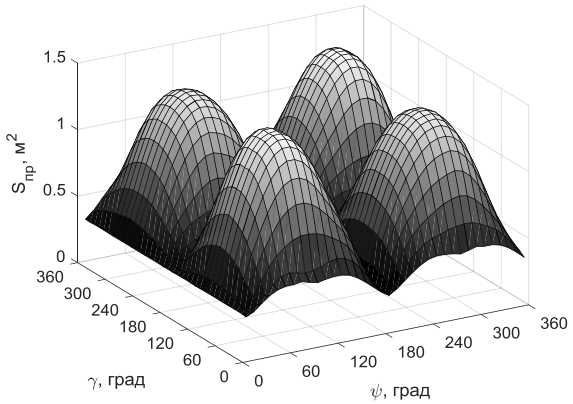


Рисунок 6 – Зависимость площади проекции БпЛА от пространственного положения

Далее по формуле (1) вычислялась сила излучения БпЛА в зависимости от ракурса наблюдения $J_{бпла}(\gamma,\psi)$. Результаты были сведены в таблицу, по которой была построена индикатриса излучения БпЛА при изменении пространственного положения (рисунок 7).

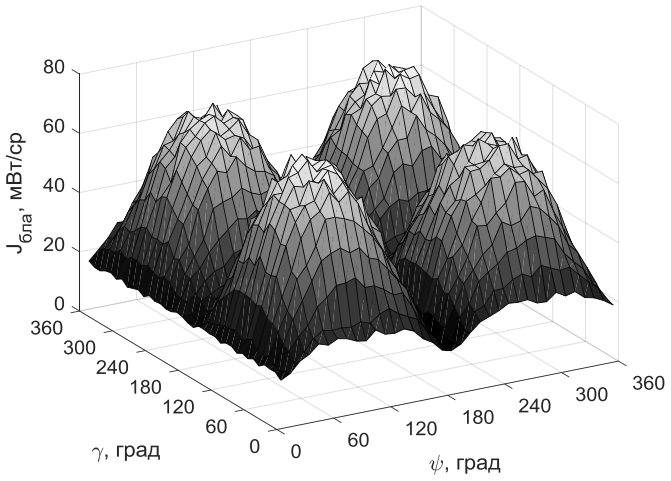


Рисунок 7 – Индикатриса излучения БпЛА в диапазоне 1,5–2 мкм

После чего табличные данные индикатрисы излучения БпЛА были аппроксимированы используя аппарат регрессионного анализа в программе Scilab–6.0. В результате такой процедуры были вычислены массивы коэффициентов уравнений регрессии, которые в совокупности с уравнениями регрессии пред-

ставляют собой статистическую модель пространственной структуры излучения БпЛА.

Проверка адекватности модели по методу наименьших квадратов показала, что погрешность статистической модели к экспериментальным данным не превысила аппаратной погрешности измерения.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований была разработана статистическая модель пространственной структуры излучения БпЛА и проверена ее адекватность, что подтверждает работоспособность предложенной методики.

Разработанная модель пространственной структуры излучения БпЛА может быть использована для проведения математического моделирования процесса обнаружения БпЛА ИК ПОЭС. Что позволит прогнозировать основные характеристики ПОЭС обнаружения БпЛА.

Литература

1 Мищенко А.М., Рачковский С.С., Смолин В.А., Якименко И.В. Экспериментальные исследования пространственного распределения собственного излучения атмосферного фона в инфракрасном диапазоне волн. — М.: Радиотехника, 2017. №2 С. 119 – 125

2 Мищенко А.М., Якименко И.В., Иванов Д.Н. Экспериментальное исследование пространственной структуры излучения атмосферного фона в диапазоне 1,5 – 2 мкм. — Смоленск.: Вестник войсковой ПВО, вып. 18, ч.1, 2017. С. 140 – 145

3 Мищенко А.М., Якименко И.В., Иванов Д.Н. Экспериментальное определение индикатрисы излучения беспилотного летательного аппарата в инфракрасном диапазоне. — Смоленск.: Вестник войсковой ПВО, вып. 18, ч.1, 2017. С. 134 – 139

4 Якименко И.В. Методы, модели и средства обнаружения воздушных целей на атмосферном фоне широкоугольными оптико-электронными системами. Монография. — 2-е изд., испр и доп — С-Петербург: Лань, 2014. 176с.

5 Мищенко А.М., Рачковский С.С., Смолин В.А., Якименко И.В. Результаты исследований пространственной структуры излучения атмосферы в спектральном диапазоне 1,5 – 2 мкм. — М.: Светотехника, 2018. №1 С. 40 – 44

А.В. Навродский, курсант; рук. М.А. Сеньков, к.т.н
(ВА ВПВО ВС РФ)

ОЦЕНКА РАЗВЕДЗАЩИЩЁННОСТИ ОДНОЗВЕННОЙ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ОТ РАДИОПОДАВЛЕНИЯ

Однозвенная система передачи (ОСП) представляет собой совокупность передающего радиоэлектронного средства РЭС, среды и приёмного РЭС.

Для оценки разведзащищённости ОСП от радиоподавления используется подход, который состоит в нахождении вероятности добывания сведений, необходимых для радиоподавления РЭС [1]:

$$К^{(РП)}_{РЗ\ РЭС} = 1 - Р^{(РП)}_{РР\ РЭС}, \quad (1)$$

где $Р^{(РП)}_{РР\ РЭС}$ – вероятность добывания сведений, необходимых для радиоподавления РЭС.

Задача добывания радиоразведкой необходимых сведений, как правило, разбивается на две последовательно решаемые задачи: обнаружение радиоиз-

лучения и анализ характеристик радиоизлучения. Причем, если излучающее средство не обнаружено, то оценка его параметров теряет всякий физический смысл.

В соответствии с указанным вероятность добывания необходимых для подавления РЭС сведений представляют произведением:

$$P^{(i)}_{\text{РР РЭС}} = P_{\text{обн РЭС}} \cdot P^{(i)}_{\text{ан РЭС}} \quad (2)$$

где $P_{\text{обн РЭС}}$ – безусловная вероятность обнаружения источника радиоизлучения;

$P_{\text{ан РЭС}}$ – условная вероятность получения необходимых характеристик излучения для организации преднамеренного воздействия.

Для оценки указанных вероятностей используется совокупность энергетических показателей, характеризующихся соотношениями уровней сигналов и помех на входе приемного устройства средства РЭБ и временных показателей, которые – отражают динамику поведения во времени средств связи и РЭБ.

В качестве энергетического показателя разведзащищённости используется показатель энергетической доступности РЭС для радиоразведки в виде отношения медианной мощности разведываемого сигнала к суммарной мощности помех на входе радиоприемника разведки:

$$\bar{Z} = \left(\frac{\bar{P}_c}{\bar{P}_п}\right)_{\text{вх}}; \quad (3)$$

Учитывая случайный характер уровней сигналов и помех на входе приемного устройства, вероятность обнаружения источника радиоизлучения определяется из соотношения:

$$P_{\text{обн РЭС}} = P\left(z \geq z_{\text{доп}}\right) = \int_{z_{\text{доп}}}^{\infty} w\,(z)dz\,, \quad (4)$$

где $w\,(z)$ – плотность распределения разности уровней сигналов и помех на входе радиоприемного устройства, которая с достаточной для практики точностью может быть аппроксимирована нормальным законом распределения.

Учитывая, что для обнаружения сигнала достаточно, чтобы

$$\bar{Z} = \bar{y} - \bar{x} \geq 0, \quad (5)$$

можно положить $z_{\text{доп}} = 0$, тогда:

$$P_{\text{обн РЭС}} = P\,(z \geq 0) = F\left(\frac{\bar{z}}{\sigma_z}\right), \quad (6)$$

где $\bar{Z}$ – среднее превышение уровня сигналов над уровнем помех на входе приемника радиоразведки;

$\sigma_z = \sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_x^2}$ – стандартное отклонение превышения уровня сигнала над уровнем помех.

С учетом (6) показатель энергетической разведзащищенности РЭС [1]:

$$K_{\text{рз э}} = 1 - P_{\text{обн РЭС}} = 1 - F\left(\frac{\bar{z}}{\sigma_z}\right). \quad (7)$$

Относительно показателя временной защищенности РЭС от средств радиоразведки необходимо отметить, что для анализа параметров излучения обнаруженных РЭС должно быть затрачено некоторое время $t_{\text{ан}}$. Точность оценки параметров излучения при этом, очевидно, будет зависеть от соотношения

между временем анализа и временем, в течение которого параметры излучения не изменяются $t_{изл}$. В [1] используют меру субъективной вероятности анализа характеристик РЭС в виде:

$$P_{\text{ан РЭС}}(\tau) = \frac{1}{1+\left(\frac{\bar{t}_{\text{ан}}}{\bar{t}_{\text{изл}}}\right)^{\alpha}}, \quad (8)$$

где α – коэффициент, отражающий дисперсию показателя τ относительно среднего значения.

С учетом (8) показатель временной разведзащищенности РЭС может быть определен соотношением:

$$K_{\text{рз в}} = 1 - P_{\text{обн РЭС}}(\tau) = \frac{\left(\frac{\bar{t}_{\text{ан}}}{\bar{t}_{\text{изл}}}\right)^{\alpha}}{1+\left(\frac{\bar{t}_{\text{ан}}}{\bar{t}_{\text{изл}}}\right)^{\alpha}}, \quad (9)$$

После подстановки в (1) соотношений (2), (7) и (10) получим окончательное выражение, представляющее собой математическое описание способа разведзащищенности ОСП от радиоэлектронного подавления в виде [1]:

$$K_{\text{рз РЭС}} = 1 - \left[1 - F\left(\frac{\bar{z}}{\sigma_z}\right)\right] \cdot 1/1 + \left(\frac{\bar{t}_{\text{ан}}}{\bar{t}_{\text{изл}}}\right) \quad . \quad (10)$$

Недостатками данного подхода являются:

1. Для его применения в каждой конкретной обстановке необходимо знать энергетические ($\bar{Z}$) характеристики применяемых противником средств РЭБ. При этом противник будет всячески препятствовать вскрытию параметров используемых средств РЭБ и показатель энергетической разведзащищённости РЭС может оказаться величиной неизвестной или определён с неприемлемой погрешностью. Это будет приводить к снижению вероятности правильного определения коэффициента разведзащищённости РЭС от радиоподавления.

2. Использование показателя энергетической доступности ($\bar{Z}$), представляющего отношения мощности сигнала к мощности помех на входе приёмника средства разведки не является показательным в случае, когда ОСП использует сверхширокополосные (СШП) сигналы, мощность которых лежит ниже уровня шумов.

3. Не учитывается соотношение ширины выделенного для ОСП ресурса радиочастотного спектра и реально используемого ОСП ресурса, что не позволяет при оценке разведзащищённости ОСП от радиоподавления учитывать влияние превышения или, наоборот, не полное использование ОСП доступного ей ресурса радиочастотного спектра.

Для устранения указанных недостатков предлагается усовершенствовать способ оценки разведзащищённости ОСП от радиоподавления за счёт замены энергетического показателя характеризующегося соотношением уровня сигнала и помех на входе приемного устройства средства РЭБ, энергетическим показателем, характеризующимся размерами и формой спектра СШП сигналов, излучаемых передатчиком РЭС.

Суть предлагаемого способа состоит в том, что вероятность добывания необходимых для подавления РЭС сведений представляют произведением (2) безусловной вероятности обнаружения источника радиоизлучения ($P_{\text{обн РЭС}}$) и

условной вероятности получения необходимых характеристик излучения для организации преднамеренного воздействия ($P_{ан\ РЭС}$). Для оценки указанных вероятностей используется совокупность энергетических и временные показателей. Однако, энергетические показатели характеризуются равномерностью распределения спектра СШП сигнала в заданной полосе частот ($K_{рз\ э}$), а временные показатели (9) – отражают динамику поведения во времени средств связи и РЭБ. Тогда вероятность добывания средствами РЭБ сведений, необходимых для радиоподавления

$$K_{РЗ\ РЭС} = 1 - P_{РР\ РЭС} = K_{рз\ э} \cdot K_{рз\ в}, \quad (11)$$

где $P_{рр\ РЭС}$ – вероятность добывания необходимых для подавления РЭС сведений;

$K_{рз\ э}$ – показатель энергетической защищённости РЭС;

$K_{рз\ в}$ – показатель временной разведзащищенности РЭС (9).

Предлагается в качестве показателя энергетической защищённости СШП РЭС использовать меру, характеризующуюся равномерностью распределения спектра СШП сигнала в заданной полосе частот.

Если спектр сигнала равномерен, то все гармоники в спектре имеют одинаковую амплитуду, тогда противнику сложно выявить участки спектра с повышенной (пониженной) энергией, следовательно, сложно определить факт наличия радиосигнала в шумах. Поэтому показатель энергетической защищённости предлагается представить в виде функционала вида [2]:

$$K_{рз\ э} = F[G(j\omega)], \quad (12)$$

где $F[G(j\omega)]$ – функционал преобразования функции в показатель.

Функционал (12) представляет собой переменную величину, значение которой зависит от вида функции *F*, описывающей амплитудный спектр сигнала РЭС. Исходя из понятия выпуклой функции [3] спектр – это выпуклая функция. Тогда, для описания функционала (12) воспользуемся неравенством Иенсена [3]:

$$f(\alpha_1 x_1 + \cdots + \alpha_n x_n) \geq \alpha_1 f(x_1) + \cdots + \alpha_n f(x_n), \quad (13)$$

где $y = f(x)$ – функция, выпуклая на некотором интервале, в нашем случае спектр сигнала;

$x_1, x_2, \ldots, x_n$ – произвольные числа из этого интервала, в нашем случае значения амплитуд гармоник в спектре сигнала;

$\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n$ – произвольные положительные числа, сумма которых равна единице.

Если $\alpha_1 = \alpha_2 = \ldots = \alpha_n$, и их сумма равна 1, то

$$\alpha_n = \frac{1}{n}. \quad (14)$$

Если $x_1 = x_2 = \ldots = x_n$, и их сумма равна 1, то

$$x_n = \frac{1}{n}. \quad (15)$$

Тогда выражение (13) можно записать в виде

$$f\left(\alpha_1 \right) \geq \alpha_1 \sum_n f\left(_n \right); \quad (16)$$

$$f\left(\frac{1}{n}\right) \geq \frac{1}{n}\sum_n f\left(_n \right). \quad (17)$$

Таким образом, для определения степени равномерности спектра можно использовать функционал (18), поскольку, когда все гармоники в спектре сигнала буду иметь одинаковые амплитуды, функционал (18) примет максимальное значение:

$$K_{\text{рз э}} = \sum_n f[G(j\omega_n)]. \quad (18)$$

где $f[G(j\omega_n)]$ – выпуклая функция (спектр СШП сигнала).

Радиочастотный спектр СШП сигнала представляет собой непрерывную функцию, определённую в заданном диапазоне частот от $f_{\text{н}}$ до $f_{\text{в}}$. Поэтому необходимо перейти от дискретной формы записи неравенства Иенсена к интегральной форме записи (для непрерывного спектра):

$$f\left(\int_{x_{min}}^{x_{max}} a(x)g(x)dx\right) \geq \int_{x_{min}}^{x_{max}} a(x)f\big(g(x)\big)dx; \quad (19)$$

$$\int a(x)dx = 1;\ \int g(x)dx = 1, \quad (20)$$

где $g(x)$ и $\alpha(x)$ – функции, определённые на интервале от x_{min} до x_{max} и удовлетворяющие условию (20).

С учётом (19) функционал (18) запишем в виде

$$K_{\text{рз э}} = \int_{f_{\text{н}}}^{f_{\text{в}}} f[G(j\omega)]d\omega. \quad (21)$$

Для получения показателя, имеющего аналогию в теории информации используем понятие энтропии – как меры неопределённости:

$$H(x) = -\sum_{i=1}^{m} p_i \ln p_i, \quad (22)$$

где m – число состояний системы (возможностей);

p_i – вероятность i – го состояния (возможности).

Энтропия системы принимает максимальное значение, когда все состояния системы равновероятны и, соответственно, в качестве выпуклой функции для показателя (21) можно использовать функцию вида:

$$f(x) = -x\ln x,$$

тогда, получим:

$$K_{\text{рз э}} = \int_{f_{\text{н}}}^{f_{\text{в}}} -|G(j2\pi f)| \cdot \ln[G(j2\pi f)]d\omega. \quad (23)$$

Таким образом, имеем показатель характеризующий равномерность распределения радиочастотного спектра СШП радиосистемы в заданном частотном диапазоне. Чем более равномерен (прямоуголен) радиочастотный спектр радиосистемы в заданном диапазоне частот, тем выше значение показателя разведзащищённости.

Для того, чтобы учитывать соотношение ширины выделенного для ОСП ресурса радиочастотного спектра и реально используемого ОСП ресурса, используем относительный показатель разведзащищённости:

$$K_{\text{рз эо}} = \frac{K_{\text{рз эи}}}{K_{\text{рз э}}}, \quad (24)$$

где $K_{рз\ эи}$ – показатель разведзащищённости идеализированной ОСП, спектр сигналов которой имеет прямоугольную форму и полностью совпадает с границами выделенного для ОСП ресурса радиочастотного спектра.

Тогда, математическое описание способа оценки разведзащищённости СШП ОСП от радиоподавления примет вид:

$$P_{РР\ РЭС} = \frac{K_{рз\ эи}}{\int_{f_н}^{f_в} -|G(j2\pi f)| \cdot ln[G(j2\pi f)]d\omega} \cdot \frac{1}{1+\frac{\bar{t}_{ан}}{\bar{t}_{изл}}} \quad (25)$$

Литература

1. Боговик А.В., Игнатов В.В. Эффективность систем военной связи и методы её оценки. – СПб.: ВАС, 2006. - 183

2. Силаев Н.В, Сеньков М.А., Навродский А.В., Тагаев Р.Р. Программа для определения эффективности использования спектральной полосы частот СШП системой передачи данных. М.: ОФЭРНиО ИУО РАО. Свидетельство о регистрации ЭР № 22777. Дата регистрации: 23.05.2017 г.

3. Ижболдин О., Курляндчик Л. Неравенство Иенсена // Квант. 2000. № 4. С. 7-10.

Д.Е. Никишов, студ.; рук. В.Л. Жбанова, доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

УЛУЧШЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИБОРА НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

Приборы, предназначенные, для наблюдения за объектами при недостаточной освещенности называются – приборами ночного видения. Приборы ночного видения обнаруживают и усиливают слабое излучение. Такие приборы используются как для вооруженных сил, спецслужб, так и для гражданских нужд.

Авторов интересует прицел ночной охотничий «ПНО», выпускаемый ПАО «РОМЗ» и его дальнейшее совершенствование. Этот прицел рассчитан для наблюдения за местностью и ведения прицельной стрельбы из охотничьего и промыслового оружия в условиях естественной ночной освещенности. Его совершенствование можно считать целесообразным по причине того, что модернизация уже существующих серийных приборов является более дешевой и менее времени затратной, при этом можно добиться повышения характеристик прибора.

Проанализировав строение выпускаемого прицела, можно сделать вывод, что он состоит из объектива, электронно-оптического преобразователя (ЭОП) и окуляра. Окуляр, может не подвергаться дальнейшей модернизации, так как его цель, это увеличение сравнительно малого изображения, которое поступает на окуляр с ЭОП. Используемый в приборе ЭОП имеет совершенную серию поколения II+. Из-за того что он имеет высокую чувствительность фотокатода и значительно большой коэффициент усиления яркости, он может обеспечить хорошее усиление и дальность работы прибора, при его работе в пассивном режиме. Объектив, используемый в «ПНО» считается сложным, так как состоит из большого количества линз. Потери света, в сложных объективах, могут со-

ставлять от 10% до 70%, так как происходят многократные отражения от преломляющих поверхностей. Из этого можно сделать вывод, что необходимо минимизировать потери падающего на объектив и так слабого излучения[3].

Это негативное явление можно устранить с помощью нанесения специального тонкопленочного покрытия. Тонкие пленки, нанесенные на поверхность вещества, в частности на стекло, из которого изготовляются оптические приборы, значительно влияют на отражение и пропускание света, если их толщина соизмерима с длиной световой волны. Их свойства, как и конструкция очень разнообразны. В зависимости от назначения и физических свойств покрытия делят на: просветляющие, повышающие отражение, спектроделительные, фильтры, поляризующие покрытия, светопоглощающие, электропроводящие, защитные [1].

В дальнейшем будут рассмотрены просветляющие покрытия. Просветление оптики – это уменьшение коэффициентов отражения поверхностей оптических деталей путем нанесения на них одной или нескольких непоглощающих пленок. Просветление оптики происходит за счет интерференции света, отражаемого от передних и задних границ просветляющих пленок. Интерференция приводит к взаимному «гашению» отраженных световых волн и, следовательно, к усилению интенсивности проходящего света. Таким образом, если мы нанесем такое покрытие на линзу мы сможем уменьшить отражение падающего света и тем самым обеспечить более лучшее светопропускание [2]. Следствием этого можно отметить усиление интенсивности проходящего света. Число фотоэлектронов, вырываемых светом из катода за 1 секунду, прямо пропорционально интенсивности света. Таким образом, мы, нанеся просветляющее покрытие, увеличиваем число фотонов, которые могут попасть на фотокатод, и «выбить» с другой стороны катода электроны. Далее работает ЭОП и в конце он преобразует электроны обратно, в видимый свет. Зависимость яркости свечения экрана в определенной точке, можно считать пропорциональной числу попавших на эту точку фотоэлектронов. Получается, в конце мы видим на экране ЭОП уже усиленное и преобразованное изображение объекта, которое мы наблюдаем с помощью окуляра.

Для начала проведем структурный синтез покрытия, определим структуру, количество и материалы слоев дальнейшего покрытия. Использовать однослойной покрытие считается в таком случае малоэффективным, так как оно делает просветление в очень узком диапазоне. Самым оптимальным считается многослойное покрытие. Используя многослойное покрытие, получается более широкая область спектра, в котором отражение будет минимальным. Будем использовать трехслойное покрытие типа $\lambda_0/4 - \lambda_0/2 - \lambda_0/4$. Материал для просветляющего покрытия будем выбирать из группы оксидов, так как они обладают хорошими свойствами в видимом диапазоне спектра. Среди оксидов выбираем такие материалы как: MgF_2 (магний фторид), Al_2O_3 (алюминий оксид) и ZrO_2 (цирконий IV оксид). В качестве первого напыляемого компонента берем MgF_2, благодаря своей хорошей адгезией он будет хорошо держатся на под-

ложке и создаст первый твердый слой. Затем напыляется ZrO_2, он легко совместим с пленками MgF_2. Al_2O_3 будет напыляться последним [4].

Следующим этапом будет расчет числовых параметров выбранной нами структуры. Толщину каждого слоя будем рассчитывать с помощью программы MultiSpectrum. Эта программа специально разработана для расчета и для контроля напыляемого покрытия. Так как наш объектив сложный и состоит из нескольких линз, и они различаются по материалу и показателю преломления, придется для каждого материала провести анализ с полученным покрытием.

После расчетов в программе мы получили то покрытие, которое надо наносить на каждую линзы. На рисунке видно схематичное изображение покрытия.

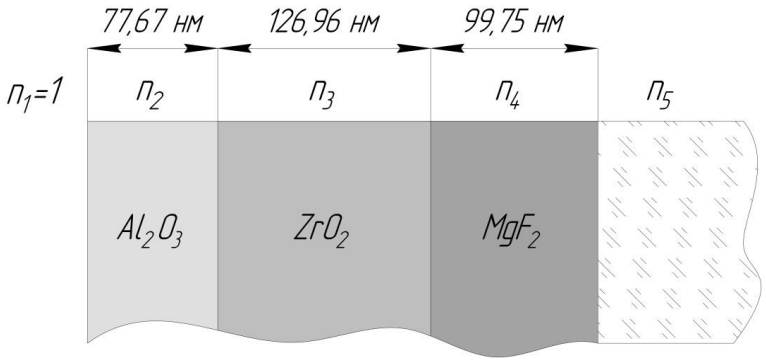


Рисунок – Полученное покрытие

Анализируя параметры толщины пленки, и количество слоев, можно сделать вывод о том, что рассчитанное нами покрытие является пригодным для напыления на установке, которое использует предприятие. Покрытие является пригодным как по толщине слоя, так и по их количеству. В таблицу занесены исходные и полученные характеристики линз объектива.

Таблица – Результаты расчетов

Материал	Отражение (R), %		Δ R,%	Пропускание (T), %		Δ T,%
	Без покрытия	С покрытием		Без покрытия	С покрытием	
ТК21	6,11	0,55	5,56	93,89	99,71	5,82
БК6	4,52	0,12	4,40	95,48	99,59	4,11
ТФ10	8,25	0,20	8,05	91,75	99,50	7,75

Анализируя полученные показатели, можно сказать, что R уменьшилась в среднем на 6% и очень близки к нулю. Пропускание наоборот почти достигло 100%, и выросло в среднем на 5,89%.

В результате проведённого расчета трехслойного покрытия, предназначенного для просветления объектива, находящегося в составе прибора, который работает в видимой области, его показатели улучшились в пределе с 440-800 нм.

Литература:
1.Лаврищев А.П. Технология тонкослойных покрытий. – М.: Машиностроение, 1983. –184с

2.Котликов Е.В. Проектирование, изготовление и исследование интерференционных покрытий / Е.Н. Котликов, Г.А. Варфоломеев, Н.П. Лавровская, А.Н. Тропин, Е.В. Хонинева. –СПб.: ГУАП, 2010. – 186с.

3.Розенберг Г.В. Оптика тонкослойных покрытий. – М.: Наука, 1991. – 349 с.

4. Никишов Д. Е., Жбанова В.Л. Подбор оптических просветляющих покрытий под материал изделия // Сборник трудов VIII Международной Научно-технической конференция «Энергетика, информатика, инновации». Смоленск Издательство «Универсум», филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, 2018. Т.2, С.198-202 с.

Д.Е. Никишов, студ.; Д.Г. Кондратьев, студ.; рук. В.Л. Жбанова, доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ЦИФРОВОГО КОЛОРИМЕТРА

Оптико-электронные приборы и системы – это большой класс приборов высокой точности. Подобные технические устройства уже стали неотъемлемой частью повседневной жизни. Но наиболее значимыми считаются приборы для экспериментальных исследований. Одними из таких приборов являются колориметры.

Для объективной оценки цвета разработан целый ряд электронных и цифровых колориметров. Основную часть прибора составляет электронный блок, позволяющий качественно заменить зрение человека. Несмотря на стремительное развитие в этой области, современные колориметры до сих пор имеют недостатки. Для решения проблем, связанных с регистрацией цвета, был предложен колориметр с оригинальной системой цветоделения [1, 2]. Для объективной оценки цвета необходимо разработать программу, которая должна обеспечивать:

- контроль за производимыми пользователем действиями;
- возможность сохранения и просмотра результатов расчета;
- дружественный пользователю интерфейс;
- удобство и простоту использования;
- возможность градуировки для получения достоверных результатов;
- минимальные требования к аппаратной и программной конфигурации компьютера.

Программа, предназначенная для расчета цветовых характеристик объекта, изображение которого, получено с помощью стандартного устройства ввода видеоинформации, должна выполнять следующие действия:

- считывать файл в формате BMP;
- предоставлять возможность выделения нескольких прямоугольных перекрывающихся областей произвольного размера на поверхности изображения;
- усреднять координаты цвета по площади выделенных областей;

- рассчитывать координаты цвета в системах *RGB* и колориметрических системах *XYZ, CIELUV* [3, 4];
- вычислять координаты цветности в этих же системах;
- рассчитывать цветовое отличие по экспериментальным и теоретическим данным, а также вычислять разницу между ними;
- сохранять результаты расчетов, а также выводить их на печать.

Эти требования определяют вид блок-схемы программы, представленной на рисунке.

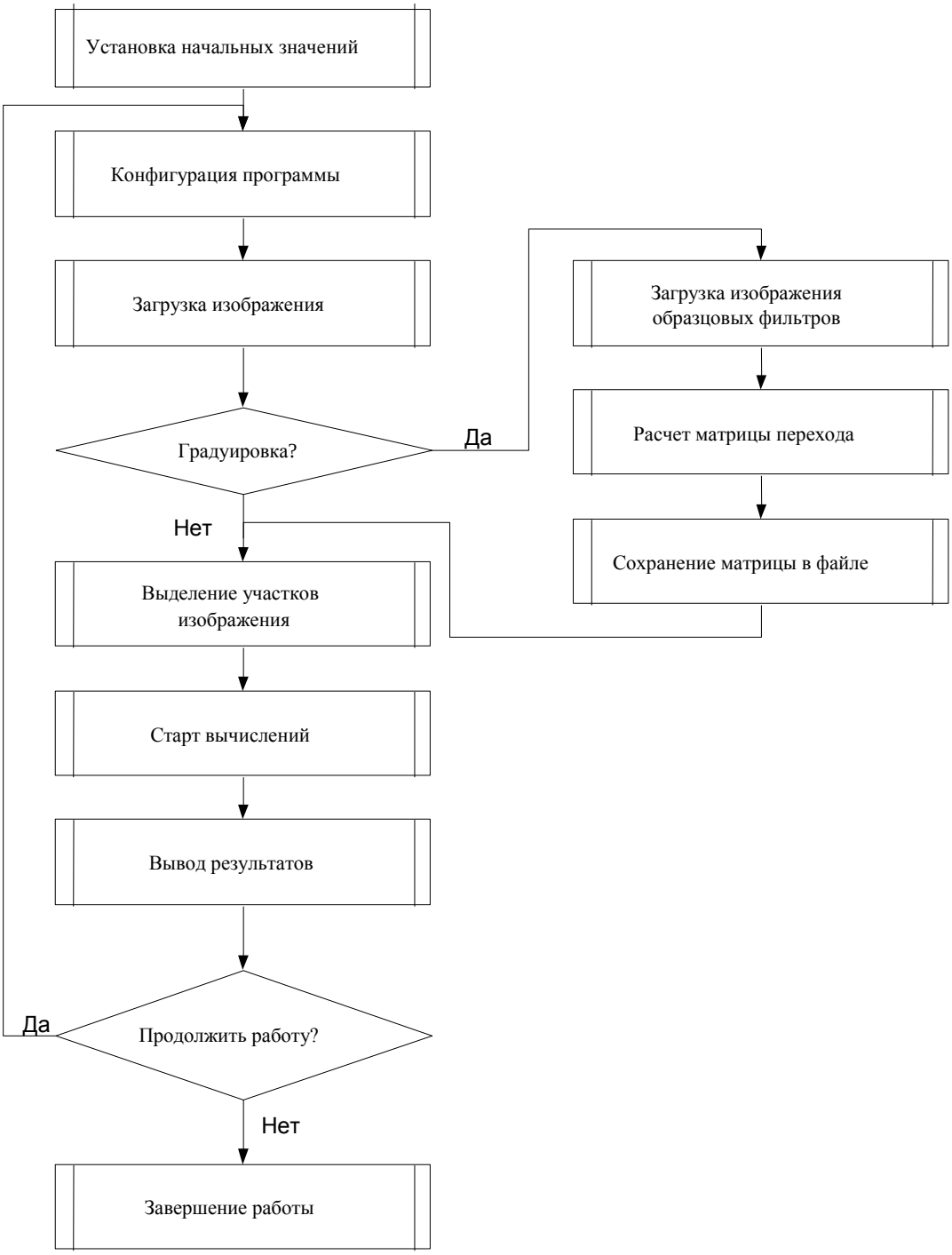


Рисунок – Блок-схема программы цветовых расчетов

Был выбран язык программирования *Object Pascal* в среде *Delphi* компании *Inprise* с использованием механизма доступа к данным *Borland Database Engine* (*BDE*). *Delphi* обладает простым синтаксисом и стройным, легко читаемым кодом, позволяющим освоить язык в короткие сроки, удачной проработкой иерархии объектов. *Delphi* имеет высокую скорость создания программных продуктов, требует значительно меньше вычислительных ресурсов и выше скорость работы приложений, чем *Java*.

После запуска осуществляется установка начальных значений и настройка конфигурации программы, подготавливающие необходимые для вычислений базы данных.

После этого производится загрузка графического файла формата *BMP*, содержащего изображение исследуемого образца. Затем, если это необходимо, производится градуировка, которая требует дополнительной загрузки изображений образцовых светофильтров и расчета по ним матрицы переходов.

После окончания градуировки можно, выделяя требуемые участки изображения исследуемого образца, рассчитать его цветовые параметры.

Также была выбрана программа «*Estimation of color*» (*EOF*), предназначенная для определения координат цвета и цветности, а также цветовых отличий прозрачных образцов (светофильтров, стразов и др.) по их графическим изображениям, полученным различными средствами, например, с помощью программы *Live*3000 (программа видеозахвата). Программа написана на языке программирования Delphi с использованием механизма доступа к базам данных *BDE*. Программа работает под управлением операционной системы *Windows* 2000 и выше, а также *Windows NT* с установленным *Service Pack* версии не ниже 3. Для работы программы необходим компьютер с процессором не ниже *Pentium* и объемом памяти не менее 32 Мб, видеокартой с *TV*-входом и программой захвата видеоизображения (например, *Live*3000).

В программе *EOF* создаются два объекта: *TMainForm* и *TBMP*. *TMainForm* обеспечивает главные режимы работы программы: формирование различных диалоговых окон, все необходимые расчеты, а также удобную возможность управления программой. Объект *TBMP* реализует считывание *BMP*-файла, а также предоставляет доступ ко всей информации, содержащейся в *BMP*-файле.

Для управления системой оцифровки изображения было использовано стандартное программное обеспечение (ПО) – драйвер Live 3000, поставляемый с видеокартой. Данное ПО позволяет производить фокусировку изображения, его захват и оцифровку с разрешением от 352x200 до 1024x678 пикселей в 24-разрядном цветовом режиме. Сохранение видеоданных допускается в виде файлов формата *.BMP* и *.AVI*. *AVI* – это формат, позволяющий захватывать динамические изображения, а также реализовать покадровый просмотр изображения.

Таким образом, было подобрано программное обеспечение для захвата изображения и разработана программа для цветовых расчетов в системах *XYZ* и *CIELUV*, что в дальнейшем будет применено в экспериментальных исследованиях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-37-00176.

Литература:

1. **Жбанова В.Л. Измерение цветности на основе цифровой камеры // Сб. тез. докл. «Молодые светотехники России».** М.: ВИГМА, 2014. С. 57–58.

2. Жбанова В.Л., Парвулюсов Ю.Б. Принципы построения колориметра для оценки насыщенных цветов // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2017. №5. С. 122-126.

3. Кривошеев М.И., Кустарев А.К. Цветовые измерения. – М.: Энергоатомиздат, 1990. 240с.

4. Мешков В.В., Матвеев А.Б. Основы светотехники: в 2-х ч. Ч.2. Физиологическая оптика и колориметрия. – М.: Энергоатомиздат, 1989. 432с.

В.А. Орехов, соиск.; С.А. Образцов, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АНАЛОГОВЫХ ПРОТОТИПОВ

Цифровые системы управления ключевыми преобразователями находят все большее распространение, постепенно вытесняя аналоговые. Однако во многих работах, например [1], рассматривается только лишь дискретный съем значений переменных состояния объекта, а управление осуществляется по аналоговым законам, как правило, ПИД. Использование же цифровых законов регулирования позволяет получить существенно лучшие характеристики системы управления.

Показано, что ключевой преобразователь с амплитудно-импульсной модуляцией и детерминированными моментами коммутации может быть точно описан с помощью дискретной модели с шагом дискретизации, равным периоду повторения *T*,

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{H}\mathbf{x}(k) + \mathbf{G}\mathbf{u}(k). \qquad (1)$$

В случае широтно-импульсной модуляции процессы в преобразователе описываются нелинейными уравнениями относительно управляющего воздействия $\mathbf{u}(k)$. Однако при достаточной инерционности силовой части преобразователя случай ШИМ может быть сведен к рассмотрению АИМ.

Дискретная модель позволяет значительно упростить исследование динамики преобразователя при использовании цифровой системы управления. Кроме того, несложно показать, что для системы, описываемой уравнением (1), существует управляющее воздействие $\mathbf{u}(k)$ такое, что переходные процессы в системе имеют конечную длительность.

Спецификой преобразовательной техники является наличие ограничения на управляющее воздействие вида $0 \le \|\mathbf{u}(k)\| \le U_0$. Такое ограничение очень сложно описывается аналитически при синтезе системы управления из-за нелинейности и разрывов производной. Поэтому поиск оптимального управления вызывает значительные затруднения.

Предлагается использовать следующий алгоритм. На каждом шаге находят оптимальное управление, переводящее систему в установившееся значение за N шагов,

$$\mathbf{u}(k) = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 & \mathbf{H}^{N-1}\mathbf{G} & \mathbf{H}^{N-2}\mathbf{G} & \dots & \mathbf{HG} & \mathbf{G} \end{bmatrix}^{-1} (\mathbf{x}_F - \mathbf{H}^N \mathbf{x}(k)), \qquad (2)$$

где $\mathbf{x}_F$ — требуемое состояние, N — порядок системы. Полученный вектор $\mathbf{u}(k)$ подвергается требуемому ограничению.

Данный алгоритм позволяет получить переходный процесс конечной длительности. На рис. 1 представлена динамика преобразователя постоянного тока с использованием алгоритма управления (2) в случае ШИМ в сравнении с динамикой преобразователя с упреждающим токовым управлением, использующего дискретный наблюдатель состояния и цифровой ПИД-регулятор. Переходный процесс в преобразователе с рассматриваемой СУ близок по длительности к переходному процессу без наличия ограничений на управляющее воздействие.

Из выражения (2) следует, что вектор управления $\mathbf{u}(k)$ определяется матрицами системы **H** и **G**. При изменении параметров силовой цепи преобразователя и нагрузки изменяются коэффициенты матриц, при этом качество управления ухудшается. Для дискретной модели (1) получен простой алгоритм [2], осуществляющей ее идентификацию в течение переходного процесса с задержкой на N тактов.

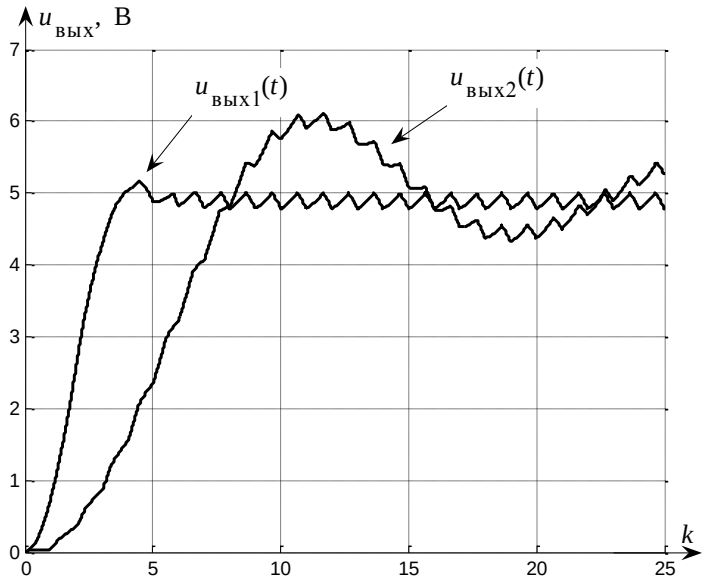


Рис. 1. Переходный процесс пуска преобразователей с рассматриваемой системой управления (1) и с упреждающим токовым управлением (2)

Алгоритм (2) учитывает только лишь N тактов, поэтому при достаточно большой инерционности силовой части преобразователя $\tau >> NT$ данный алгоритм не приводит к требуемым результатам. Исследования показали, что в этом случае система управления вырождается в релейную, причем вектор управляющего воздействия $\mathbf{u}(k)$ приобретает только два значения — нулевое и максимальное (рис. 2, $u_1(k)$). Однако после того, как релейный механизм при-

близил состояние системы к установившемуся, система управления завершает переходный процесс за близкое к N количество тактов (рис. 2, кривая $u_{\text{вых1}}(t)$). Таким образом, алгоритм (2) может быть применен лишь в малоинерционных преобразователях.

Пусть длительность оптимального переходного процесса в инерционном преобразователе составляет n тактов.

Тогда оптимальное управление $\mathbf{u}^0(k)$ может быть получено решением системы

$$\begin{cases} \mathbf{x}_F = \mathbf{H}^n \mathbf{x}(0) + \sum_{k=0}^{n-1} \mathbf{H}^k \mathbf{G} \mathbf{u}^0(k) \\ U_{\min} \le \left\| \mathbf{u}^0(k) \right\| \le U_{\max} \end{cases} \qquad (3)$$

Система (3) имеет размерность $n \times N$, поэтому определение $\mathbf{u}^0(k)$ достаточно затруднительно. В данной работе решение системы получено с использованием методов дискретной оптимизации, имеющих большую вычислительную сложность. Динамика преобразователя с оптимальным управлением представлена на рис. 2 (кривая $u_{\text{вых2}}(t)$). Как видно из рисунка, оптимальное управление обеспечивает высокое качество переходного процесса.

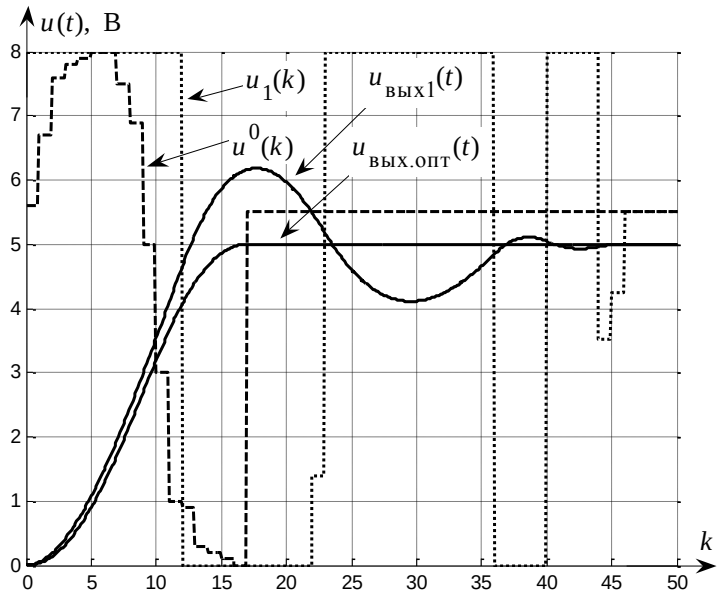


Рис. 2. Пуск преобразователя с инерционной силовой цепью

Очевидно, что система (3) может иметь множество решений, для выбора конкретного решения необходимо дополнительное условие. В качестве такого условия предлагается использовать условие минимума энергии управления при переходном процессе [2], что соответствует условию минимума функционала $J = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{n-1} \mathbf{u}^T(k) \mathbf{R} \mathbf{u}(k) \to \min$.

Таким образом, для нахождения оптимального управления при наличии ограничений на управляющее воздействие необходимо решить две задачи: определить длительность переходного процесса n и решить систему уравнений

(3). Такой метод является прямым и имеет большую вычислительную сложность, что не позволяет использовать его при управлении в реальном времени.

В настоящее время ведется поиск методов определения оптимального управления, имеющих меньшую вычислительную сложность.

Литература

1. Zhou C., Zhang Q., et al. A general digital PID controller based on PWM for buck converter // Proceeding of the 11th World Congress on Intelligent Control and Automation, Shenyang, 2014, pp. 4596-4599.
2. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления. М.: Машиностроение, 1986.

Е.Д. Павловский, студ.; рук. Е.Л. Царегородцев, к.т.н., доц.
(Смоленский ЦМИТ "ЗАВАНТ")

ПРОЕКТ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВЕ САПР KiCad

Для ремонта и регулировки радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) одними из основных методов являются следующие:

1. Метод анализа монтажа. Он позволяет определить место дефекта или направление дальнейшего поиска с помощью органов чувств человека (зрения, слух, обоняние, осязание);
2. Метод измерений. Основан на использовании различных контрольно-измерительных приборов в процессе нахождения неисправностей;
3. Метод замены. Позволяет достаточно быстро определить место неисправности в радиоэлектронной аппаратуре;
4. Метод эквивалентов, заключается в замене части схемы ремонтируемого изделия другим узлом или набором радиоэлементов оказывающих в результате такое же воздействие как и отсоединенная схема.

Интерес вызывает метод измерений. Для его реализации широко используют измерительные генераторы (функциональные генераторы) — приборы, преобразующие энергию постоянного тока в энергию электрических колебаний известной величины, частоты и формы. По диапазону генерируемой частоты измерительные генераторы могут разделяться на низкочастотные, звуковые, высокочастотные и сверхвысокочастотные. Это обусловлено конструктивными особенностями, например, колебательных цепей и усилительными элементами (полупроводниковыми приборами, интегральными микросхемами и др.).

Основу метода измерений составляет способ воздействия, который заключается в том, что специалист, осуществляющий ремонт РЭА, воздействует на различные участки схемы. Реакция устройств на эти воздействия дает дополнительную информацию о месте нахождения дефектов. Как раз для этих целей и применяются функциональные генераторы.

Рассмотрим аналоговый генератор специальных сигналов: прямоугольного, треугольного и синусоидального, принципиальная схема которого представлена на рисунке 1.

Генерация осуществляется в двух перекрывающихся диапазонах, переключение между которыми происходит с помощью джампера JP1. В крайнем левом положении диапазон частот составляет 10…1000 Гц, в крайнем правом 200…50 000 Гц. Перестройка частоты осуществляется потенциометром RV1. Генератор собран на счетверённом операционном усилителе U1. Элемент U1A представляет собой триггер Шмитта и вырабатывает прямоугольные импульсы (меандр), которые поступают на интегратор U1B и преобразуются в треугольные. Синусоидальный сигнал получается путём логарифмирования треугольного на диодах D1…D4. Элементы U1C и U1D служат выходными буферами. Элемент U2A создает виртуальную “землю” при однополярном питании.

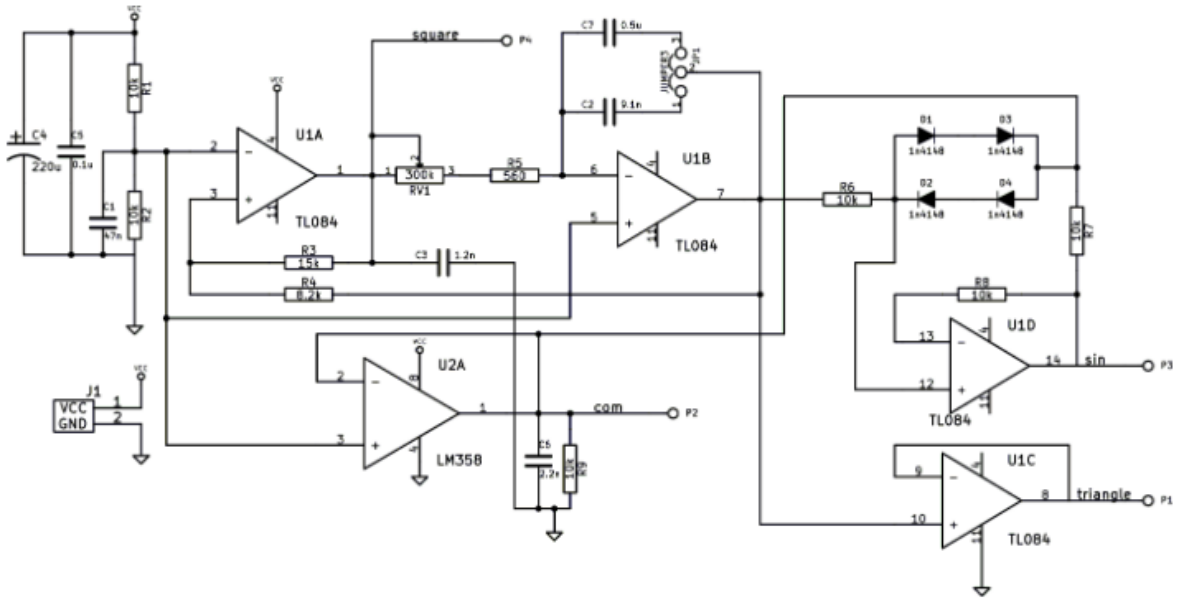


Рисунок1- Принципиальная схема функционального генератора

Современное программное обеспечение из класса систем автоматизированного проектирования существенно облегчает исследователям и проектировщикам решать задачи по созданию различных печатных плат принципиальных схем узлов. Особое внимание заслуживает редактор KiCad - бесплатный пакет, предназначенный для создания электрических схем, разработки печатных плат, осуществления сквозного проектирования (в автоматическом режиме) и составления выходной документации для производств.

Технические характеристики проектируемого генератора следующие:

номинальное напряжение питания: 9...18 В;

тип сигналов: прямоугольный; треугольный; синусоидальный;

диапазон частот 10...50 000 Гц.

Для создания лабораторного макета рассмотренного устройства в соответствии с его принципиальной схемой использовался программный комплекс для автоматизации электронного проектирования KiCad.

В пакете имеется шесть компонентов: Eeschema (Редактор схем), CvPcb (сопоставление посадочных мест компонентам), Pcbnew (редактор печатных плат), gerbview (программа просмотра Gerber файлов), Bitmap2 Component (инструмент для создания логотипа из изображения), универсальный калькулятор печатных плат.

KiCad использует интегрированную среду для всех этапов процесса проектирования: схемотехника, расположение печатной платы, генерация (визуализация) файлов Gerber и редактирование библиотеки.

KiCad является кросс-платформенной программой. Доступно множество компонентов библиотек. Также имеются инструменты, которые могут помочь с импортом компонентов из других утилит систем автоматизированного проектирования. Файлы конфигурации документированы и являются простым текстом.

Проект принципиальной схемы лабораторного макета генератора сигналов средствами KiCad изображен на рисунке 2.

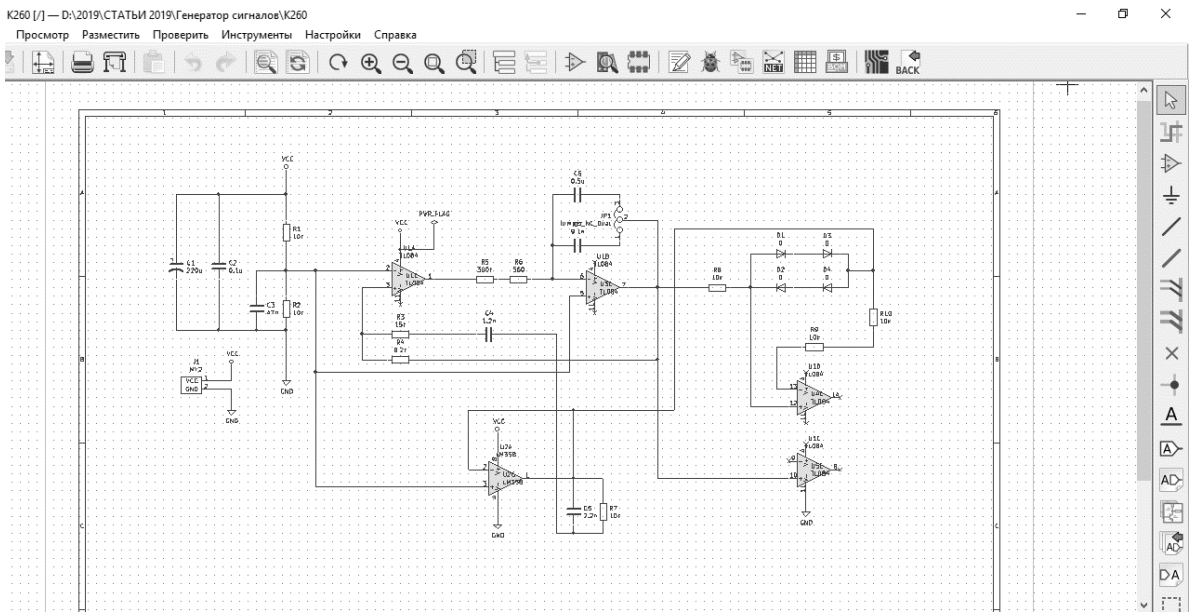


Рисунок 2 - Проект принципиальной схемы в САПР KiCad

Общий вид 3D модели представлен на рисунке 3.

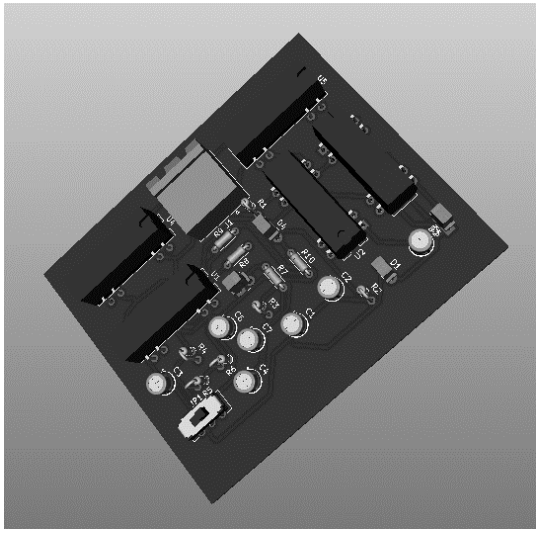


Рисунок 3- 3D-модель генератора сигналов в САПР KiCad

Проверка схемы с помощью используемого САПР показала ее предварительную работоспособность. В соответствии с выполненным проектом был собран лабораторный макет (рисунок 4), который полностью показал свою работоспособность по функциональному предназначению.

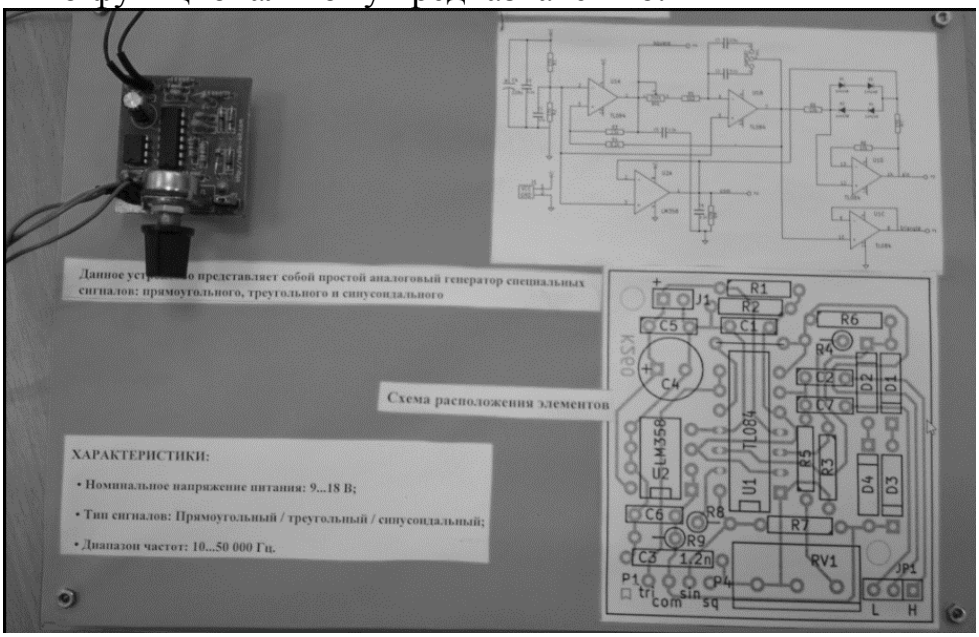


Рисунок 4 - Лабораторный макет генератора сигналов

Таким образом, современные компьютерные САПР значительно облегчают проектирование печатных плат практически любой сложности с достаточной степенью эффективности, что с успехом подтверждается практикой.

Литература

1. Столовых А.М. Практические советы по ремонту бытовой радиоэлектронной аппаратуры. Книга 2. М.:СОЛОН-Пресс, 2005. 160 с. (Серия “Библиотека ремонта”).
2. http://www.techeducator.ru/dexius-15-1.html.

В.Р. Парфенов, студент; рук. С.А. Образцов, к.т.н., доцент
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТИПА СЕТИ ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Интернет вещей *(Internet of Things, IoT*) с каждым годом становится все более востребованной технологией, так как существенно улучшает существующие человеко-машинные интерфейсы. Используя Интернет вещей, человек из любой точки мира может контролировать свою собственность и управлять ею с помощью облачных сервисов. На рынке появляется все больше устройств и модулей, однако, зачастую трудно разобраться, что именно нужно для определенного проекта. Целью данной работы является анализ существующих решений и формирование рекомендаций по их выбору для реализации технологии Интернета вещей.

Обоснованный выбор микроконтроллера для Интернета вещей определяется типом беспроводной сети, которая зависит от назначения будущего устройства. В настоящее время существует множество беспроводных сетей, сравнивая которые нельзя однозначно сказать, что одна лучше другой. У каждой есть свои преимущества и недостатки (таблица 1).

Таблица 1– Беспроводные сети для интернета вещей

Беспроводная сеть	Достоинства	Недостатки
Bluetooth	Высокая скорость 1 *Мбит/с;* высокая популярность; гарантированная совместимость; малое энергопотребление; поддержка стека протоколов *TCP/IP*.	Радиус действия до 100 метров; интерференция и помехи из-за диапазона частот 2,4 *ГГц*.
GSM, LTE	Высокая популярность; низкий уровень помех; у *LTE* присутствует поддержка стека протоколов *TCP/IP*; высокая скорость *LTE (*320 *Мбит/с);* высокая проникающая способность у *LTE*.	Высокое энергопотребление; дорогие тарифы; у *GSM* отсутствует поддержка стека протоколов *TCP/IP*; малая скорость *GSM* (9,6 *Кбит/с*); малая проникающая способность у *GSM*.
Wi-Fi	Высокая популярность; гарантированная совместимость; поддержка стека протоколов *TCP/IP*; высокая скорость передачи данных; шифрование *WPA2*; излучение в 10 раз меньше *GSM*.	Малая проникающая способность; ограниченный радиус действия (до 500 метров); высокое энергопотребление; интерференция и помехи из-за диапазона частот 2,4 *ГГц*.
ZigBee	Малое энергопотребление; ретрансляция данных; в одной сети до 65000 устройств; высокая помехоустойчивость; высокий уровень безопасности; поддержка стека протоколов *TCP/IP*.	Малая проникающая способность; низкая скорость (250 *Кбит/с*); радиус действия; низкая популярность.

Персональная сеть *Bluetooth* используется в настоящее время для периферии мобильных устройств и компьютеров (наушники, принтер, компьютерная мышь), поскольку обладает малым радиусом действия и совместима практически с любым современным устройством, при этом обладая достаточно высокой скоростью передачи данных (1 *Мбит/с*). Версия 4.0 ядра спецификации *Bluetooth* и выше, позволяет устройствам поддерживать стек протоколов *TCP/IP*, а также она определяет беспроводную технологию *Bluetooth Low Energy* (*BLE*), существенным достоинством которой является сверхмалое энергопотребление, что позволяет перейти на батарейное питание, которое поддерживает работу устройства, благодаря режиму «сна», в течение многих лет. В июле 2017 года компания *Bluetooth SIG* объявила переход на многоячейковую сеть, что отражено в версии 5.0. Данные особенности сделали технологию популярной и позиционируют её как идеальное решение для Интернета вещей, но технология относительно новая и, соответственно, очень дорогая.

Сеть *GSM* морально устарела, но надежна и используется до сих пор по всему миру. Для Интернета вещей она подходит, но дорогие тарифы сотовых операторов, высокое энергопотребление, неудобство создания будущего интерфейса заставляют задуматься о более рациональном способе. На сетях *GSM* можно построить, например, сигнализацию, которая будет информировать человека о взломе или угоне через *SMS*.

Консорциум 3*GPP* в июне 2016 года представил новый стандарт сотовой связи *NB-IoT (Narrow Band Internet of Things)*, система которой построена на *LTE*. Это большой шаг вперед для интернета вещей. Пропускная способность увеличена, а энергопотребление было снижено — это дало системе не зависеть от таких сетей, как *ZigBee* и *Bluetooth*. Теперь, когда интернет вещей стал независим, можно построить устройство практически любой сложности. Но система, в силу своей новизны, дорогая и доступна каждому будет только через время. Первым шагом по удешевлению стало интегрирование функционала *SIM*-карты в микроконтроллер (стандарт *RSP*).

Самым популярным решением создания интернет вещей в данный момент является сеть *Wi-Fi*. Обусловлено это тем, что сеть распространена повсеместно (фактически присутствует в каждом устройстве), при этом есть выход в интернет на высокой скорости (стандарт *IEEE* 802.11*n* способен развивать скорость до 600 *Мбит/с)*. Сеть обладает меньшим излучением, чем, например, сеть *GSM*, поэтому является более безопасной. Главными недостатками сети явились малая проникающая способность и высокое энергопотребление, что создало необходимость использовать преобразованное сетевое напряжение с помощью блоков питания. Тем не менее, *Wi-Fi* сеть открывает возможность существования интернет вещей. Благодаря такой сети можно создать множество устройств, которыми можно управлять и считывать с них данные с любой точки мира, при этом соединение можно назвать бесплатным, поскольку *Wi-Fi* подключается к уже проплаченной сети и отдельно платить за интернет, подведенный к устройству не нужно. Таким образом, *Wi-Fi* действительно является самой рациональной и доступной сетью для интернета вещей.

Сенсорная сеть *ZigBee* обладает способностью расширять границы своего действия за счет увеличения количества модулей. Каждый модуль представляет собой как приемник, так и передатчик сигнала, причем все модули связаны между собой одной многоячейковой топологией. По этой причине данная сеть считается самоорганизующейся и самовосстанавливающейся. Кроме того, что данные передаются к ближайшему такому же устройству, они постоянно ретранслируются, поэтому сигнал гарантированно дойдет до места назначения. Главное достоинство для интернета вещей: в сетях *ZigBee* низкое энергопотребление, которое обеспечивается режимом «сна», отключающем питание при отсутствии сигнала (на одной батарейке АА система способна функционировать до трех лет). Последствием такой надежности стала малая скорость передачи данных (250 *Кбит/с)*. Поддержка стека протоколов *TCP/IP* реализуется с помощью технологии 6*LoWPAN*, которая взаимодействует поверх маломощных беспроводных персональных сетей стандарта *IEEE* 802.15.4 по протоколу *IPv*6.

Самый обоснованный выбор типа сети для интернета вещей использовать как минимум 2 сети: сеть с возможностью выхода в интернет и сеть с низким энергопотреблением. Но не все сети совместимы и приходится организовывать специализированые шлюзы, чтобы осуществить выход в интернет. Подобное решение дорогое и технически сложно реализуемое, поэтому лучше использовать, к примеру, сеть *ZigBee* совместно с сетью *Wi-Fi*, поскольку расширение 6*LoWPAN* позволяет использовать стек протоколов *TCP/IP*. Технология *ZigBee* совместно с расширением 6*LoWPAN* реализуется на одном модуле и выполняется по типовой структуре аппаратной части беспроводного решения, состоящей из микроконтроллера, приемопередатчика, схемы согласования и приемопередающей антенны. Эта система, совместно с *Wi-Fi* была бы лучшим решением для дистанционного управления с любой точки планеты, чем и является, по сути, интернет вещей.

Схемы для проектов интернета вещей очень разнообразны и у каждой свои нюансы. Например, с обнаружением активности камера записывает видео и отправляет сигнал тревоги через встроенный модуль *ZigBee* на шлюз, (передающий данные на канальном уровне между 6*LoWPAN* и *Wi-Fi)*, после чего сигнал через роутер поступает на сервер, а он в свою очередь синхронизируется со смартфоном. Для освещения данная система работает в обратном порядке: от смартфона до лампы. На рисунке 1 изображена простая схема организации интернета вещей на сетях *Wi-Fi* и *ZigBee*.

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать вывод: некоторые технологии, которые стали бы идеальным решением, в силу своей новизны недоступны, а большинство сетей в полной мере не отвечает нужным параметрам для Интернета вещей, но если такие сети объединить и строить проект на нескольких сетях, система становится более гибкой. Сети *Wi-Fi* и *ZigBee* в данном случае являются наилучшем сочетанием по таким критериям как энергопотребление, цена и совместимость на уровне стека протоколов *TCP/IP*.

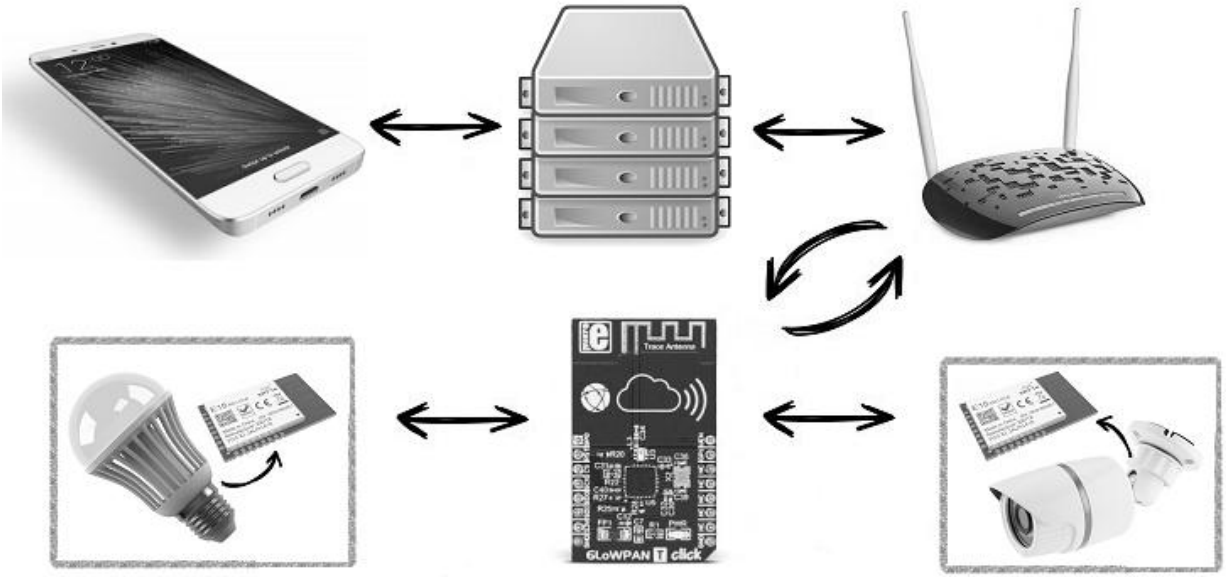


Рисунок 1 – Схема организации интернета вещей на сетях *Wi-Fi* и *ZigBee*

Литература

1. Как выбрать стандарт связи для сети IoT // HABR.COM : блог компании Command Spot. 2016. 25 фев. URL: https://habr.com/ru/company/commandspot/blog/390825/ (дата обращения: 14.02.2019).

2. Калачев А. 6LoWPAN – взгляд на беспроводные IP-сети от Texas Instruments // COMPEL.RU : журнал «Новости Электроники». 2012. № 1. URL: https://www.compel.ru/lib/ne/2012/1/8-6lowpan-vzglyad-na-besprovodnyie-ip-seti-ot-texas-instruments (дата обращения 28.02.2019).

3. Texas Instruments Использование беспроводных МК SimpleLink™ для создания малопотребляющих Thread- и Zigbee-устройств // COMPEL.RU : журнал «Новости Электроники». 2018. № 5. URL: https://www.compel.ru/lib/ne/2018/5/3-ispolzovanie-besprovodnyih-mk-simplelink-x2122-dlya-sozdaniya-malopotreblyayushhih-thread-i-zigbee-ustroystv (дата обращения 26.02.2019).

Д.В. Пашин, курс.; рук. В.В. Сухотин, к.т.н., доцент; А.В. Фатов, к.т.н.
(ВА ВПВО ВС РФ в г. Смоленске)

НАТУРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ОБЛАЧНОЙ АТМОСФЕРЫ В ИНФРАКРАСНОМ И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ДИАПАЗОНАХ ДЛИН ВОЛН

Оптико-электронные устройства, предназначенные для обнаружения и измерения угловых координат воздушных объектов, должны обеспечить решение задачи выделения полезного сигнала на фоне естественных помех, создаваемых облачной атмосферой. Системы военного назначения должны обеспечить решение этой задачи и на фоне организованных помех, создаваемых противником, т.к. в реальных условиях вполне возможна ситуация, когда на оптико- электронное устройство при его работе, кроме мешающего влияния естественных помех, будет иметь место влияние искусственных (преднамеренных) помех.

Исходя из этого вполне понятно, что при разработке оптико-электронных устройств обнаружения различных объектов на фоне неба возникает необходимость в знании характеристик фоновых излучений, которые представляют собой помехи естественного происхождения. Знание таких характеристик и их учет

при разработке ОЭУ позволяет решать задачи обнаружения воздушных объектов на фоне мешающих излучений с требуемой вероятностью.

В связи с этим, возникает проблема решения задачи обнаружения воздушных целей обзорными оптико-электронными устройствами, которая опиралась бы на систему данных, полученных в ходе экспериментальных исследований.

Для решения данной задачи считается целесообразным применять многоканальные оптико-электронные системы, использующие различные диапазоны оптического спектра, поскольку в разных диапазонах воздействие искусственных помех на оптико-электронное устройство проявляется по-разному. Для этого необходимо предпринять усилия в измерении характеристик помеховых излучений облачного неба в нескольких диапазонах волн для одного и того же участка небосвода, получаемые в одном и том же временном интервале.

Задачу получения таких характеристик можно решить с помощью специального многоканального комплекса аппаратуры, позволяющего проводить регулярные измерения яркостей неба и, на основании обработки измерительной информации, создавать модели излучения неба в заданных диапазонах длин волн для различных метеоситуаций.

Измерительный комплекс, удовлетворяющий вышеуказанным требованиям, был создан в Военной академии войсковой ПВО ВС РФ. В процессе использования он непрерывно совершенствовался, что позволяло повышать его эксплуатационные характеристики и технические возможности.

Данный измерительный комплекс обеспечивает:

приём энергии оптического излучения в диапазонах длин волн, соответствующих окнам прозрачности атмосферы;

сканирование пространства измерительными приборами по выбранному закону;

регистрацию результатов измерений и их долговременное хранение на магнитных или оптических носителях;

обработку результатов измерений в соответствие с принятой методикой.

Измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) состоит из двух взаимодействующих частей. Устройство измерения размещалось на крыше здания, на высоте около 30 метров над поверхностью Земли. Оно состояло из платформы, на которой размещены два радиометра, один из которых работает в диапазоне 0,3–0,44 мкм, а второй, двухканальный, - в диапазонах 3–5 и 8–13 мкм. Подвижная платформа позволяла перемещать поле зрения радиометров с помощью двух электромеханических приводов по углу места в диапазоне $0–85^0$ и по азимуту в диапазоне 0–360°.

Устройство вычисления включало в себя аппаратуру управления сканированием и измерительную систему. Сканирующая аппаратура обеспечивало управление положением платформы либо в автоматическом режиме, с помощью ЭВМ, либо в ручном режиме.

Основной частью ИВК являются радиометры, которые обеспечивают прием, преобразование и усиление энергии оптического излучения в трех диапазонах длин волн оптического излучения.

В ходе модернизации измерительного комплекса проведено совершенствование его измерительной части. Для обработки результатов измерений, использовалась современная и достаточно мощная ЭВМ – ноутбук «*Fujitsu - Siemens*» *Амило Pro V2065*. Ее связь с выходами радиометров обеспечивается с помощью модуля сопряжения *L-CARD E-14-440*.

Для обработки результатов измерений пространственных распределений яркостей излучения облачного неба использовался пакет прикладных программ *L-GRAPF*. Проведенная модернизация ИВК позволила улучшить оперативность обработки результатов измерений.

Аппаратура ИВК обладала следующими возможностями:

скорость сканирования пространства составляла 18 градусов в секунду при высокой точностью отработки задаваемых координат;

прием и регистрация энергии оптического излучения обеспечивается в диапазонах 0,3–0,44, 3–5 и 8–13 мкм.

Методика проведения эксперимента позволяла провести статистическую обработку компонентных поверхностей, для получения которых необходимо было организовать многократный обзор пространства растровым методом в заданных секторах небесной сферы по углу места и азимуту.

В ходе обзора яркость измерялась дискретно по пространству с интервалом дискретизации $\Delta\varepsilon$ и $\Delta\beta$, а по времени – Δt, равным периоду обзора растра. В результате этого ЭВМ, входящая в состав измерительной аппаратуры, фиксировала информацию о яркости излучения, координатах линии визирования и времени измерения.

Это позволило в рамках одного эксперимента получить пространственно-временную и спектральную структуру оптических помех одновременно, что приводит к сокращению времени исследований, а при использовании современной быстродействующей измерительной и вычислительной аппаратуры дает возможность приблизить исследование излучения оптических помех к реальному масштабу времени.

Измерительная информация, полученная в процессе проведенных экспериментов, использовалась для выявления зависимостей яркостей излучения неба от угловых координат и построении моделей излучения неба в диапазонах 3–5, 8–13 и 0,3–0,44 мкм. Кроме того, эти данные использовались для построения моделей корреляционных связей между флюктуациями яркостей в различных диапазонах оптического спектра.

Литература

1. Радиометры оптические. Методика энергетической градуировки. Стандарт предприятия п/я Р-4671. СТП АД 12 – 73, 51 с.

2. Сухотин В.В., Якименко И.В. Исследование взаимных корреляционных связей между флуктуациями яркостей излучения атмосферы в различных диапазонах // Материалы 22 ВНК ВА ПВО СВ РФ. 2014. С.34-38.

3. Сухотин В.В., Жендарев М.В. Несколько направлений корреляционного метода обработки оптической информации в пределах матрицы измеренного пространственного распределения излучения // Математическая морфология. Электронный математический и медико-биологический журнал.- Т.10. - Вып.1. -2011

А.А. Пентелейчук, ст.; С.А. Образцов, к.т.н., доцент
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОДИОДАМИ С ПОМОЩЬЮ БАЛЛАСТА ОТ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ЛАМПЫ

В данной статье рассматривается способ подключение светодиодных ламп типа T8 и T5 в светильники для люминесцентных ламп, оснащенные дросселями, без их демонтажа. Приведены формулы расчета, схемы соединения элементов, указаны исследованные объекты. Результатом работы является схема, которая может быть встроена в светильник для изменения типа используемых ламп.

Ключевые слова: светодиод, люминесцентные лампы, дроссель, источник питания

Благодаря развитию светодиодов повышенной яркости, твердотельное освещение начинает занимать лидирующие позиции на рынке. Для административных зданий и магазинов выбирается светодиодное освещение, а не люминесцентное, поскольку оно обладает высокой эффективностью, быстрым запуском, поддерживает диммирование и не требовательно к техническому обслуживанию. Однако замена люминесцентного источника освещения будет включать не только стоимость новых светодиодных светильников, но и трудовых затрат. Для снятия балласта люминесцентного источника освещения требуется длительное время, поэтому трудозатраты и время простоя оборудования будут занимать значительную часть общих затрат на модернизацию. Для управления люминесцентными лампами нужен источник переменного электрического тока. Если используется источник напряжения, схема будет нестабильной из-за характеристики отрицательного сопротивления лампы. Ток лампы определяется производителем лампы, и балласт должен быть изготовлен так, чтобы ток превышал диапазон напряжения лампы.

Для светодиодов нужен источник напряжения постоянного тока. Простая схема мостового выпрямителя позволит светодиодной ленте работать от выхода балласта, если ток и напряжение светодиода находятся в разумных пределах по отношению к характеристикам люминесцентной лампы. Ток высокой частоты от электронных балластов потребует использования импульсных диодов, таких как STTH102 или STTH1R02 от компании ST. Светодиоды самостоятельно будут ограничивать обратное напряжение диода. На Рисунке 1 показана общая схема балласта, который преобразует напряжение переменного тока в напряжение постоянного тока

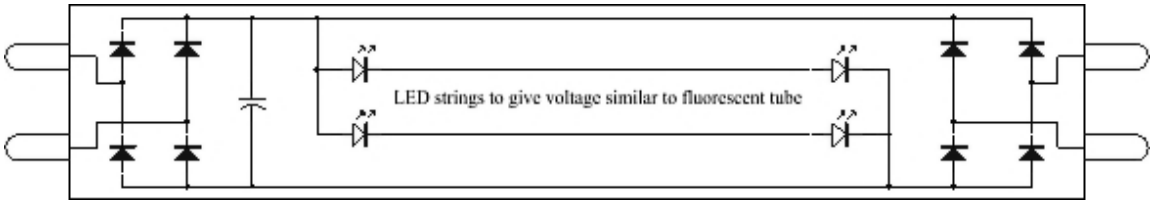


Рисунок 1 Балласт, который преобразует напряжение переменного тока в напряжение постоянного тока

Мост для каждого конца люминесцентной лампы отвечает за нить обмотки в некоторых типах балласта. Если балласт имеет только один выход для каждого конца, тогда одну пару диодов на каждом конце следует отключить. Выходной ток балласта обычно представляется как среднеквадратичная величина. Мы можем вычислить ток светодиода по следующей формуле:

$$I_{LED} = \frac{2 * \sqrt{2}}{\pi} * I_{ballast}$$

Для длительного срока эксплуатации необходимо установить конденсатор для снижения пульсирующей компоненты постоянного тока, которая воздействует на светодиоды. Его номинал выбирается в зависимости от напряжения и тока светодиода. Для этой цели можно использовать небольшой пленочный конденсатор, поскольку балласт работает на частоте около 40 кГц.

Поскольку электронный балласт является источником тока, всегда существует проблема, когда светодиодная нагрузка обрывается. Напряжение значительно возрастает, что может повредить схему (в особенности на тестовом стенде, на стадии экспериментов). Поэтому светодиодный драйвер должен иметь защиту от обрыва нагрузки. На Рисунке 2 показан один из методов решения данной проблемы. Если светодиодная лента отключена или оборвана, напряжение через тиристор D6 (кремниевый управляемый вентиль) будет превышать порог напряжения, установленный стабилитроном D5; при этом D6 сработает и цепь перейдет в состояние короткого замыкания, пока не отключится источник подачи питания. Балласт не будет поврежден, поскольку он защищен.

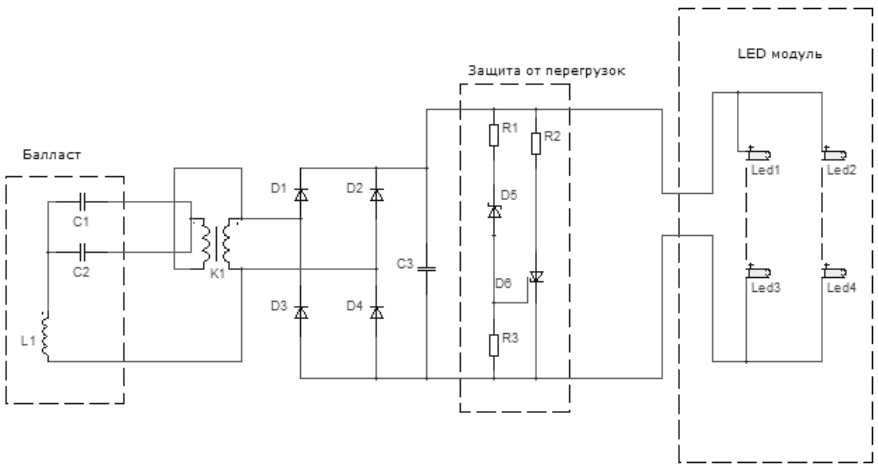


Рисунок 2 Схема защиты от обрыва нагрузки

В схеме используется трансформатор, который согласовывает низкое напряжение питания светодиодных лент с расчетным напряжением и током балласта. Чтобы избежать нарушения работы резонансного преобразователя балласта, индуктивность намагничивания (индуктивность холостого хода) стороны обмотки балласта должна быть больше 20 мГн. В данном случае, использование

автотрансформаторов является оптимальным решением с точки зрения снижения общего размера.

Далее рассмотрим AC/DC преобразователь с активным токовым управлением светодиода, который учитывает гармонический входной ток и максимальную длину светодиодных лент для балластов подобного типа. Непосредственная замена люминесцентной лампы на светодиодную сборку может привести к неравномерному освещению. Желательно управлять током светодиода так, чтобы согласовать с выходом менее мощных ламп. На рисунке 3 показана схема регулировки тока.

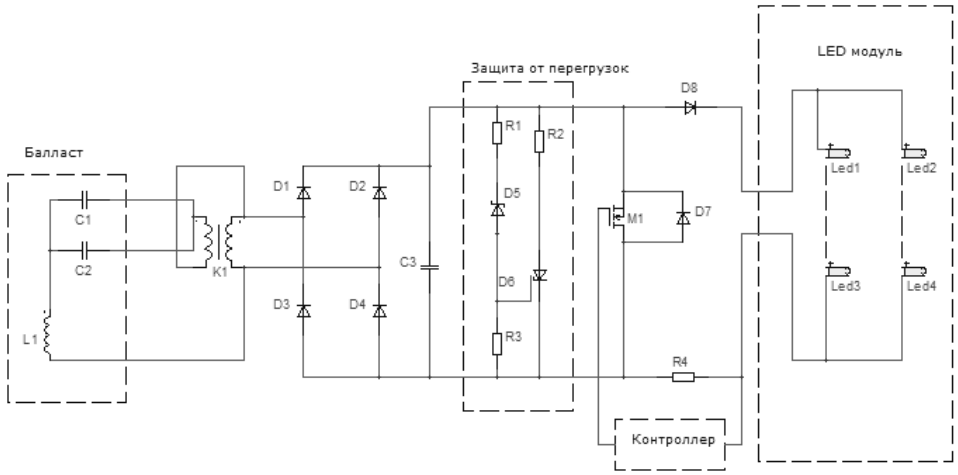


Рисунок 3 AC/DC преобразователь с активным токовым управлением светодиода

Балласт считается высокочастотным источником тока. Поскольку требуемый ток нагрузки меньше, чем ток на выходе балласта, необходимо выполнить регулировку путем закоротки балласта для каждой части полуцикла. Тогда управляющий сигнал будет синхронизирован с выходом от балласта. Важно синхронизировать переключение ключа 1 с выходом балласта, в противном случае балласт может отключиться. Логика работы схемы управления очень простая. Когда ключ M1 отключен, выходной ток балласта будет питать светодиодную нагрузку. Если ток светодиода выше установленного значения, тогда ключ M1 сработает. При этом питание на светодиодную ленту подаваться не будет. Длительность “времени включения”, т.е. продолжительность включения, будет определять ток светодиода. Контроллер будет определять тока светодиода с помощью резистора R4, вычислять правильный коэффициент заполнения импульсов D, и передавать управляющий сигнал для включения ключа M1. Если D – это коэффициент заполнения импульсов, тогда ток светодиода вычисляет по формуле:

$$I_{LED} = (1-D) * N * \frac{2*\sqrt{2}}{\pi} * I_{ballast}$$

Если источник питающего тока подает питание на любые электронные компоненты, тогда необходимо использовать защиту от обрыва нагрузки. M1, тиристор D6, сгорает при напряжении 82 вольта, если нагрузка не потребляет весь

ток, подаваемый балластом, из-за коэффициента преобразования трансформатора.

Схема протестирована с тремя различными типами балласта, и регулирует ток светодиода в пределах долей процента всего диапазона напряжения светодиода. Длина светодиодной ленты, при которой балласты различного типа сохраняют работоспособность, указана в Таблице 1.

Таблица 1 – Длина светодиодной ленты для данного типа балласта

Тип балласта	**Балласт 4 Ft T8 Программный запуск**	**Балласт 4 Ft T5**	**Балласт 4 ft T8 с мгновенным запуском**
Минимальная длина ленты	9 светодиодов при токе 700 мА	9 светодиодов при токе 700 мА	9 светодиодов при токе 700 мА
Максимальная длина ленты	6 светодиодов при токе 700 мА	19 светодиодов при токе 700 мА	22 светодиода при токе 700 мА

Гармонический спектр входного тока довольно высокий, что иногда приводит к ложному срабатыванию при переходе через нулевой уровень. Небольшая катушка (L1) на входе используется для снижения гармонического спектра. При больших значениях индуктивности катушки может произойти резонанс с выходным ограничительным конденсатором балласта на частоте инвертора, повреждая механизм ограничителя тока балласта. Если рабочая частота балласта известна, тогда вместо катушки нужно использовать параллельный резонансный заграждающий фильтр для 5-ой гармоники, для общего прироста КПД порядка 1-2%.

Литература

1. Титце У. Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. — 12-е издание. М.: Додэка XXI, 2015. – 1784 с.
2. П. Хоровиц, У. Хилл Искусство схемотехники: Пер. с англ. - 7-е издание. – М.: БИНОМ., 2016. – 704 с.

О.И. Петрусев; А.О. Фомченков, студ.; С.А. Амелин, к. т. н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РАСЧЕТ РЕАКЦИИ НА ВЫХОДЕ ЛИНЕЙНОЙ ДИСКРЕТНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПОМОЩИ ПЕРЕХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Получить реакцию на выходе линейной дискретной системы можно различными способами. Одним из них является дискретная свертка. Но при расчете отклика данным методом возникает проблема, связанная с тем, что в формуле дискретной свертки присутствует функция Дирака. Данную задачу можно решить с помощью переходной характеристики.

В проводимом исследовании рассмотрена неразветвленная *RLC*-цепь (рис. 1). Заданы точные значения следующих параметров: R = 200 *Ом*, L = 0,3 *Гн*, C = 1 *мкФ*. Входное воздействие представляет собой

функцию $x(t) = 5sin(200\pi t)$, действующую на временном интервале от 0 *с* до 0,005 *с*. Изображение входного сигнала представлено на рис. 2.

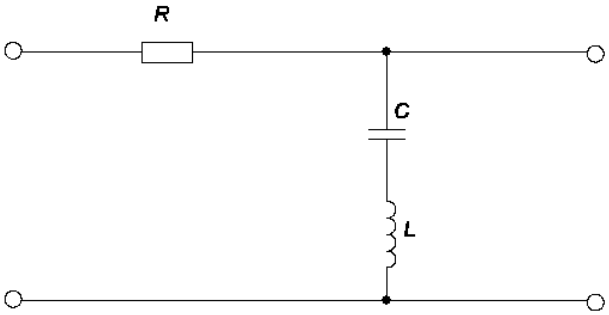


Рисунок 1 – Неразветвленная *RLC* – цепь

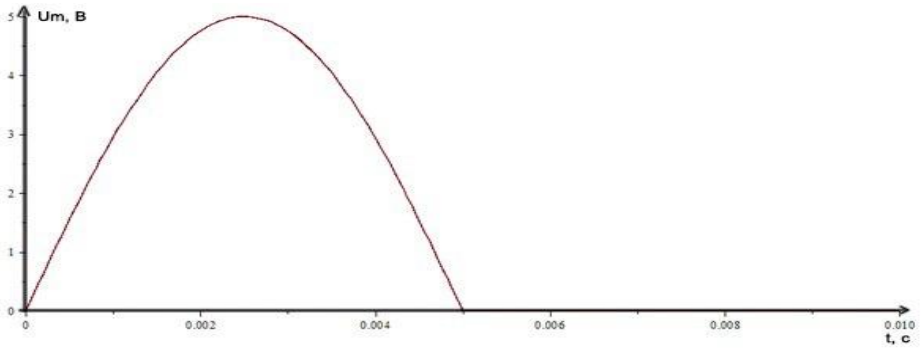


Рисунок 2 – Изображение входного сигнала

Данное исследование проводилось в несколько этапов. На первом этапе проводилась дискретизация по времени входного сигнала [3] с периодом дискретизации $T = \frac{T_н}{N-1}$, где $T_н$ – время наблюдения входного воздействия, N – число дискретных отсчетов. В результате этого, из непрерывной функции непрерывного времени $x(t)$ получилась дискретная последовательность отсчетов $x(n)$, где $n = 0,1,2,\ldots,N$.

Далее проводилось дифференцирование дискретного сигнала [1] по следующей формуле:

$$x'(n) = \frac{x(n+1) - x(n)}{T},$$

где $x'(n)$ – конкретный дискретный отсчет продифференцированного сигнала.

На втором этапе рассчитывалась передаточная функция цепи по следующей формуле:

$$K(p) = \frac{I_p \cdot (Z_{Cp} + Z_{Lp})}{I_p \cdot (Z_{Cp} + Z_{Lp} + Z_{Rp})},$$

где $K(p)$ – операторная передаточная функция цепи;

I_p – операторный ток;

Z_{Cp}, Z_{Lp}, Z_{Rp} – операторные сопротивления.

Далее находилась переходная характеристика цепи:

$$h(t) = L^{-1}\{\frac{K(p)}{p}\}.$$

Затем проводилась дискретизация данной характеристики, в результате чего, из непрерывной функции непрерывного времени $h(t)$ получилась дискретная последовательность отсчетов $h(n)$, где
$n = 0,1,2,\ldots,N$.

После проведенных вычислений, рассчитывались дискретные отсчеты выходного сигнала [2] по следующей формуле:

$$y(n) = \frac{T}{2} \cdot \sum_{n=0}^{N} x'(k-n) \cdot h(n) + x'(k-n-1) \cdot h(n+1),$$

где $y(n)$ – конкретный дискретный отсчет выходного сигнала.

По полученным дискретным отсчетам входного и выходного сигнала были построены графики (рис. 3).

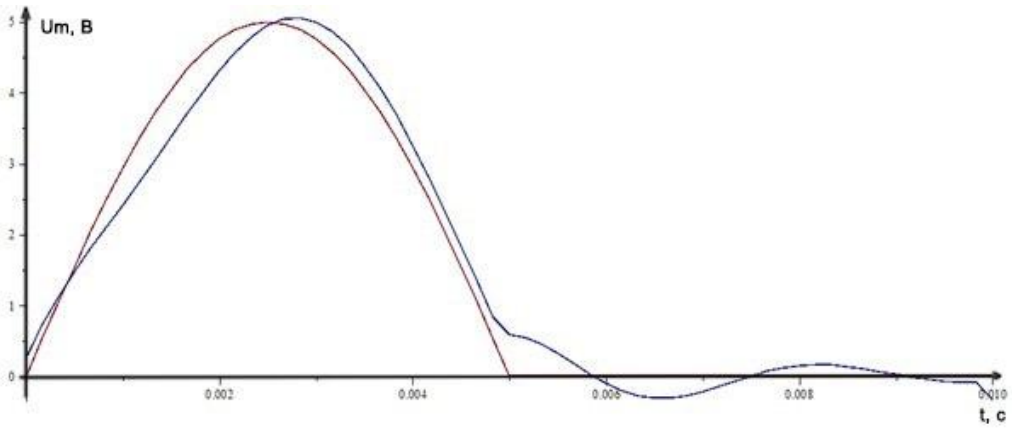


Рисунок 3 – Входной и выходной сигналы, построенные по дискретным отсчетам

На третьем этапе вычислялась реакция на выходе цепи (рис. 1) с использованием интеграла свертки:

$$y(t) = x(0) \cdot h(t) + \int_0^t x'(t-\tau) \cdot h(\tau) d\tau,$$

где $y(t)$ – выходной сигнал;

$x(0)$ – значение входного сигнала в момент времени $t = 0$.

Далее проводилась дискретизация полученного выше выходного сигнала, в результате чего, из непрерывной функции непрерывного времени $y(t)$ получилась дискретная последовательность отсчетов $y(n)$, где
$n = 0,1,2,\ldots,N$.

Результаты всех вышеприведенных вычислений представлены на рис. 4.

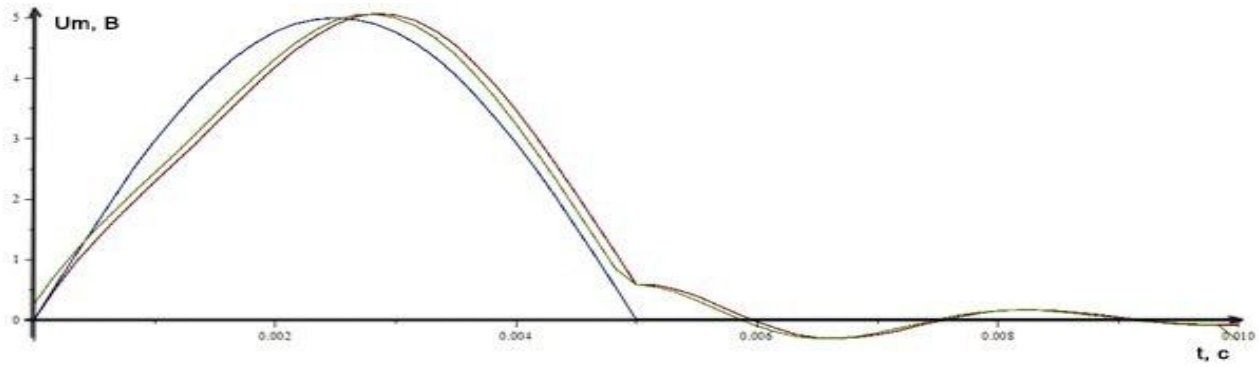


Рисунок 4 – Изображения входного сигнала и выходных сигналов, рассчитанных при помощи дискретной свертки и интеграла свертки

Следует отметить, что полученные результаты характерны для числа дискретных отсчетов $N = 31$. Если постепенно увеличивать количество точек N, то выходные сигналы будут иметь меньшие расхождения и практически сольются. Результаты всех вышеприведенных вычислений при $N = 101$ представлены на рис. 5.

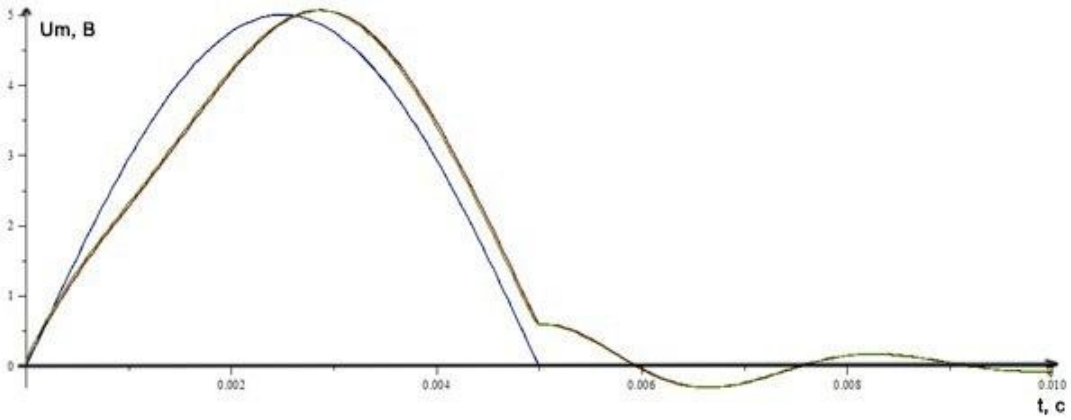


Рисунок 5 – Изображения входного сигнала и выходных сигналов, рассчитанных при помощи дискретной свертки и интеграла свертки

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что при получении выходного сигнала с помощью дискретной свертки, вместо импульсной характеристики можно использовать также и переходную характеристику. Этот способ целесообразно использовать, когда импульсная характеристика содержит в своем математическом описании функцию Дирака.

Литература

1. Солонина А. И., Улахович Д. А., Арбузов С. М., Соловьёва Е. Б. Основы цифровой обработки сигналов: Курс лекций. Изд. 2-е испр. и перераб. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 768 с.

2. Солонина А. И., Улахович Д. А. Линейные дискретные системы. учеб. пособие. СПб.: СПбГУТ, 2005. 76 с.

3. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов. Изд 2-е пер. с англ. М.: ООО Бином-Пресс, 2006. 656 с.

О.И. Петрусев, А.О. Фомченков, студ.; рук. С.А. Амелин, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАРЯДА ЗАТВОРА ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

В настоящее время самыми распространенными полупроводниковыми приборами, используемыми для создания силовых ключей, являются транзисторы с изолированным затвором: МОП-транзисторы (*MOSFET*) и биполярные транзисторы с изолированным затвором (*IGBT*). Для проектирования электронных устройств с быстродействующими ключами на основе этих транзисторов необходимо знать их паразитные параметры, наиболее важными из которых являются заряд затвора и паразитные емкости. Однако ряд производителей, в первую очередь отечественных, не всегда указывают эти параметры в технической документации. В частности, для
n-канальных МОП-транзисторов производства «Ангстрем» в каталоге продукции указаны лишь максимальное напряжение сток-исток $V_{ds(max)}$, максимальный ток стока $I_{d(max)}$, пороговое напряжение $V_{GS(th)}$ и остаточное сопротивление канала $R_{DS(on)}$ [3]. Даже для транзисторов, по заявлению производителя изготовленных по технологии «*Low charge*» (т.е. с низким значением заряда затвора), само значение этого заряда не указано.

В связи с этим актуальной задачей является создание аппаратуры по измерению заряда затвора МОП-транзисторов. Для решения этой задачи необходимо рассмотреть методы измерения заряда, проанализировать их преимущества и недостатки и выбрать наиболее подходящий метод.

Методика измерения заряда затвора и структурная схема измерительной установки для мощных МОП-транзисторов представлена в [2]. Для измерения необходимо два источника стабильного тока (один в цепи затвора и один в цепи стока), а также осциллограф для наблюдения формы напряжения между затвором и истоком. Временная диаграмма напряжения затвор-исток представлена на рисунке 1.

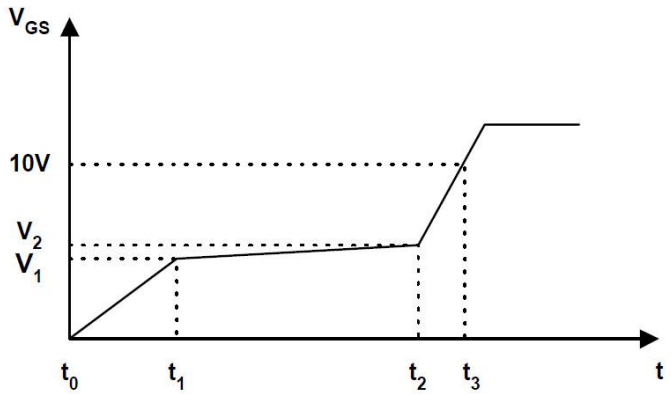


Рисунок 1 — Временная диаграмма напряжения затвор-исток

Полный заряд затвора Q_g имеет две составляющих: заряд затвор-исток Q_{gs} и заряд затвор-сток Q_{gd} (часто называемый зарядом Миллера). Эти заряды могут быть вычислены следующим образом:

$$Q_g = (t_3 - t_0) \cdot i_g;$$
$$Q_{gd} = (t_2 - t_1) \cdot i_g;$$
$$Q_{gs} = Q_g - Q_{gd}.$$

Импульс тока, подаваемый на затвор, должен быть достаточной длительности, чтобы гарантировать полное включение транзистора. При этом последовательность должна иметь малый коэффициент заполнения во избежание перегрева исследуемого транзистора, а также источника тока в цепи стока.

Источник тока в цепи стока при закрытом состоянии транзистора должен обеспечивать формирование напряжения, составляющего 0,8 от максимально допустимого напряжения между стоком и истоком для данного транзистора (в рассмотренном примере 0,8 от 200 *В*). Возможные варианты схемных решений такого источника приводятся в технической документации (*Datasheet*) на МОП-транзисторы. Одна из таких схем представлена на рисунке 2 [4].

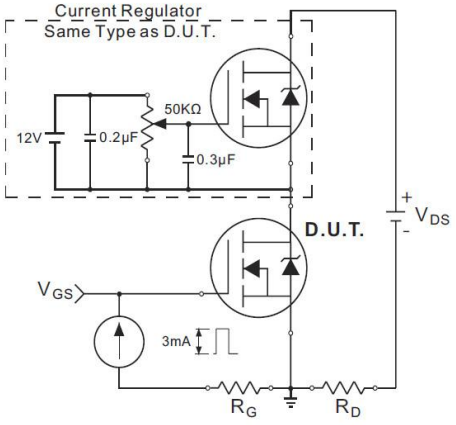


Рисунок 2 — Схема измерения заряда затвора

Схемные решения источников стабильного тока, используемые в рассмотренной выше схеме измерения заряда затвора, заслуживают отдельного внима-

ния. Пока же можно сделать вывод, что этот заряд определяется косвенным методом.

Однако кроме косвенных методов заряд, передающийся током в ходе какого-либо процесса, может быть измерен непосредственно. Для этого ток (в нашем случае ток затвора I_g) необходимо проинтегрировать по времени:

$$Q = \frac{1}{C}\int_{t_0}^{t_1} I_g\, dt.$$

Включение полевого транзистора происходит в три стадии: предпороговая, начального включения и полного включения. На стадии начального включения как раз и проявляется тот самый эффект «Миллера». В простейшем случае заряд можно вычислить следующим образом.

Если ток затвора постоянный и известны длительности стадий переключения транзистора, то заряд можно вычислить по упрощенной формуле:

$$Q = I_{\text{g}} \cdot \Delta t,$$

где I_g — ток затвора;

Δt — длительность стадии переключения полевого транзистора.

Именно по этой упрощенной формуле рассчитывался заряд переключения в рассмотренных выше схемах.

Если использовать этот метод при организации автоматических измерений, то фактически нужно определять длительность временных интервалов, а потом проводить операцию умножения. Реализовать этот алгоритм в аналоговом виде очень тяжело. Рациональнее реализовать интегрирование за интервал времени, при этом длительность интервала вычислять не обязательно, достаточно иметь сигналы начала и конца соответствующего интервала.

На практике операцию интегрирования выполняют отдельные устройства — интеграторы. Они бывают аналоговыми и цифровыми. Простейшим аналоговым интегратором является *RC*-фильтр нижних частот [1].

Достоинством такого интегратора является простота реализации. Недостатком — зависимость точности преобразования от постоянной времени, что приводит к приближенному интегрированию.

Для повышения точности интегрирования используют интегратор, построенный на операционном усилителе (рисунок 3).

Достоинством интегратора, построенного на операционном усилителе, является простота реализации. Недостатками данного интегратора являются влияние напряжения смещения, приводящее к накоплению ошибки интегрирования. На практике для повышения точности интегрирования используют модификации рассмотренной выше схемы — трехрежимный интегратор.

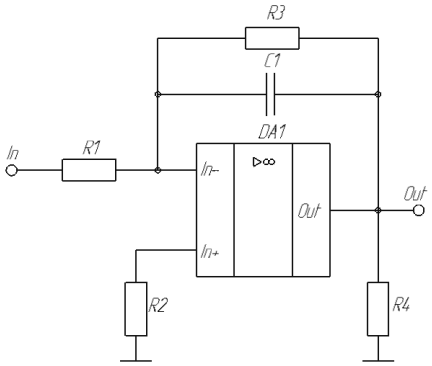


Рисунок 3 — Интегратор, построенный на операционном усилителе

Однако аналоговые методы интегрирования постепенно отходят на второй план. Эту же задачу можно решить, используя цифровые методы интегрирования, которые позволят получить проинтегрированный сигнал с высокой точностью.

Другим способом реализации операции интегрирования является применение микроконтроллера, например, серии *ATmega*.

Достоинствами применения микроконтроллера являются:

- достаточно высокая точность измерений (внутренний АЦП является 8-разрядным);
- возможность автоматизации измерений;
- возможность реализации статистической обработки результатов измерений;
- малые габариты конечного устройства;
- вариативность при написании программы для выполнения поставленной задачи.

При выполнении интегрирования контроллер решает две задачи: выполняет оцифровку аналогового сигнала, который необходимо проинтегрировать и производит вычисления интегрирования полученных отсчетов. Поэтому недостатками этой серии микроконтроллеров в конкретном применении являются низкая тактовая частота, что приводит к существенному времени оцифровки каждой точки входного сигнала и обработка высокочастотных сигналов оказывается невозможна.

Для оценки интервалов времени, с которым придется работать интегратору (цифровому или аналоговому) в ходе измерения заряда переключения было проведено моделирование согласно тестовой схемы рис. 2. Результаты моделирования представлены на рисунке 4.

Согласно полученным графикам, при измерении заряда затвора интегрирование надо проводить за интервалы времени в единицы-десятки микросекунд. Это оказывает существенное ограничение на используемую элементную базу, в частности для цифрового интегрирования необходимо применение быстродействующих АЦП, либо стробоскопического метода оцифровки сигнала.

Еще одним способом оцифровки сигнала является использование *USB*-осциллографа, который имеет функцию вывода таблицы координат сигнала, после чего представляется возможность обработки этих данных.

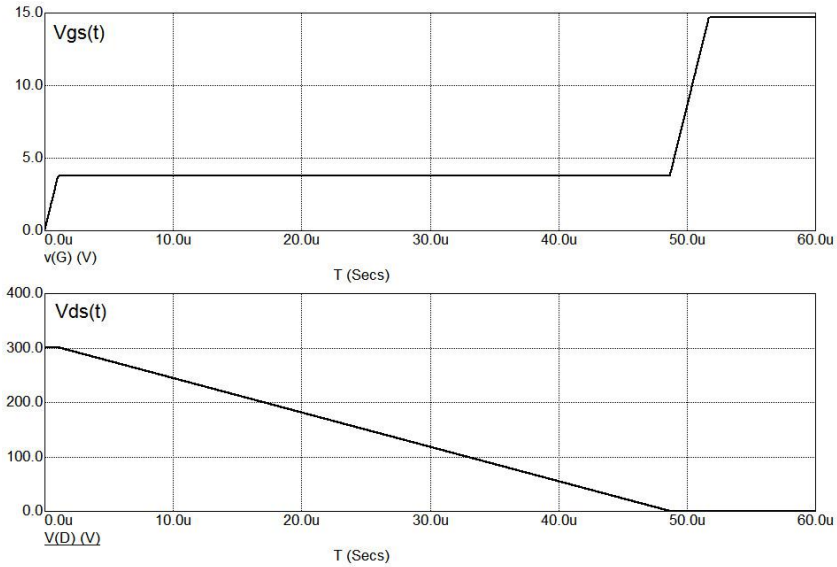


Рисунок 4 — Результаты моделирования тестовой схемы для *IRF*740

Достоинствами использования *USB*-осциллографа являются:

- простота измерения;
- простота обработки результатов.

Недостатками *USB*-осциллографа являются:

- большие габариты конечной установки;
- необходимость наличия компьютера или ноутбука;
- необходимость создание специализированного программного обеспечения для ПК.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что электрический заряд затвора полевого транзистора можно вычислить как интеграл тока по времени разными способами. Анализ методов интегрирования применительно к аппаратной реализации выявил, что целесообразнее использовать цифровые интеграторы, так как аналоговые имеют низкую точность преобразования. При реализации цифрового интегрирования необходимо использование быстродействующего АЦП, поскольку скорости преобразования АЦП из состава микроконтроллеров не достаточно для решения этой задачи.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 17-07-00148 А «Разработка оптимального алгоритма определения системы параметров полупроводниковых приборов на основе МОП-структур с целью формирования их математических *SPICE*-моделей».

Литература

1. В. М. Трохин, В. М. Перельмутер, В. И. Энтина Цифроаналоговые системы автоматического управления. К., «Техніка», 1979. - 160 с.

2. Измерение характеристик МОП-транзисторов: [Электронный ресурс].. *URL*: https://studylib.net/doc/18062481/measuring-hexfet%C2%AE-characteristics (Дата обращения 3.03.19).

3. Каталог полупроводниковых приборов компании Ангстрем: [Электронный ресурс]. *URL*: https://angstrem.ru/ru/catalog/silovye-poluprovodnikovye-pribory/diskretnye-mosfetn-channel (Дата обращения 3.03.19).

4. Полевой транзистор *IRF*740: [Электронный ресурс]. *URL*: http://www.vishay.com/docs/91054/91054.pdf (Дата обращения 3.03.19).

К.С. Плюхин, курсант; Р.З. Гумиров, к.т.н., с.н.с.; рук. А.Д. Маслов, ктн, доцент
(ВА ВПВО ВС РФ в г. Смоленске)

САПР В КУРСЕ ПОДГОТОВКИ ВОЕННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Проектирование современных радиоэлектронных средств как военного, так и гражданского назначения в сжатые сроки невозможно без использования систем автоматизированного проектирования. Под системой автоматизированного проектирования (САПР) понимается совокупность математического, технического и программного обеспечения, необходимого для автоматической разработки законченного изделия и выпуска конструкторской документации.

К настоящему времени создано большое число программно-методических комплексов для САПР с различной степенью специализации и прикладной ориентации. В результате автоматизация проектирования стала необходимой составной частью подготовки инженеров различных специальностей. Поэтому совершенно естественна необходимость изучения теоретических основ систем автоматизированного проектирования РТС для специалистов войсковой ПВО. Освоение автоматизированных систем проектирования позволяет подготовить выпускников не только к выполнению выпускной квалификационной работы, но и способствует более глубокому пониманию процессов и явлений, происходящих в радиотехнических устройствах, а значит, более качественной подготовке военных радиоинженеров, от профессионализма которых зависит боеготовность войсковой ПВО.

В связи с этим на кафедре специальных радиотехнических систем Военной академии войсковой ПВО, с целью формирования компетенций проектно-конструкторской деятельности, изучаются и осваиваются основные типы САПР, ориентированные на проектирование радиоэлектронных средств (РЭС).

При выборе конкретных систем проектирования, необходимых для подготовки специалистов по специальности «Специальные радиотехнические системы», предъявляются довольно противоречивые требования. С одной стороны, системы должны иметь широкий набор проектных процедур, необходимых для проектирования радиоэлектронной аппаратуры, с другой стороны, эти системы не должны предъявлять жестких требований к техническому обеспечению, иметь простой и удобный пользовательский интерфейс, а также должны быть доступны демонстрационные версии этих систем, желательно отечественного производства. Последнее требование особенно актуально для использования в учебном процессе, так как лицензионное программное обеспечение может стоить до нескольких сотен тысяч рублей за один комплект на одно рабочее место (например, цена программы конструкторского проектирования **AltiumDesigner** составляет более 800 т. руб. за один комплект на два рабочих места).

В общем случае процесс проектирования РЭС состоит из трех основных этапов: системотехнического, схемотехнического и конструкторского. Поэтому для целостного представления обучающихся об автоматизированных системах

проектирования на кафедре осваиваются три вида САПР, которые ориентированы на выполнение соответствующих видов проектирования.

При ***системотехническом проектировании*** разрабатываются общая структурная или функциональная схемы РЭС. Системотехнический этап проектирования в основном пока является неформализованным процессом, в котором используются творческие возможности инженера. На этом этапе нашли применение программы (таблица 1), которые позволяют моделировать изделия на уровне структурных и функциональных схем. На кафедре РТС для уяснения особенностей моделирования радиотехнических систем на этом уровне оказалась удобной программа математических вычислений **Mathcad**. Выбор этой программы был обусловлен не только ее возможностями, простотой освоения, но и тем, что программа широко применяется обучающимися с первого курса в течение всего срока обучения. По этой причине стало возможным больше внимание уделять самому процессу моделирования РЭС, а не изучению системы команд этой программы. При освоении системотехнического проектирования на кафедре основное внимание уделяется функциональному моделированию радиоэлектронных устройств. В качестве примера на рисунке 1 показаны результаты функционального моделирования радиоприемника прямого усиления в системе Mathcad.

Таблица 1

Уровень проектирования	Задачи	САПР, ППП, среды, программы
Системное	Структурное моделирование систем (радиосистем)	Алгоритмические языки общего назначения; Языки имитационного моделирования GASP, GPSS, SIMSCRPT, SIMULA
Функциональный	Функциональное моделирование РЭУ (системы радиоавтоматики и другие радиотехнические устройства)	SystemView(Elanix), Simulink, Signal Processing (MatLab) Mathcad
	Функциональное и логическое моделирование цифровых схем	VHDL (язык описания апа-ратуры), OrCad
	Моделирование систем сбора и обработки данных	LabView, LabWindows(NI)
	Проектирование устройств цифровой обработки сигналов, в том числе проектирование цифровых фильтров	DSPworks,SigLab, System View, SPW/HDS Monarch, QEDesign 1000+

Конкретные преимущества работы в среде математической программы Mathcad для функционального моделирования радиотехнических устройств заключаются в том, что программа имеет следующий неполный перечень вычислительных инструментов:

решение алгебраических уравнений и систем;

решение обыкновенных дифференциальных уравнений;

работа с векторами и матрицами;

поиски минимумов и максимумов функциональных зависимостей;

возможность представления данных в виде таблиц, графиков и анимационных клипов.

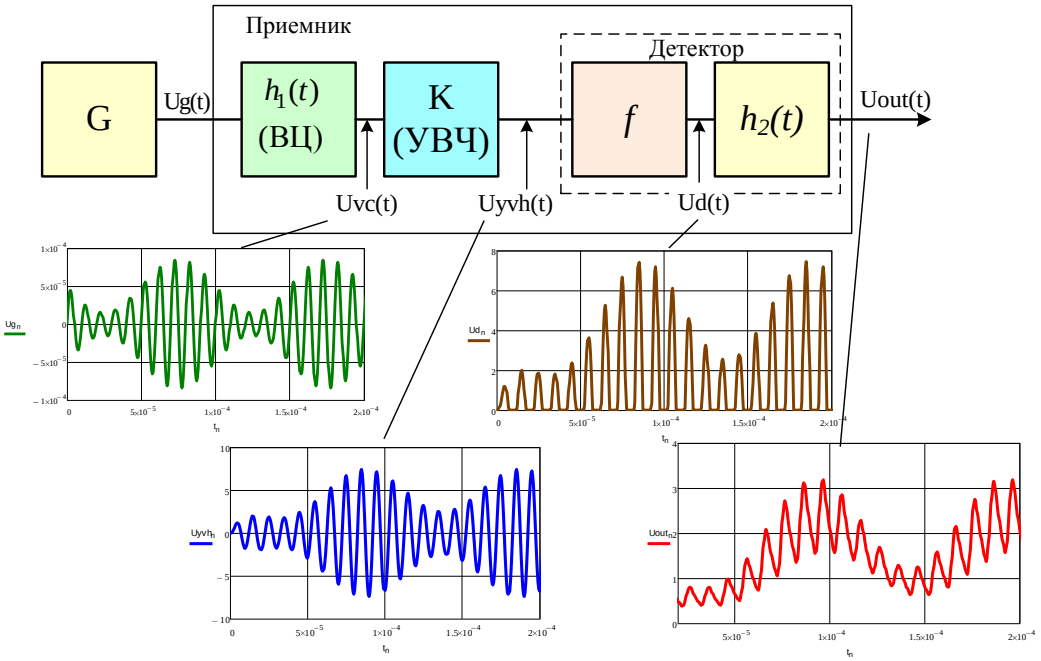


Рисунок 1 – Функциональное моделирование
в системе Mathcad

Схемотехническое проектирование состоит в разработке принципиальных схем блоков и узлов, где для моделирования электронных схем используются такие известные программные продукты, как MicroCap, ElectronicWorkbench и т. д. (табл. 2).

Таблица 2

Уровень проектирования	Задачи	САПР, ППП, среды, программы
Схемотехнический	Схемотехническоемоделиро-вание аналоговых и аналого-цифровых устройств, в т. ч. проектирование аналоговых фильтров	Pspice→Design Lab 8.0,→ OrCad 9.0 Electronics WorkBench, APLAC 7.0, MicroCap Dr. Spice, CiruitStudio (для PROTEL)
	Проектирование аналоговых программируемыхБИС	PacDesigner (Lat.Semiconduc.) AnadigmDesigner (беспл.)

Программа **MicroCap** была выбрана из широкого круга программ схемотехнического моделирования в связи с тем, что она имеет удобный, дружественный интерфейс и предъявляет достаточно скромные требования к программно-аппаратным средствам персонального компьютера. Однако представляемые при этом возможности достаточно велики. MicroCap позволяет анализировать аналоговые, цифровые, а также смешанные аналого-цифровые электронные устройства. Кроме того, программа представляет пользователю широкий круг различных видов анализа электронных схем.

К сожалению, ограниченный объем времени, выделяемый на изучение системы, не позволяет в полном объеме освоить все виды анализа. На практических занятиях основное внимание уделяется тем видам анализа, которые позволяют наиболее наглядно отображать физические процессы, протекающие в РЭС, к ним относятся DCAnalysis (анализ передаточных функций по постоянному току), TransientAnalysis (анализ переходных процессов), ACAnalysis (анализ по переменному току на малом сигнале).

Характерной особенностью программы MicroCap является то, что программа представляет богатые графические возможности обработки результатов анализа. Можно выполнять панорамирование и масштабирование окна моделирования, нанести на графики размерные линии и координаты отдельных точек и т.п. Кроме того программа позволяет наряду с двумерными графиками строить 3-мерные графики и выполнять анимацию.

Конструкторский этап включает разработку конструкции изделия. На кафедре основное внимание уделяется разработке и моделированию печатного узла, печатной платы изделия и оформлению конструкторской документации. Для автоматизации проектных процедур этого вида проектирования используются программыOrCAD, P-CAD, Protel, AccelEDA, AltiumDesigner, AutoCAD, SPECCTRA и т. д.

В настоящее время наиболее популярной в России программой конструкторского проектирования (разработки печатных плат) является система P-CAD. По этой причине освоение САПР конструкторского проектирования осуществляется на основе изучения одной из первых версий P-CAD – P-CAD 2000.

Система P-CAD 2000 предназначена для проектирования многослойных печатных плат аналоговых и цифровых устройств в среде Windows.Программа выполняет полный цикл проектирования печатных плат, включающий в себя графический ввод электрической схемы, упаковку схемы на печатную плату, ручное размещение компонентов, ручную, интерактивную и/или автоматическую трассировку проводников, контроль ошибок в схеме или печатной плате и выпуск документации. Кроме того, система имеет очень удобный интерфейс и позволяет разрабатывать конструкторскую документацию в соответствии с требованиями ЕСКД. Применение сопутствующих программ позволяет выполнять моделирование схем и анализ паразитных эффектов, присущих реальным печатным платам, до их изготовления.

Хотя система P-CAD 2000 является устаревшей и в чем-то уступающей современным версиям конструкторского проектирования, зато программа позво-

ляет достаточно быстро освоить последовательность и основные процедуры разработки печатных плат, включая разработку комплекта конструкторской документации на печатный узел.

Изучение и освоение соответствующих САПР на кафедре реализуется не в специальных курсах, а в ходе изучения общеинженерных дисциплин, таких как электроника, схемотехника аналоговых электронных устройств, основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных систем и др. На лекционных занятиях, как правило, рассматриваются только основные сведения о соответствующих САПР, а на практических занятиях и лабораторных работах обучающиеся приобретают навыки проектирования типовых радиоэлектронных узлов с использованием соответствующих САПР. Такой подход позволяет, с одной стороны, углубить и расширить понимание физических процессов в РЭС за счет использования графических и математических возможностей САПР, с другой стороны, осуществляется целенаправленное освоение только основных проектных процедур.

Таким образом, САПР, которые изучаются на кафедре специальных радиотехнических систем, обеспечивают достаточно качественную подготовку обучающихся к выполнению проектно-конструкторской деятельности выпускников Военной академии, а также к выполнению выпускной квалификационной работы по специальности «Специальные радиотехнические системы».

Литература

1. Очков В.Ф. Mathcadдля студентов и инженеров: русская версия. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.

2. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8. М.: Горячая линия–Телеком, 2007. – 464 с.

3. Разевиг В.Д. Система проектирования печатных плат ACCELEDA 15 (P-CAD 2000). М.: Солон-Р, 2001. – 416 с.

А.О. Подмастерьев, студ.; рук. А.А. Каткова, ст. преп.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА С КОНЕЧНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ НА ПЛИС

Цифровой фильтр (ЦФ) – это фильтр, созданный для обработки цифрового сигнала. Цифровой сигнал – это сигнал, который можно представить в виде последовательности дискретных значений, который получается из аналогового путем обработки в аналого-цифровых преобразователях (АЦП). Цифровые фильтры используются в случаях, когда необходимо отделить помеху от основного источника сигнала.

Оцифрованный сигнал можно обрабатывать в цифровых сигнальных процессорах (*DSP*) или в программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС). Считается, что использование *DSP* – наиболее оптимальный вариант, т.к. скорость выполнения операций у них выше. Однако код, написанный для одного семейства процессоров, практически невозможно перенести на другое семейство и обеспечить его стабильную работу. Отсутствуют также и универ-

сальные библиотеки алгоритмов, что негативно сказывается на удобстве написания программ. Наличие компиляторов не убирает эту проблему, т.к. они ориентированы на конкретные процессоры.

Альтернативой *DSP* выступают ПЛИС. Последние имеют возможность реализации сложных алгоритмов, моделирования написанных кодов, совместимость этих кодов при переводе алгоритмов на уровне языков описания, а также наличие библиотек программ, описывающих сложные алгоритмы. Это говорит о том, что построение фильтров на ПЛИС в настоящее время является актуальной задачей.

Рассмотрим методику построения фильтра с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтра) на программируемых логических интегральных схемах на языке *Verilog HDL (Verilog)*.

Для моделирования КИХ-фильтра используются программы *Altera Quartus Web Edition (Quartus)* и *Icarus Verilog*. *Quartus* – среда для проектирования и отладки проектов на СБИС ПЛ *Altera*. *Icarus Verilog* – компилятор языка описания аппаратуры *Verilog*. Программное обеспечение бесплатное.

КИХ-фильтр – один из видов линейных цифровых фильтров, характерной особенностью которого является ограниченность по времени его импульсной характеристики. Общая структура показана на рис. 1.

Блоками Z^{-1} показана задержка, которая на деле является цепочкой регистров данных. После задержки сигнал идет на блок умножителя, который проводит умножение задержанного сигнала на определенные константы, которые рассчитываются для каждого фильтра отдельно. Определение этих констант может осуществляться методом частотной выборки или на основе обратного преобразования Фурье. Коэффициенты КИХ-фильтра (и их количество) можно также получить в специализированных онлайн-калькуляторах. В конце результаты умножений складываются, и на выходе получается обработанный сигнал.

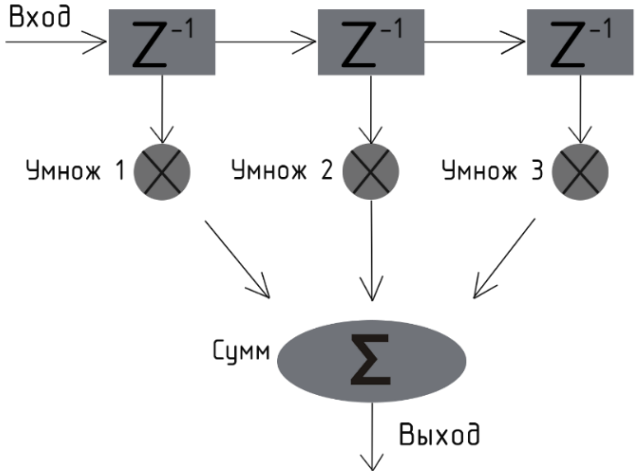


Рисунок 11 Общая структура КИХ фильтра

Для обработки данных на ПЛИС необходимо написать программу на языке *Verilog HDL*. Допустим, требуется фильтр, способный пропускать сигнал с частотами от 1 *МГц* до 4 *МГц*, частота дискретизации – 20 *МГц*.

Общая структура программы выглядит как ввод битности коэффициентов, формирование цикла умножения данных и их последующего сложения, а после – вывода результата.

Чтобы проверить работоспособность написанного модуля, требуется написание еще одной программы (т.н. *testbench*). Она будет формировать синусоидальный сигнал различной частоты (возрастающей) и подставлять коэффициенты, рассчитанные для каждого фильтра. Числовые значения рассчитаны для полосового фильтра с полосой пропускания 1-4 *МГц* и фильтра низких частот с полосой пропускания до 2 *МГц*. После данных операций результат будет сохранен в отдельный файл.

Временные диаграммы работы программируемого фильтра показаны на рис. 2. Сигналы в большем масштабе – на рис. 3.

Из диаграмм видно, что фильтр низких частот отлично пропускает частоты до 500 *кГц*, а затем идет плавный спад амплитуды до частоты 2 *МГц*, на которой фильтр окончательно перестает пропускать сигнал. Полосовой фильтр отлично пропускает частоты из диапазона 2-3 *МГц*.

Рассмотренная в работе методика позволяет осуществить построение цифрового фильтра на ПЛИС. С помощью *Quartus* можно написать программный модуль, а также осуществить прошивку платы, а с помощью *Icarus Verilog* – провести симуляцию и убедиться в работоспособности программы.

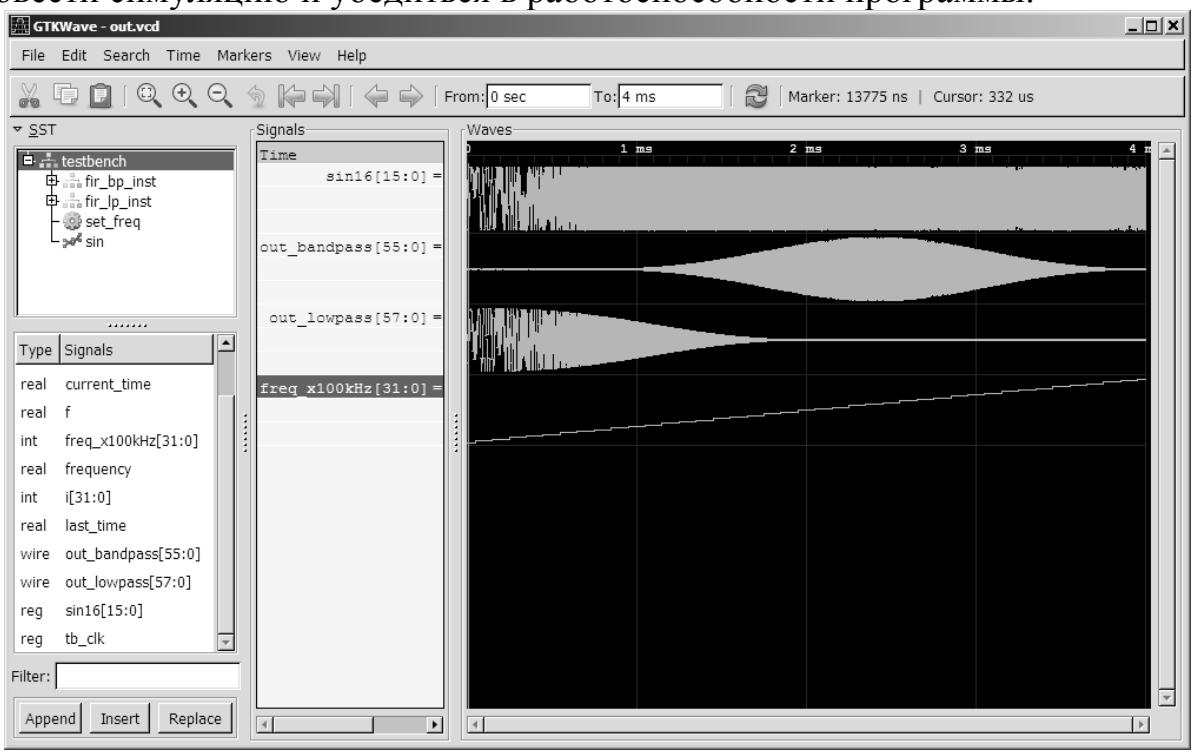


Рисунок 12 Временные диаграммы работы фильтра в программе *GtkWave*

Однако создание ЦФ на ПЛИС – достаточно сложная задача. Для проверки работоспособности программы необходимо написать еще одну, в которой будет задействована первая. Причем ошибки могут возникнуть как в исходной, так и в проверяющей, но результат будет выводиться правильный. Решение данной

проблемы – загрузка программы в реальную ПЛИС, однако для этого требуется как сама плата, так и генератор сигналов. Несмотря на это, написание кода для ПЛИС проще, нежели написание кода для *DSP*.

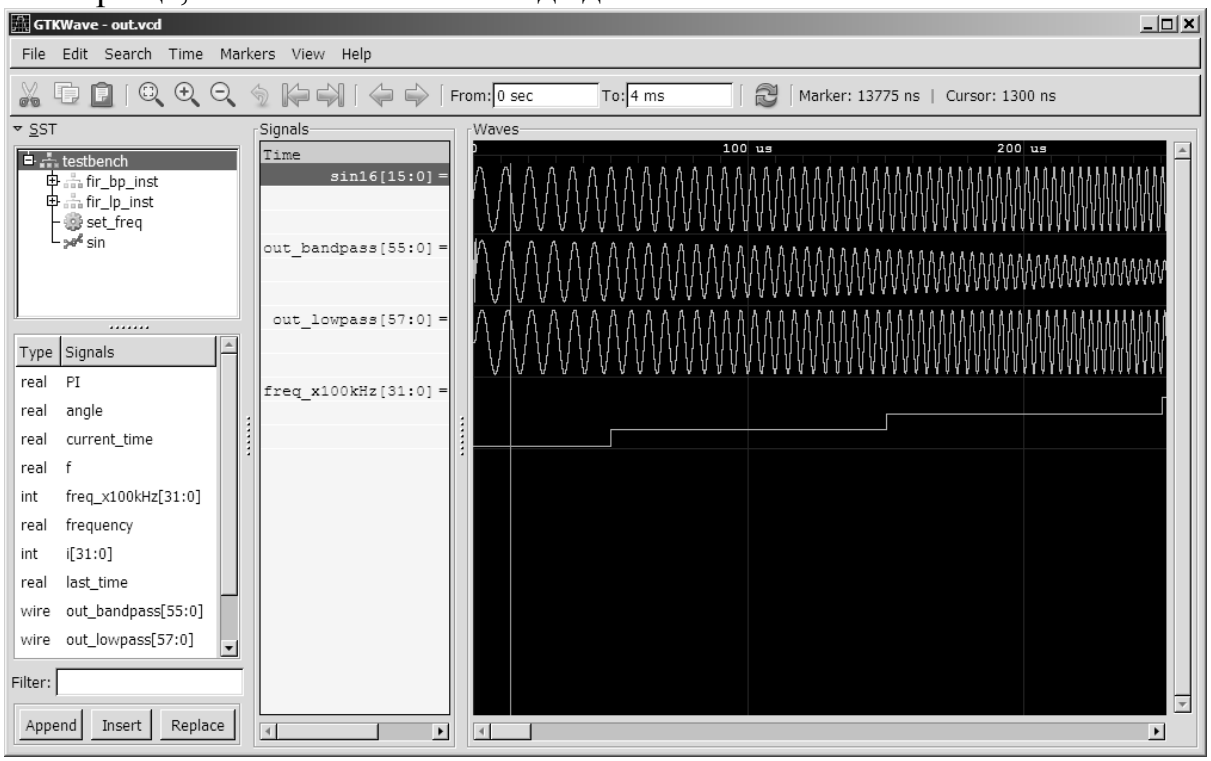


Рисунок 13 Временные диаграммы работы фильтра в программе *GtkWave* с увеличенным масштабом

Цифровые фильтры на логических элементах могут применяться в средствах ЦОС благодаря своему быстродействию, а также точности, которой привычные микропроцессоры не обладают. Кроме того, ПЛИС наиболее адаптированы к обработке сигналов, нежели процессы общего применения.

Литература

1. Основы цифровой обработки сигналов: Курс лекций / Авторы: А.И. Солонина, Д.А. Улахович, С.М. Арбузон, Е.Б. Соловьева / Изд. 2-е испр. и перераб. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 786 с.: ил.

М.А. Поспелов, маг.; рук. И.В. Якименко, д.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОБЗОР РАЗНОВИДНОСТЕЙ УСТРОЙСТВ ДИНАМИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ НА ОСНОВЕ «БЕГУЩЕЙ СТРОКИ»

В настоящее время имеется много информации различного характера: рекламного, исторического, политического, информационных технологий и т.д. Таким образом, для ее получения имеются различные среды для восприятия такие как, телевидение, радио, газеты, электронные вывески. Для получения информации в графическом виде можно использовать электронную аппаратуры следующих видов: мониторы, телевизоры, электронные вывески (бегущие

строки). Бегущие строки предназначены для информирования населения информацией различного рода такой как, чрезвычайные происшествия, новинки технического прогресса, сообщения о требующихся специалистах и другая информация. Главная цель устройства бесперебойная работа, осуществляющая передачу информации в настоящем времени.

Бегущие строки бывают двух типов: интерьерные и уличные. Интерьерные строки внутри помещений бегущими строками, как правило, могут похвастаться торговые залы супермаркетов, бутиков, офисные бизнес-центры, ночные клубы. Также бегущая рекламная строка является неотъемлемым атрибутом систем электронной очереди, которые все чаще встречаются в нашей повседневной жизни.

Цвет интерьерной бегущей строки можно подобрать под соответствующую обстановку или наоборот, создать с ней контраст. Полноцветные светодиодные табло смотрятся очень красиво, однако не стоит забывать о том, что такие индикаторы существенно снижают ресурс ихвыносливости.

С помощью движущегося текста можно информировать посетителей о начинающемся сезоне распродаж, о новинках вашего бизнеса или просто поздравить их с наступающим Рождеством. В любом случае этот рекламный шаг не останется без внимания со стороны потенциального покупателя и, возможно, окажется решающим фактором в увеличении объемов сбыта и наращивании прибыли. Уличные строки характеризуются следующими параметрами:

Разрешение: наиболее популярное разрешение — p10 (расстояние между светодиодами 10 мм.) На каждый квадратный метр дисплея с разрешением p10 придется 1000 светодиодов. Распространены также p20, p7, p5 и p3. Чем ниже цифра, тем меньше расстояние между диодами. Соответственно выше разрешение

Яркость светодиодов и потребляемая мощность: различные цвета диодов обладают разной яркостью. Красные диоды наименее яркие (3000 Кельвин) при этом потребление энергии самое скромное. Белые — самые яркие (8000 Кельвин).

Рисунок 1 – бегущая строка

Используемое напряжение: Строка может быть рассчитана на 220 вольт и питаться от бытовой электросети или на 12 вольт в автомобильном исполнении. Также возможен комбинированный вариант. При котором бегущая строка сможет работать от любого типа электросети.

Основное различие в построении корпуса, для уличных строк должен быть более высокий класс IP(защита от влаги и защита от пыли) желательно 65 класс. Так же имеются ограничения по температурному режиму. Устройство должно работать как в положительном диапазоне температур, так и при отрицательных значениях. Для построения интерьерных «бегущих строк» требования более «мягкие». Условие для построения корпуса имеют иные требования класса защиты IP. Интерьерные строки требуют класс IP20 – IP40. Особое значение уделяется матрице, которая выполняет роль графического дисплея. Её основным требованием является качественное отображения буквенно-цифровой информации. Матрицы могут быть построены на следующих компонентах: лампы накаливания, светодиоды, QLED дисплеи. Использование ламп накаливания не целесообразно в виду следующих причин:

Большое потребление тока

Более громоздкие габаритные показатели ламп

При построении матрицы на лампах размер информационного табло будет больших размеров.

Если матрица построена на полупроводниковых излучающих диодах (светодиодах) то можно выявить следующие достоинства и недостатки. Достоинства:

1) малое потребление тока (миллиамперы)

2) малые размеры

3) большой срок службы

Недостатки: 1) требуется стабилизированный источник питания

При выборе компонентной базы для матрицы все-таки следует уделить внимание светодиодам. Это можно аргументировать следующими причинами:

1) со стороны экономического обоснования дешевизна компонентов

2) со стороны дизайна можно оформить строку двух видов:

а) монохромной (использование светодиодов одного определенного цвета

б) многоцветная с использованием RGB светодиодов

3) со стороны температурного режима большой диапазон (-55 до 50$^{\circ C}$

Так же необходимо выбрать устройство для обработки информации (микроконтроллер). При его выборе следует уделить особое внимание его функционалу, периферии. Микроконтроллер должен обладать следующими функциями:

Порты ввода-вывода

Имеющий возможность работать с интерфейсами такими как: I2C, SPI, UART

Таймеры

В качестве микроконтроллера для данной работы было решено выбрать МК ATmega328p семейства AVR который входит в состав отладочной платы Arduino Uno. Отличительные качества данного МК: высокая производительность, многофункциональность и относительно не дорогая рыночная стоимость.

Arduino Uno – это микроконтроллерная плата на базе ATmega328P. У нее 14 цифровых I/O контактов (из которых 6 можно использовать для выходной ШИМ), 6 входных аналоговых контактов, кварцевый кристалл на 16

МГц, USB-соединение, разъем для питания, ICSP-гребешок и кнопка сброса. Она оснащена всем, что необходимо для поддержки микроконтроллера. То есть, чтобы начать, достаточно просто подключить ее к компьютеру (при помощи USB-кабеля) или запитать от адаптера, конвертирующего переменный ток в постоянный, или от батарейки. Работая с этой платой, можно почти не беспокоиться о том, что вы можете сделать что-то не так. В самом худшем случае вам надо будет просто поменять кристалл, который стоит всего несколько долларов, после чего можно будет снова приступить к работе.

Таким образом, сравнив различные виды «бегущих строк» можно предположить, что каждый из них предназначен для задач в разных областях применения. Так же у каждого вида и метода реализации имеются свои достоинства и недостатки. Наиболее востребованными являются вывески и рекламные баннеры наружного применения, но и не стоит забывать про функционал данного устройства.

Литература

- Средства отображения информации: учебник для вузов по спец. «Промышленная электроника» / Ф.М. Яблонский, Ю.В. Троицкий.- М. : Высшая школа, 1985.- 198, [1]с. : ил.
- Ревич Юрий Занимательная электроника.: БХВ-Петербург, 2015. -412 с.: ил
- Улли Соммер Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino.: БХВ-Петербург, 2012. -548 с.: ил
- Atmega328p: [Электронный ресурс]. М., http://mkprog.ru/wp-content/uploads/2017/09/ATmega328-328P_Datasheet.pdf. (Дата обращения: 10.03.2018).
- Описание платы Arduino Uno: [Электронный ресурс]. М. https://arduinomaster.ru/platy-arduino/plata-arduino-uno/. (Дата обращения:12.03.2018).
- Белов А. В. Конструирование устройств на микроконтроллерах, СПб.: Наука и Техника, 2005г. ,256 с.: ил
- Авдеев В.А. Периферийные устройства: интерфейсы, схемотехника, программирование.– М.: ДМК Пресс, 2009. 848 с.
- Нарышкин А.К. Цифровые устройства и микропроцессоры. М.: Академия, 2006. 320 с

А.С. Потапов, О.А. Егупов, студ.; рук. В.В. Марков, И.В. Рудоманенко
(Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, филиал в г. Карачеве)

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТРЁХМЕРНЫМ ДИСПЛЕЕМ

Светодиодное освещение широко используется в народном хозяйстве. В городском хозяйств оно успешно применяется для освещения дорог, фасадов зданий, парков, спортивных объектов, офисов. В жилых домах и квартирах светодиодный свет особенно широко используется для подсветки кухонных гарнитуров, ванных комнат и гостиных [1].

В промышленности светодиодное освещение пока не получило всеобщего признания. На предприятиях светодиодные лампы и ленты применяются для общего освещения производственных помещений, цехов и инженерных бюро, а также для освещения складских помещений. При этом одна из наиболее перспективных областей применения светодиодного освещения на производстве

пока ещё не развита на возможном уровне – речь идёт о светодиодных устройствах передачи трёхмерной информации. В настоящей работе изложен один из подходов к проектированию такого устройства отображения трёхмерной информации, известного под названием «светодиодный куб» [2].

Светодиодный куб – это устройство, служащее для вывода объёмного трёхмерного изображения. Данное устройство позволяет сочетать передачу полезного сигнала с красивым и привлекающим внимание изображением. В сущности, светодиодный куб является трёхмерным дисплеем, который позволяет создавать красочные объёмные анимационные изображения, световое шоу, логотипы в 3D-формате. Микропроцессорное управление светодиодным кубом позволяет использовать для изображений стандартные наборы зрительных эффектов и произвольные, задаваемые пользователем самостоятельно.

Светодиодный куб представляет собой трёхмерную матрицу из разноцветных светодиодов, соединённых между собой, как показано на рисунке 1.

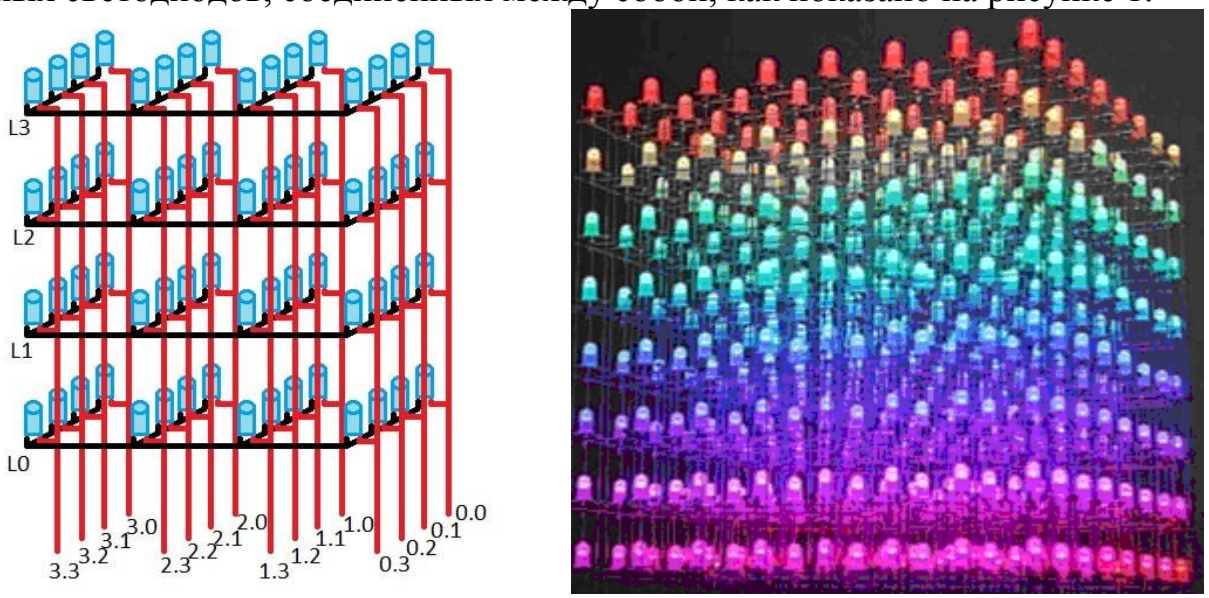


Рисунок 1 – Схема включения и внешний вид светодиодного куба

Рассмотрим конструкцию куба размерами 8x8x8светодиодов и с управлением от микроконтроллерной платы Arduino. Для сборки данного куба необходимы следующие электронные компоненты:

1) светодиоды – 512 штук;

2) регистры сдвига (тип STP16CPS05MTR) – 5 штук;

3) микроконтроллер для управления светодиодами – ATmega8, ATmega16, ATmega32 или микроконтроллерная плата Arduino;

4) соединительные провода и арматура для пайки несущих конструкций светодиодного куба;

5) компьютер для программирования устройства;

6) автономный источник напряжения питания с ЭДС, равной 12 В.

Электрическая принципиальная схема включения светодиодного куба показана на рисунке 2.

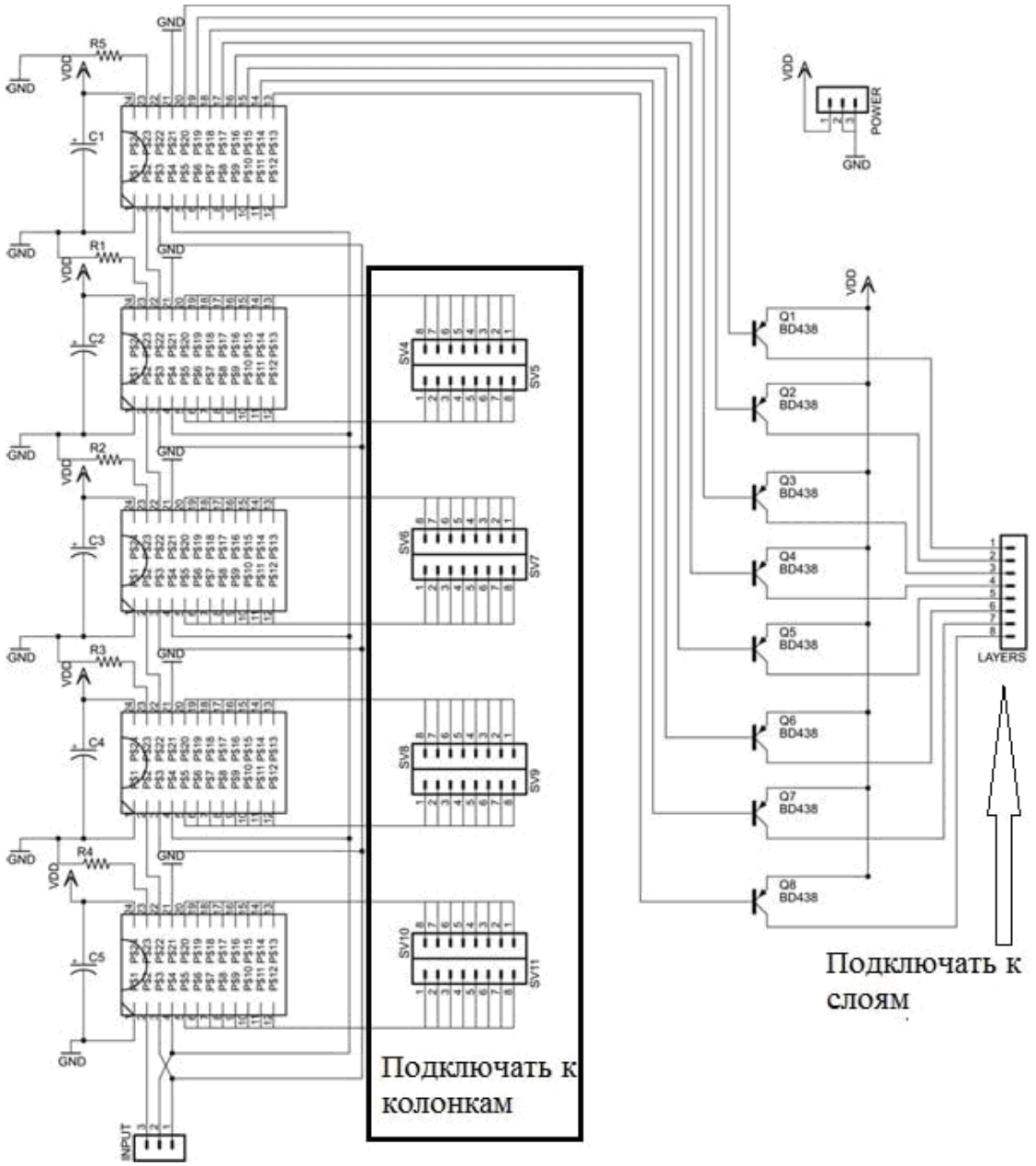


Рисунок 2 – Электрическая принципиальная схема светодиодного куба

Управление светодиодными матрицами куба осуществляется с помощью микроконтроллера, который подаёт сигналы управления в последовательном коде на сдвиговые регистры тип STP16CPS05MTR (специализированный сдвиговый регистр для светодиодных экранов), а они, в свою очередь, преобразуют последовательный код микроконтроллера в параллельный код для включения и выключения светодиодов в матрице.

Принцип микропроцессорного управления светодиодным кубом заключается в следующем. Матрица светодиодов соединяется с платой управления в 72 точках – 64 вертикальных «столбика», и 8 общих анодов «этажей». Таким образом, на пересечении столбиков и этажей получается точка – пиксель, в физическом смысле – светодиод, который можно либо зажечь, либо погасить, либо заставить мигать, программно указав микроконтроллеру, какой именно светодиод необходимо включить или выключить.

Эту проблему решает адресация каждого пикселя в светодиодной матрице. В программе, записанной в среде программирования Arduino, используется открытая библиотека MP1052. Адресация пикселей побайтная: сначала указывается номер этажа, на котором необходимо включить или выключить светодиод, затем – строка светодиодной матрицы, и лишь затем двумя байтами указывается, какой светодиод (или светодиоды) необходимо включить или выключить. Также библиотека содержит команды регулирования яркости горения светодиодов, инициализации всех портов, реакции на команды, подаваемые от инфракрасного порта.

Светодиодная матрица и плата управления питаются от одного блока Электропитания – мощного, потому что ток, проходящий в момент горения всех светодиодов в матрице, может достигать 2А. Для питания самой платы Arduino используется другой блок питания, с меньшим током на выходе. Блоки питания интегрированы в монолитный корпус, из самого куба идет лишь вилка в розетку, что расширяет сферу его применения.

Для удобства сборки и пайки куба из светодиодов рекомендуется:

1) приготовить заранее матрицу из фанеры или пластика, в которую можно будет вставить головки светодиодов, а затем запаять их в единое целое;

2) все светодиоды следует расположить одинаково: катодом (минусовым электродом) вправо, а анодом – влево. Контакты первого ряда светодиодов желательно расположить под углом в 45 градусов.

Сборка такого куба разовьет у радиолюбителя навыки пайки, точность, правильность и качество соединений. Навыки работы с микроконтроллерами пригодятся для дальнейших проектов, а с помощью отладочной платы Arduino можно научиться программировать простые средства автоматики и игрушки.

ЛИТЕРАТУРА

1 Лабораторный блок электропитания слаботочных электрических цепей постоянного тока [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://chipgu.ru/viewtopic.php?t=4216.

2 Описание регулируемого стабилитрона TL431. Схемы включения, цоколевка, аналоги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.joyta.ru/4883-primenenie-reguliruemogo-stabilitrona-tl431/.

Н.А. Прокопенков, студ.; Л.Ю. Романов, студ.;
рук. Е.Л. Царегородцев, к.т.н., доцент
(Смоленский ЦМИТ «ЗАВАНТ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖУЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА С ПРИМЕНЕИЕМ КОМПЬЮЕТРНЫХ СРЕДСТВ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ РАЗРАБОТКИ

Современное состояние аппаратно-программного обеспечения позволяет без особых затрат и в реальном масштабе времени проводить исследования автономных движущихся объектов. Автономный движущийся объект представляет собой систему, состоящую из механической и электронной подсистем, объединенных программно-аппаратным комплексом. Решение задач моделиро-

вания возможно с использованием кросс-платформенного программного обеспечения на основе Arduino.

Базой для создания подобных моделей служит использование элементов микроэлектроники, одними из которых является ультразвуковой датчик и микроконтроллер. Модулем оценки текущего состояния окружающей обстановки принимается решение о наличии или отсутствии непреодолимых препятствий. При этом в качестве исполнительного устройство возможно использование ультразвукового датчика HC-SR04.

Ультразвуковой датчик расстояния (рисунок 1) — это вид акустического сенсора, предназначенного для определения расстояния до препятствий.

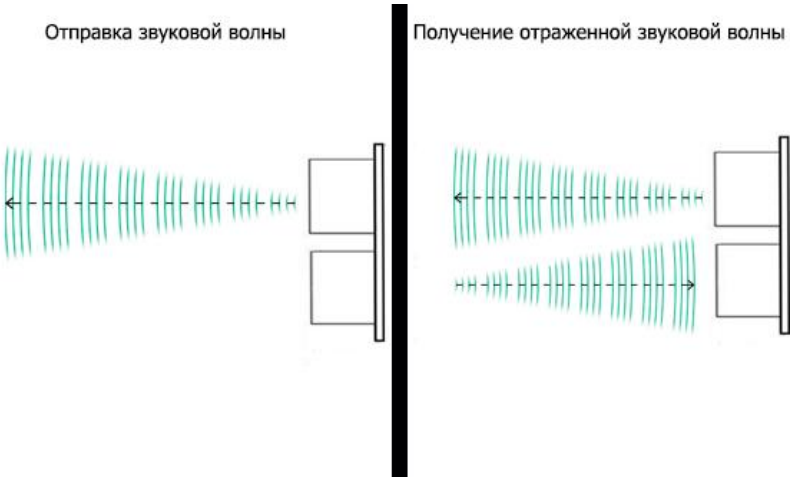


Рисунок 1 — Ультразвуковой датчик расстояния

Во время подачи положительного импульса на вход «TRIG» датчика, на выходе «ECHO» устанавливается логическая «1». После отражения звуковой волны от препятствия и возвращения её на приёмник датчика, на выходе «ECHO» устанавливается логическая «0». Из этого можно понять, что время нахождения логической «1» на выходе «ECHO» равно времени прохождения звуковой волны от датчика до препятствия. Следовательно, расстояния до объекта вычисляется как умножение скорости звука в воздухе на расстояние, которое прошла ультразвуковая волна до объекта:

$$L = \vartheta * \frac{Echo}{2},$$

где ϑ – скорость звука в воздухе; $Echo$ – суммарное время прохождения звуковой волны.

В данном расчете скорость звука в воздухе является величиной не постоянной и, следовательно, нуждается в расчётах.

$$\vartheta = \frac{\gamma RT}{M},$$

где γ – показатель адиабаты воздуха; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура воздуха; M – молекулярная масса воздуха.

Поскольку ультразвуковой датчик работает в связке с микроконтроллером, то расчёт расстояния до объекта происходит в автоматическом режиме, что доказывает фрагмент программного кода (рисунок 2), представленный ниже.

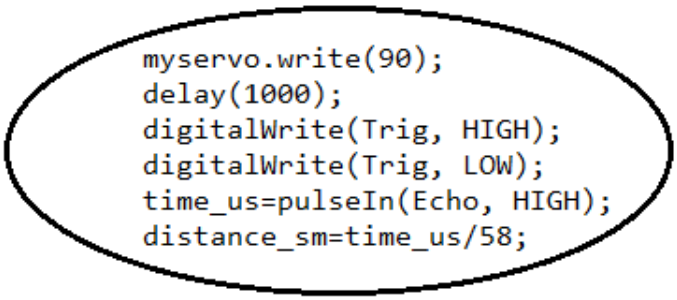


Рисунок 2— Расчёт расстояния до объекта

Для дальнейшего математического моделирования разработанного макета, необходимо использовать пакетно-программный комплекс с инструментом для создания блочных диаграмм и проведения симуляции работы модели в реальном времени. Среди разнообразия подобных пакетных предложений, нами был выбран бесплатный, свободно-распространяемый пакетный продукт под названием Scilab.

Scilab — пакет прикладных математических программ, предоставляющий открытое окружение для инженерных и научных расчётов. На его базе было проведено исследование по созданию компьютерной модели и её дальнейшее имитационное моделирование в рабочей среде Xcos, являющейся частью системы Scilab.

Xcos, в качестве приложения, входит в состав системы математического моделирования Scilab, и имеет возможности по проектированию систем в области механики, гидравлики и электроники. Это приложение представляет собой графическую интерактивную среду с блочным моделированием. Оно позволяет решать задачи динамического и ситуационного моделирования систем, процессов, устройств, а также проводить их анализ с точки зрения работоспособности или качества работы. При этом моделируемый объект представляется графическим способом с помощью своей функциональной параметрической блок-схемы, включающей блоки элементов системы и связи между ними.

Математическая модель автономного беспилотного объекта, разработанная в пакете Xcos, представлена на рисунке 3. Её принцип работы заключается в следующем. При отсутствии препятствий в зоне прямой видимости, объект движется прямолинейно и равномерно. В случае обнаружения на пути движения объекта препятствия, мешающего продолжению движения, то принимается решение о повороте в сторону во избежание столкновения.

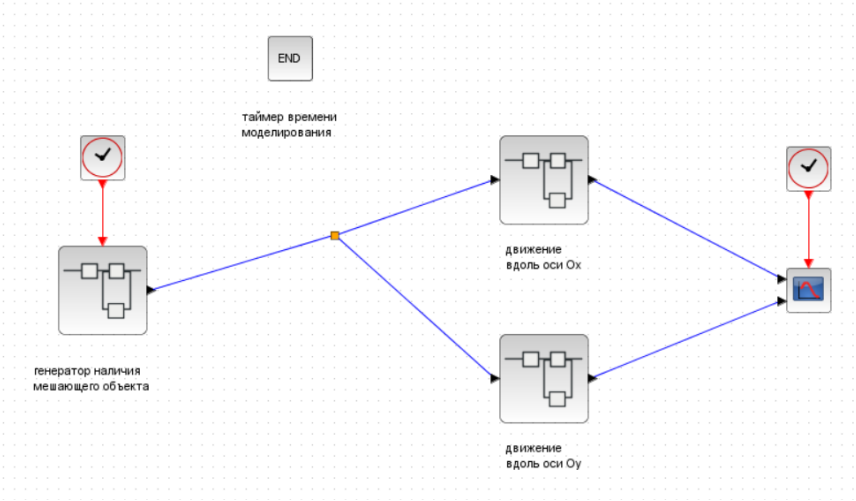


Рисунок 3—Математическая модель движения беспилотного объекта

Результат моделирования движения при равномерном законе распределения факта наличия препятствия предоставлен на рисунке 4.

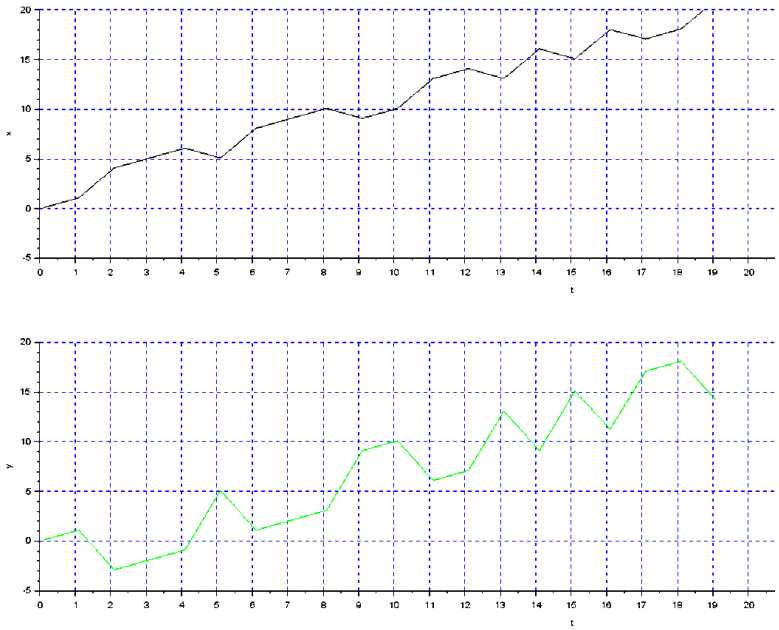


Рисунок 4—Результат объектно-визуального моделирования

Верхний график показывает зависимость координат на оси Ox от времени с учётом возникновения на пути движения беспилотного объекта некоторого препятствия. Нижний график показывает аналогичную зависимость при движении объекта, но на оси Oy. Современные средства симуляционного моделирования лабораторного макета, с учётом динамических и кинематических связей, позволяют получить осциллограммы переходных процессов. Зная их характеристики, появляется возможность настраивать наиболее оптимальные режимы работы беспилотного объекта и использовать их при работе с лабораторным макетом.

С учётом использования разработанной математической модели и создания программного кода, на базе микроконтроллера ATmega328P был разработан

лабораторный макет (рисунок 5), который ориентируется в пространстве с помощью ультразвукового датчика HC-SR04. Разработанный лабораторный макет даёт подтверждение результатов моделирования и корректности использования математического аппарата.

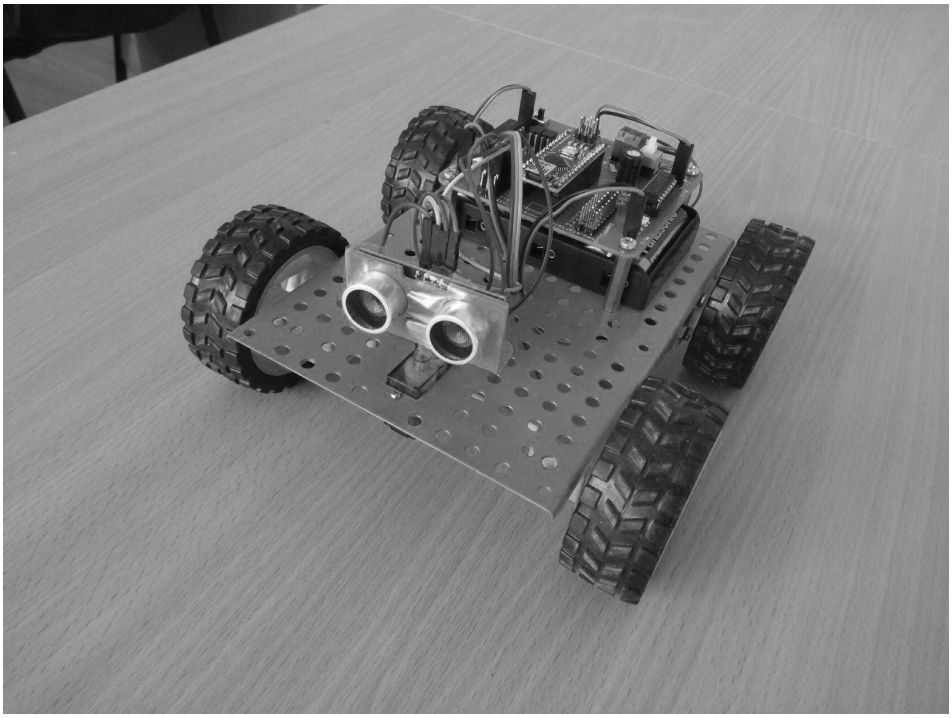


Рисунок 5—Лабораторный макет движущегося объекта

В дальнейшем, перспектива использования полученных при проведении исследования данных, поможет в разработке высокоточной системы, способной выбирать оптимальный маршрут в незнакомой обстановке и свободно ориентироваться в уже записанном в память пространстве, при помощи одной из модификаций алгоритма волновой трассировки.

Литература

1. http://robotclass.ru/tutorials/arduino-sonic-hc-sr04/.

И.В. Рыбаков, студ.; М.Е. Кондрашова, маг.; рук. М.В. Беляков, к.т.н., доцент
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СКАРИФИКАЦИИ СЕМЯН

В данной статье приводятся принципы работы и основные схемы прибора люминесцентного контроля скарификации семян и выбор его элементной базы.

Ключевые слова: прибор, светодиод, скарификация, семена, качество скарификации, кормовые растения.

Основой принципа работы прибора люминесцентного контроля качества скарификации семян является метод люминесцентного анализа [1-3]. Для оценки качества скарификации исследуемые семена, прошедшие цикл скарификации, облучаются излучением источника (светодиода) для возбуждения фотолюминесценции. Люминесценция покровной ткани семян растений регистрируется фотоприемником (фотодиодом). Источник и приемник вместе с посевным материалом находятся в светонепроницаемой камере. Электрический сигнал с выхода фотодиода усиливается с помощью операционного усилителя. Далее сигнал и преобразуется в цифровую форму встроенным в микроконтроллер аналого-цифровым преобразователем и обрабатывается. Обработка состоит в вычислении величины всхожести по уравнениям аппроксимации экспериментальных зависимости всхожести от потока для исследуемых культур. Полученное значение всхожести поступает на выходное индикаторное устройство, после чего можно сделать вывод о качестве проведенной скарификации и принять решение о дальнейших операциях с посевным материалом: посев, либо повторный цикл скарификации.

Структурная схема прибора, на которой указан каждый структурный блок в соответствии с его функцией, показана на рисунке 1. Модуляция сигнала источника излучения обусловлена тем, что интенсивность фотолюминесценции покровной ткани семян растений крайне мала, из-за чего величина полезного сигнала может быть слишком низкой по отношению к уровню фликкер-шума. Таким образом, модуляция выделяет полезный сигнал, регистрируемый приемником излучения, на фоне помех.

На рисунке 2 представлена функциональная схема анализатора, на которой указано взаимное положение структурных блоков прибора. Внутренняя поверхность светонепроницаемой камеры должна быть окрашена черной матовой краской во избежание посторонних засветок. На дне камеры размещен исследуемый посевной материал, который может располагаться как в один-полтора слоя, так и единично. Около исследуемых семян находятся источник и приемник с углами наклона в 45^0. Преимуществом данной схемы является отсутствие зеркал и других оптических компонентов, что исключает необходимость юстировки прибора. В крышке камеры находится электронный узел.

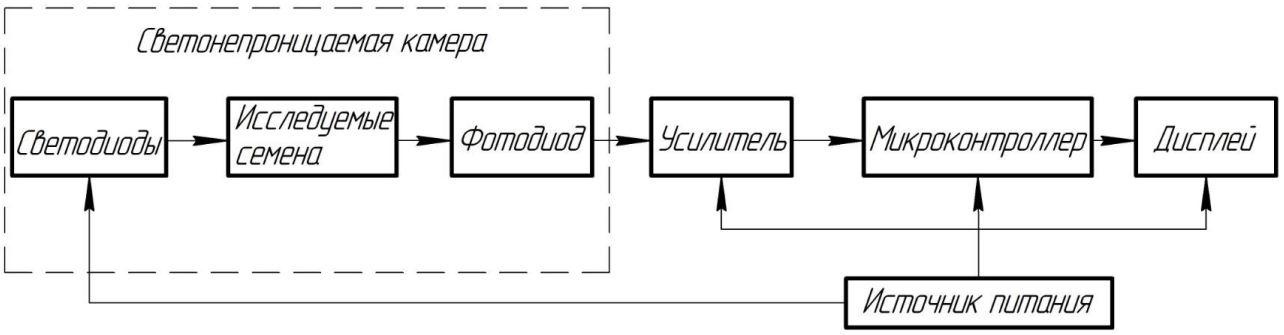


Рисунок 1 – Структурная схема анализатора эффективности скарификации семян кормовых культур

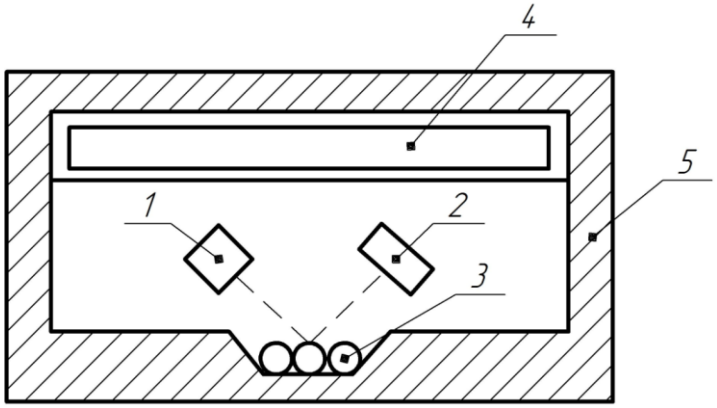


Рисунок 2 – Функциональная схема анализатора качества скарификации семян:

1 – источник излучения; 2 – приемник излучения; 3 – исследуемые семена; 4 –электронный блок; 5 - светонепроницаемый корпус

На основе структурной и функциональной схем анализатора была разработана его принципиальная электрическая схема, показанная на рисунке 3.

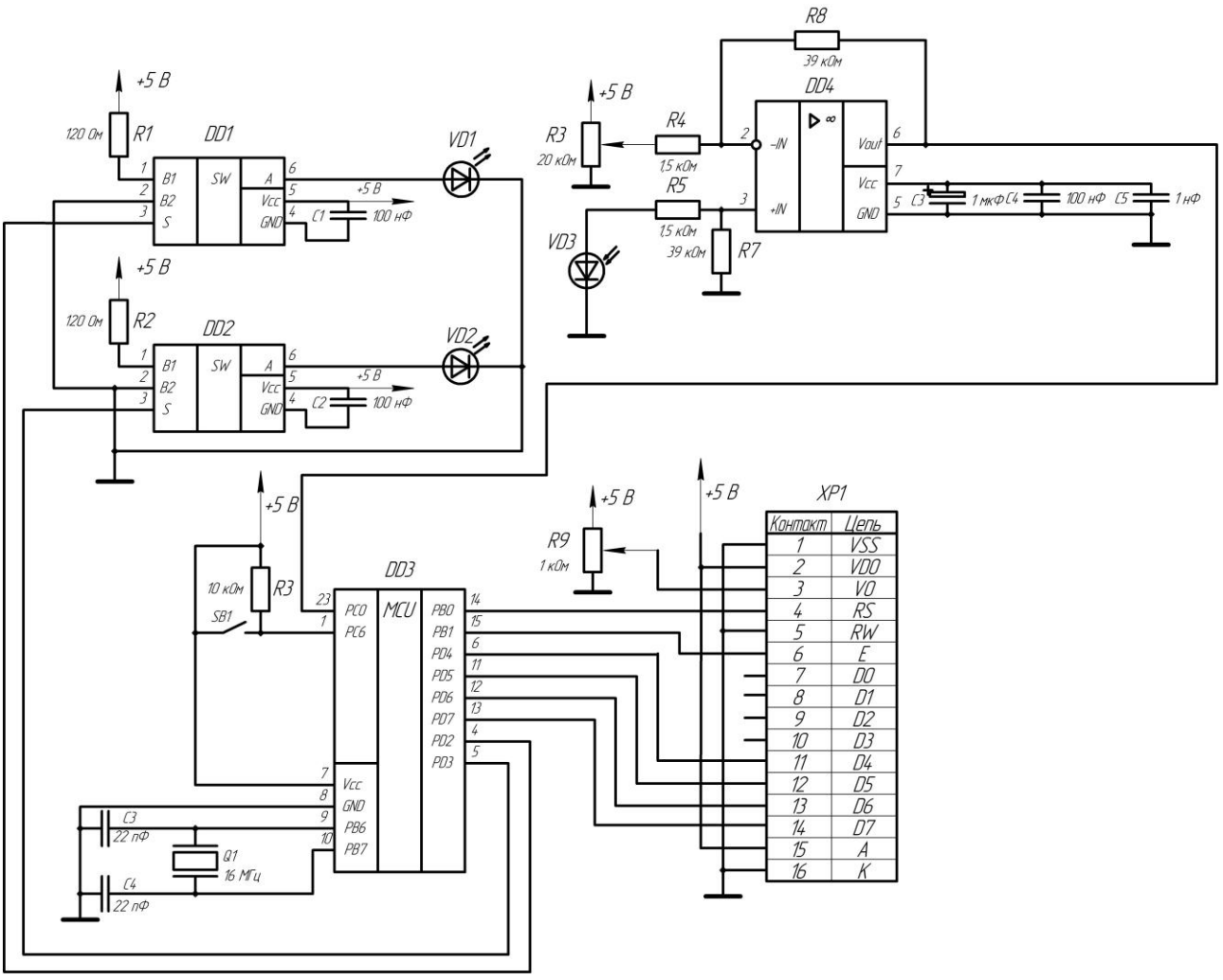


Рисунок 3 – Электрическая принципиальная схема прибора

Источник излучения подбирается таким образом, чтобы спектры излучения светодиода и чувствительности фотодиода соответствовали спектрам поглощения $\eta_э(\lambda)$ и испускания $\varphi_л(\lambda)$ семян исследуемой [4]. В этом случае получается максимальный КПД источника излучения и близкий к единице коэффициент актиничности приемника излучения. Однако, при разработке прибора необходимо учитывать, чтобы диапазоны спектра излучения источника и спектра чувствительности приемника не перекрывались. В противном случае необходимо использовать либо отрезающие фильтры, либо измерять люминесценцию покровной ткни исследуемой культуры после выключения источника излучения.

Элементная база, выбранная исходя из требований к электрической схеме, а также люминесцентных свойств покровной ткани семян кормовых растений, разрабатываемого прибора представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Элементная база анализатора

Тип элемента схемы прибора	**Выбранное устройство**
Источник излучения	Светодиод *LZ*4-00*UA*00-00*U*6
Приемник излучения	Фотодиод *BPW*21*R*
Микроконтроллер	ATMEGA 328P
Дисплей	*LCD* 1602
Операционный усилитель	AD820ANZ
Кварцевый резонатор	HC-49S 16 МГц
Ключи	SN74LVC1G3157 ASW-11D
Переменные резисторы	16K1 KC 20, кОм 16K1-A1K, L20KC, 1 кОм
Резисторы	RC0402FR-0739KL, 39кОм 3006P-1-103LF, 10 кОм CCF601K00FKE36 1,5 кОм RC0402FR-07120RL, 120 Ом
Конденсаторы	C330C105M5U5TA 1 мкФ К73-17 имп, 0.022 мкФ B81123-C1102-M, 1 нФ 0603 X7R 100нФ

Предложенная электрическая принципиальная схема (рисунок 3) включает в себя два независимых функциональных каскада. Общее напряжение электрической цепи однополярное величиной +5 В.

Первый функциональный блок состоит из двухпозиционных аналоговых переключателей DD1 и DD2, которые служат для организации импульсного питания светодиодов, и светоизлучающих диодов *VD*1 и *VD*2. Время между импульсами задается микроконтроллером и составляет 0,75 мс. Светодиоды

предназначены для возбуждения поверхности посевного материала источником излучения требуемого диапазона.

Предназначение второго каскада заключается в приеме и обработке величины потока фотолюминесценции поверхности семян растений. Он состоит из фотодиода *VD*3, операционного усилителя DD4, на входы V_{cc} и GND которого дополнительно параллельно подключены три конденсатора разных типов, электролитический, керамический, пленочный, для обеспечения лучшей помехозащищенности, и микроконтроллера DD3, на котором для удобства измерений реализована функция сброса через ключ SB1. Фотодиод работает в вентильном режиме.

Данный прибор разрабатывается с целью применения для получения возможности контроля всхожести семян после скарификации на промышленном скарификаторе. Примером такого скарификатора на российском рынке может быть СК-300 (Пенза), который не имеет устройства для контроля эффективности скарификации посевного материала.

Литература:

1. Беляков М. В., Харитонова Д.А., Кондрашова М.Е. Люминесцентные характеристики семян галеги восточной при скарификации. // Энергетика, информатика, инновации – 2015: Сб. трудов V Межд. науч.-техн. конф. - Смоленск: Универсум, 2015. –т. 1, С.264-266.
2. Беляков М. В. Влияние скарификации на люминесцентные свойства семян галеги восточной // Вестник НГИЭИ, 2016, №10(65), с. 73-82.
3. Зиенко С. И., Беляков М. В., Малышкин В. В., Кондрашова М. Е.Люминесцентная диагностика семян кормовых растений при скарификации // Научная жизнь, 2017, №3, с. 4-13.
4. Кондрашова М.Е.. Рыбаков И.В. Исследование люминесцентных характеристик семян галеги восточной с пониженной всхожестью при двукратной скарификации // Интеллектуальные информационные технологии, энергетика и экономика: сборник трудов XV Международной научно-технической конференция студентов и аспирантов. – В. 3-х т. – Т.2. – Смоленск: Издательство «Универсум», филиал НИУ МЭИ в г. Смоленске. – 2018. – С. 103-106

Н.В. Рыбакова, асп.; рук. В.В. Марков
(Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орёл)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СТАБИЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Состояние космической деятельности является одним из основных факторов, определяющих уровень развития и влияния России в современном мире, ее статус высокоразвитого государства.

Надежность целевой аппаратуры является одним из основных факторов, влияющих на эффективность использования космических систем (КС). К современным КА (2010-2016 гг.) предъявляются требования о доведении сроков активного существования до 10-15 лет и более [1]. Обеспечение высоких показателей надежности при столь длительных сроках эксплуатации требует от разработчиков аппаратуры больших интеллектуальных и материальных затрат.

Электрические соединители являются важным компонентом изделий ракетно-космической техники, так как входят в состав электрических цепей, соединяющих основные части КА: модуль служебных систем, модуль полезной нагрузки и бортовую кабельную сеть. Отказы соединителей приводят к нарушению передачи информационных, телеметрических и командных сигналов между модулями КА, нарушениям электропитания аппаратуры, потере научной информации, отказам частей и КА в целом [2].

Основную долю соединителей, применяемых при производстве космической техники, составляют отечественные разъемы. Однако, как отмечает А. Еремин, технический уровень отечественных электрических соединителей не в полной мере соответствует требованиям, предъявляемым к радиоэлектронным компонентам современной радиоэлектронной аппаратуры.

Импортные соединители имеют ряд преимуществ перед отечественными по массогабаритным показателям, степени защиты от внешних воздействий, электрическим характеристикам, однако их применение осложнено ограничениями на поставку, длительными сроками закупки, а также отсутствием документации о качестве. Современное состояние и технический уровень основных фондов отечественных предприятий, выпускающих электрические соединители, требует значительного обновления и модернизации [3]. В связи с этим довольно острой является проблема контроля отечественных соединителей на всех этапах жизненного цикла изделий РКТ.

Стандартные методы контроля и испытаний разъёмных электрических соединителей указаны в ГОСТ 23784-98. К ним относятся:

1) Контроль на соответствие требованиям к конструкции;

2) Контроль на соответствие требованиям к электрическим параметрам и режимам эксплуатации:

- контроль переходного сопротивления контакта;
- контроль сопротивления цепи экранировки;
- контроль емкости между контактами;
- контроль сопротивления изоляции;
- контроль на воздействие тока на каждый контакт;
- контроль на воздействие максимально допустимых кратковременных токов на контакт;
- контроль работоспособности соединителей при минимальных токах и напряжениях;

3) Контроль на соответствие требованиям по стойкости к внешним воздействующим факторам;

4) Контроль на соответствие требованиям по надежности [4].

К нестандартным методам контроля относятся следующие экспериментальные методы исследования свойств поверхностей контактов:

- инфракрасная (ИК) спектроскопия;
- спектроскопия комбинационного рассеяния;
- спектроскопия полного рассеяния;
- Оже-электронная спектроскопия;

- рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия;
- электронная микроскопия.

В настоящее время существует большое количество методов экспериментальной оценки шероховатости поверхности. Наиболее распространены щуповые методы, а также оптические методы, использующие электромагнитное излучение. Известны электрические и термические методы, основанные на прохождении электричества и теплоты через контакт шероховатых тел. Значительное место занимают методы изучения шероховатых поверхностей с помощью сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии. Широко применяются статистические методы испытаний электрических соединителей, в частности на надежность и износ [5].

Перечисленные выше методы контроля и испытаний разъёмных электрических соединителей позволяют установить фактическое состояние соединителя непосредственно после воздействия на него факторами рабочей среды, но не позволяют прогнозировать характер изменения показателей надёжности в будущем. Поэтому совершенствование методов контроля показателей надёжности целесообразно проводить в направлении разработки новых, неразрушающих методов контроля, позволяющих прогнозировать остаточный ресурс рабочих поверхностей деталей разъёмных соединителей.

Для подтверждения данного утверждения проведены измерения переходного сопротивления двух контактных пар (1 и 3) разъема DB-9, изображенного на рисунке 1. Измерения переходного сопротивления проводились по методике, приведенной в ГОСТ 24606.3-82, с использованием нановольтметра/микроомметра Agilent 34420A (Agilent Technologies, США).

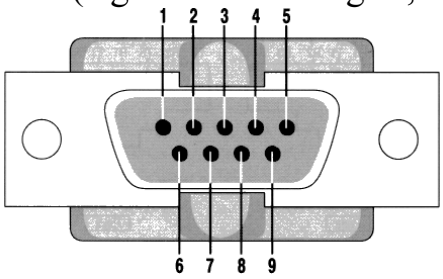
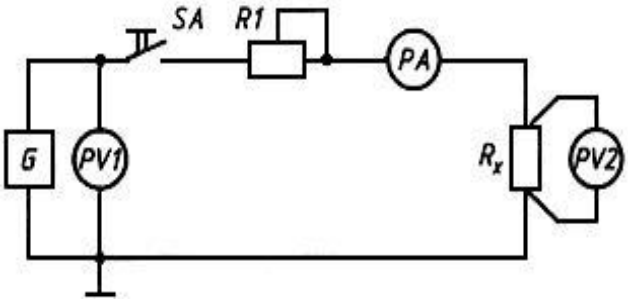


Рисунок 1 – Контакты разъема DB-9



G – источник тока; SA – выключатель; R1 – переменный резистор; PA – амперметр; PV1, PV2 – вольтметры; Rx – сопротивление контакта

Рисунок 2 – Измерение переходного сопротивления контакта

Технические характеристики прибора: разрешение индикатора 7.5 разрядов; чувствительность 100 пВ/100 нОм; уровень шума 1,3 нВ (СКЗ)/8 нВ (размах); скорость измерений до 250 отсчетов в секунду.

Схема измерения приведена на рисунке 2.

На рисунках 3 и 4 показаны результаты измерений переходных сопротивлений контактных пар 1 и 3 соответственно.

Рисунок 3 – Изменение переходного сопротивления контактной пары 1 в процессе эксплуатации

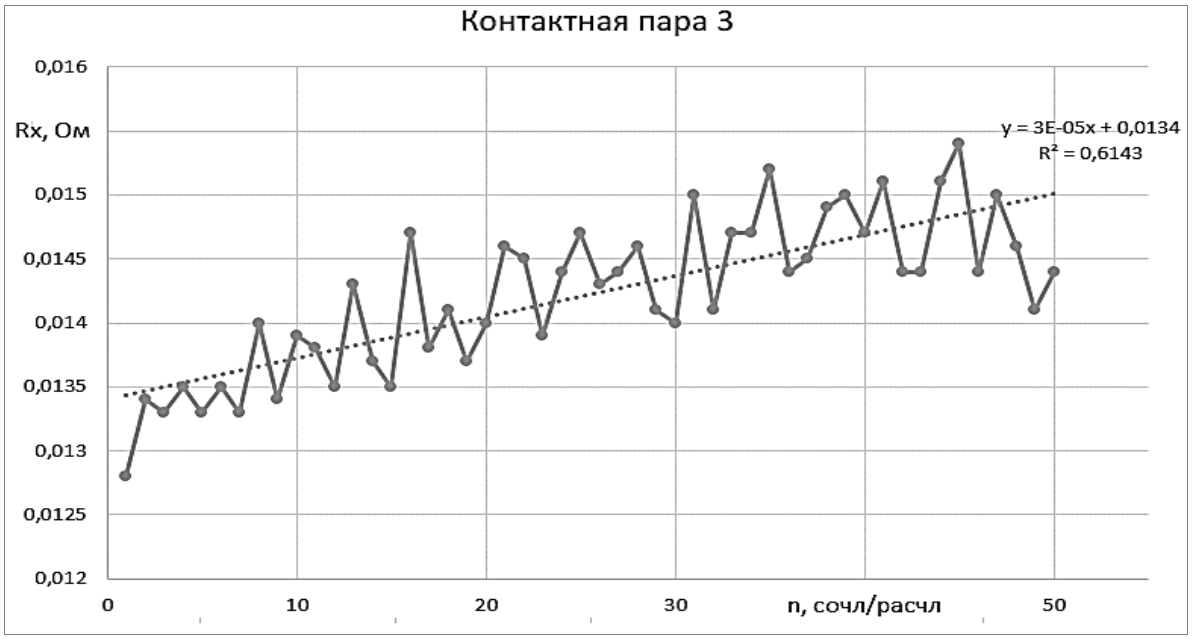


Рисунок 4 – Изменение переходного сопротивления контактной пары 3 в процессе эксплуатации

Из графиков видно, что сопротивления контактных пар растут в процессе эксплуатации (количество сочленений-расчленений). Для контактной пары 1 было зафиксировано два момента, когда переходное сопротивление превысило допустимое значение.

Таким образом, проводя входной контроль по стандартной методике, можно узнать только текущее состояние объекта контроля, но нельзя предсказать, каким оно будет при последующих включениях. Применительно к электрическим соединителям, используемым в изделиях РКТ, это означает, что, во время наземной отработки качество контактных поверхностей соединителей меняется, и к моменту начала эксплуатации в натурных условиях состояние разъема может оказаться неудовлетворительным.

Разработка метода и методики контроля электрических соединителей с учетом износа позволит решить одну из основных проблем надежности – прогнозирование изменения работоспособности электрических соединителей в процессе эксплуатации.

Наиболее глубоко в теоретическом и экспериментальном отношении феномен трения изучен для опор качения и скольжения машин. Однако, известные модели трения деталей опор машин не могут быть использованы для описания трения в разъёмах без введения ряда дополнительных ограничений и допущений. Контакт в них должен рассматриваться, как упруго-пластический или пластический. Кроме того, при анализе особенностей функционирования разъёмных соединителей необходимо учитывать трибологические явления, происходящие в первые моменты замыкания или размыкания контактных пар.

ЛИТЕРАТУРА

1 Алешин, В.Ф. Проблемные вопросы прогнозирования и подтверждения надежности космических аппаратов длительного функционирования В.Ф. Алёшин, А.Ю. Колобов, Ю.А. Петров // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. №6.

2 Васильев, И.С.Надежность электрических соединений в бортовой кабельной сети перспективных космических аппаратов / И.С. Васильев, В.С. Ким, С.В. Ефремов // Интернет-журнал «Науковедение». 2013. №3 (16) С.54.

3 Ерёмин, А.А. Пути развития производства прямоугольных низкочастотных соединителей в России /А.А. Ерёмин, А.Н. Киселев, А.В. Шадрин. – 2013 // Современная Электроника. – 2013. – 2013 №6. – С.12-16.

4 Мышкин, Н.К. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии / Н.К. Мышкин, М.И. Петроковец. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 368 с.

Е.А. Рябинина, студ.; рук. В.А. Смолин
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЯРКОСТИ АТМОСФЕРЫ В УФ ДИАПАЗОНЕ

Использование беспилотных воздушных судов уже давно никого не удивляет. В настоящий момент БВС применяются в самых разнообразных целях. Вместе с этим на сегодняшний день нет практически никаких запретов на использование дронов на территории РФ [1]. Ввиду данного факта «пилотом» может стать любой человек, в том числе не владеющий сведениями о возможном расположении зон ограничения полетов, или же злоумышленник. Поэтому актуальна проблема обнаружения в воздушном пространстве аппаратов, совершающих несанкционированные полеты.

На кафедре ЭиМТ в Смоленском филиале МЭИ проводится исследование пространственно-временной структуры энергетической яркости атмосферы в ближнем, среднем и дальнем инфракрасных (ИК) диапазонах. Основным недостатком ИК диапазона является то, что работа в нём невозможна при 20º телесного угла от солнца. Решением проблемы может стать использование радиометра, работающего в ультрафиолетовом диапазоне (УФ-А – излучение с длинами волн меньше 380 нм и больше 320 нм и УФ-В – излучение с длинами волн меньше 320 нм и больше 280 нм).

Таким образом, предлагается разработка двухканального радиометра, позволяющего производить измерение энергетической яркости в ультрафиолетовом диапазоне с возможностью компенсации влияния на измерения температуры окружающей среды. Функциональная схема измерительно-вычислительного комплекса (ИВК) представлена на рисунке 1.

В качестве аппаратной платформы выбрана Arduino DUE (микроконтроллер AT91SAM3X8E), что позволяет создать относительно недорогое и многофункциональное устройство.

Питание схемы осуществляется от стабилизированного источника питания с выходным напряжением 12 В (данная величина необходима для работы драйверов). Но так как питание многих элементов устройства (датчиков, фотокамеры и др.) осуществляется с помощью 5 В, а питание самой аппаратной платформы не может быть больше 3,3 В, в устройстве используются несколько преобразователей напряжения: из 12 В в 5 В, а также из 5 В в 3,3 В.

ИВК включает в себя:

- радиометр с двумя каналами (УФ-А и УФ-В) измерения энергетической яркости атмосферы;
- датчик температуры и влажности для контроля параметров окружающей среды;
- фотокамеру, используемые для возможности получения кадров участка неба, изучаемых в данный момент;
- flash-карту для возможности сохранения всех результатов измерений на съемном носителе;
- дисплей для отображения получаемых данных и контроля положения поворотного устройства;
- клавиатуру, с помощью которой осуществляется выбор пунктов меню работы устройства, а также вводятся координаты для размера измеряемой области неба.

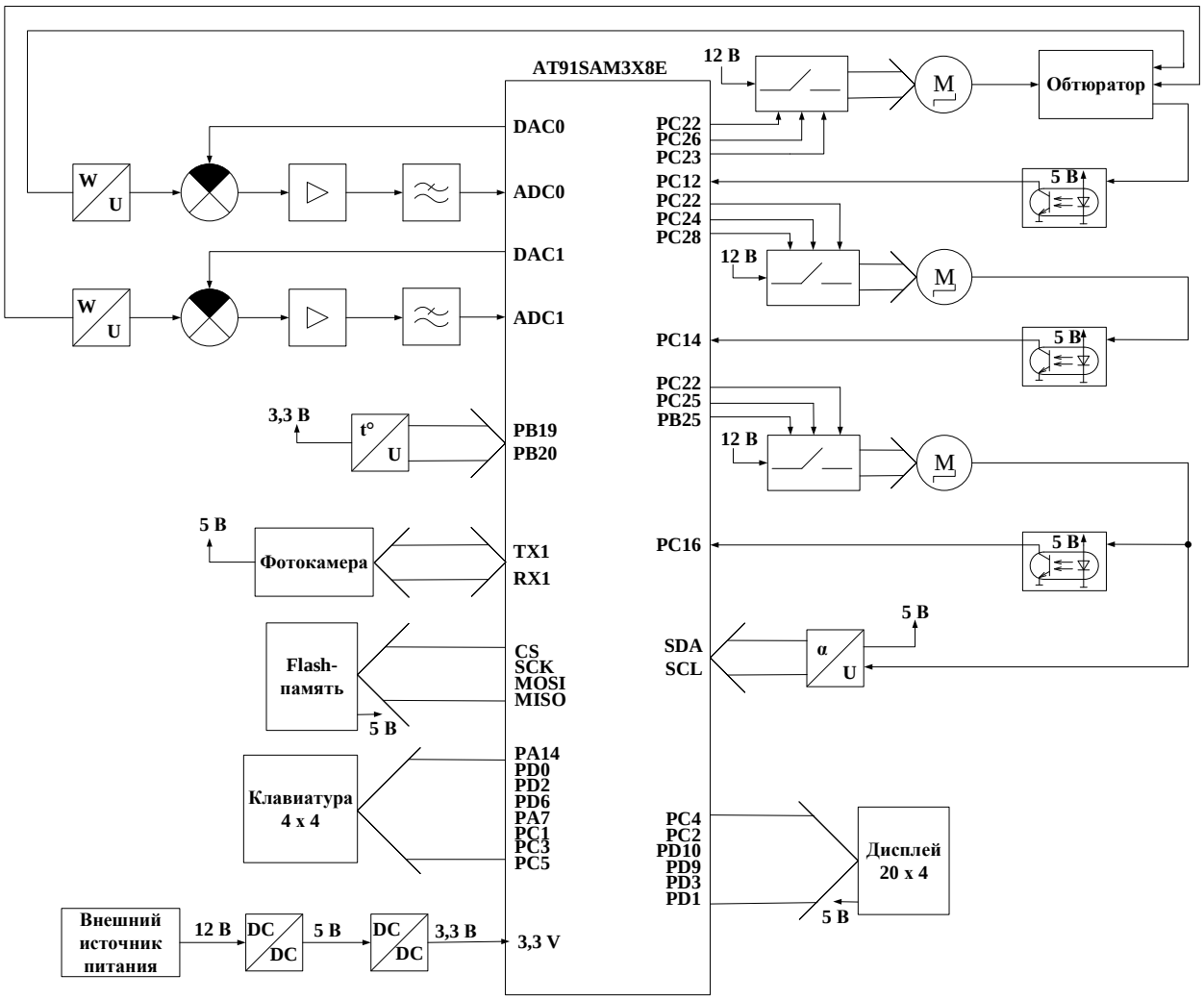


Рисунок 1 – Функциональная схема ИВК

Так как сам радиометр достаточно массивен, в качестве сканирующего элемента на поворотной платформе установлено алюминированное зеркало, направляющее лучистый поток на приемники. Для поворота зеркала используются два шаговых двигателя, а для контроля наклона зеркала используется модуль, содержащий акселерометр и гироскоп.

Сначала датчиком BME280 измеряются параметры окружающей среды (температура, давление и влажность) и фотокамерой осуществляется снимок участка неба. Полученные данные записываются на flash-карту. Затем начинается измерение энергетической яркости атмосферы.

Радиометр, установленный на специальной подставке над поворотным устройством, содержит зеркальный обтюратор, с помощью которого осуществляется отражение лучистого потока на второй датчик. Благодаря этому одновременно происходит измерение энергетической яркости участка неба по двум каналам. Лучистый поток поступает на УФ-датчик через оптическую систему и преобразуется в напряжение. Полученный сигнал усиливается и через низкочастотный фильтр подается на АЦП. После поворота обтюратора на 45°

производится измерение энергетической яркости внутренней полости радиометра. Полученное значение записывается в ЦАП и подается на вычитатель, что обеспечивает температурную компенсацию. Измерение во втором канале происходит аналогично. Результаты измерений по каждому каналу выводятся на экран (с указанием координат платформы относительно выставленного нуля) и записываются на flash-накопитель.

Процесс измерения фрагмента кадра завершается автоматическим поворотом платформы на 20’ по горизонтали или вертикали. После определенного количества поворотов, заданного программно, формируется кадр (рисунок 2).

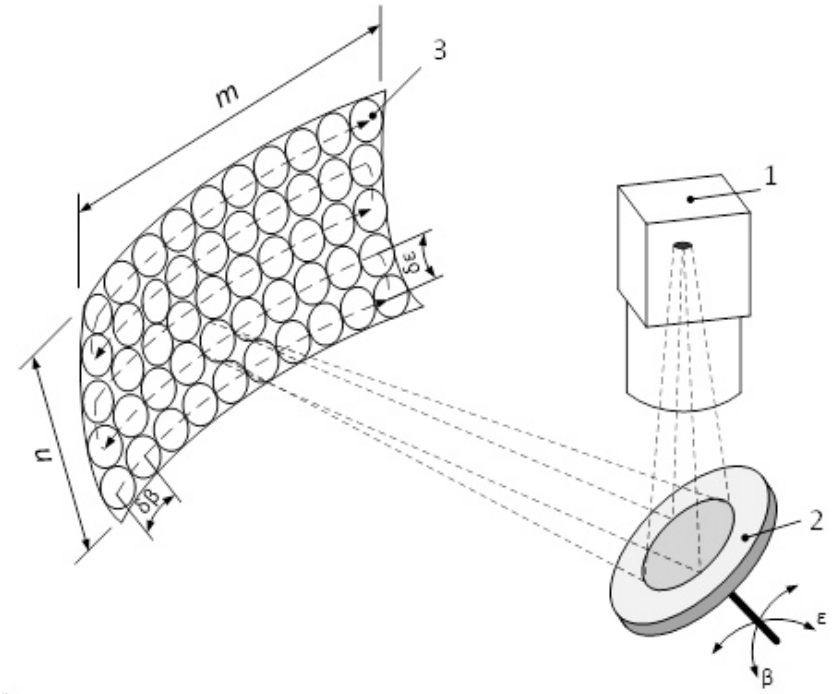


Рисунок 2 – Измерительно-вычислительный комплекс для экспериментальных исследований пространственной структуры излучения неоднородностей атмосферы: 1 — радиометр; 2 — сканирующее зеркало; 3 — область сканирования

В настоящее время ведется дальнейшая разработка устройства по написанию программного кода и сборке модели.

Литература

1. Порядок использования беспилотных воздушных судов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.favt.ru/poryadok-ispolzovaniya-bespilotnyh-vozdychnih-sudov/ свободный (дата обращения: 15.10.2018)

2. Смолин В.А, Рассказа Д.С., Костикова Т.А., Рачковский С.С. Разработка измерительно-вычислительного комплекса для исследования собственного излучения облачной атмосферы // Сборник: XIV международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Информационные технологии, энергетика и экономика» - Смоленск: Издательство «Универсум», филиал НИУ МЭИ в г. Смоленске, т.3, 2015. – 284 с.

3. Смолин В.А., Рябинина Е.А., Рассказа Д.С. Разработка двухканального радиометра для проведения измерения в УФ диапазоне//Сборник материалов межвузовского семинара «Вопросы информатизации учебного процесса, научных исследований и управления» - Смоленск: ВА ВПВО ВС РФ, 2018. –с.132

В.В. Саранцев, студент; рук. С.А. Образцов, к.т.н., доцент
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИСКРОБЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО РАСХОДОМЕРА ПРИРОДНОГО ГАЗА

Одной из главных задач в распределительных сетях газоснабжения является задача технологического и коммерческого учета объема потребляемого природного газа, которая решается с помощью расходомеров и счетчиков природного газа [1].

При создании такой системы учета потребляемого природного газа необходимо обратить внимание на условия эксплуатации. Природный газ, большую часть которого составляет метан, является взрывоопасным. Устройствам, находящимся в среде с взрывоопасным газом, предъявляются соответствующие требования.

Необходимость рассматривать электрические схемы на искробезопасность важна для устройств, находящихся во взрывоопасной среде. Основными элементами, влияющими на безопасность такой цепи являются такие инерционные элементы, как емкость и индуктивность . При размыкании контакта, находящегося в опасной зоне, осуществляется накопление в конденсаторе электрической энергии. Ее выделение совершается при замыкании контакта, при этом образуется электрическая искра (рис. 1), что приводит к взрыву [2].

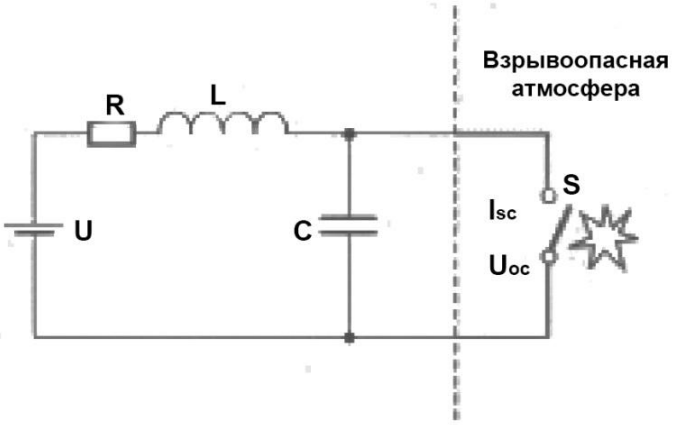


Рис. 14 – Электрическая схема типовой искробезопасной цепи

Таким же образом при замкнутом контакте индуктивность накапливает магнитную энергию, выделение которой происходит в виде электрической дуги при размыкании контакта. Необходимо, чтобы уровень выделяемой электрической энергии был ниже минимальной энергии поджога газовоздушной смеси, находящейся во взрывоопасной зоне.

Неотъемлемой частью расходомера являются ультразвуковые датчики (пьезоэлементы) [3], например, датчик ПП 228-03-0,2-6,3-Т1-Х1-К3№158. Форма приемного сигнала – угасающие биения синусоидального сигнала. Характерная форма принимаемого сигнала представлена на рис. 2. Датчик имеет номинальную рабочую частоту 260 кГц, удельную чувствительность при ат-

мосферном давлении не менее 30 мкВ/В, максимальное рабочее давление не более 6,3 МПа, электрическую емкость не менее 600 пФ.

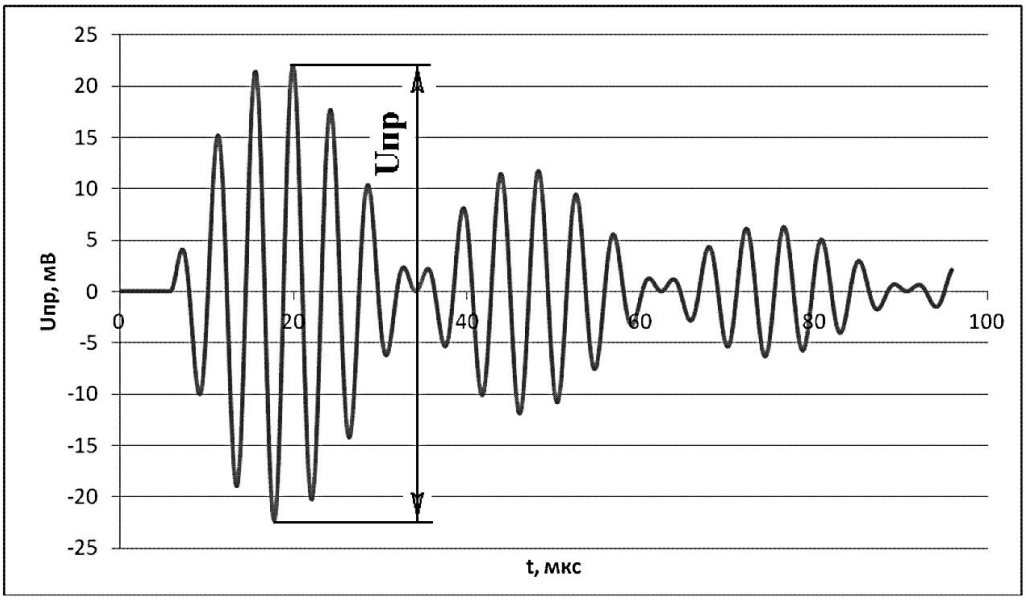


Рис. 15 – Принимаемый сигнал ультразвукового датчика

Он имеет паразитную емкость, что означает присутствие емкостной цепи во взрывоопасной зоне. Для снижения риска взрыва, в цепь добавляют резистор (рис. 3).

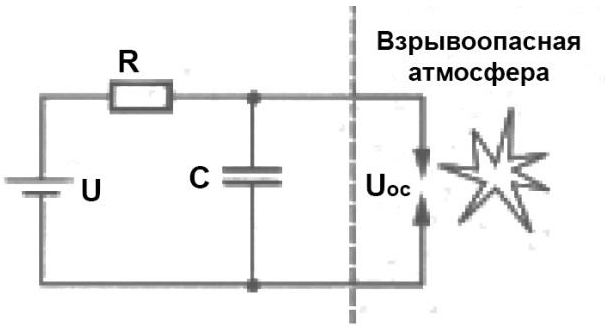


Рис. 16 – Электрическая схема емкостной цепи

Когда цепь разомкнута, проходит процесс зарядки конденсатора до напряжения *U*; во время замыкания цепи, накопленная конденсатором энергия ($E = \frac{1}{2}CU^2$), образуется в виде электрической искры. Разряд конденсатора является неполным и происходит не моментально. Резистор, который включен в цепь разряда конденсатора, помогает увеличить его время разряда. Накопленная конденсатором энергия частично рассеивается. Таким образом, энергия ограничивается в месте контакта.

На рис. 4 приведены зависимости минимального напряжения, приводящего к возгоранию, от емкости цепи и сопротивления резистора увеличивающего время разряда для пентано-воздушной смеси [4].

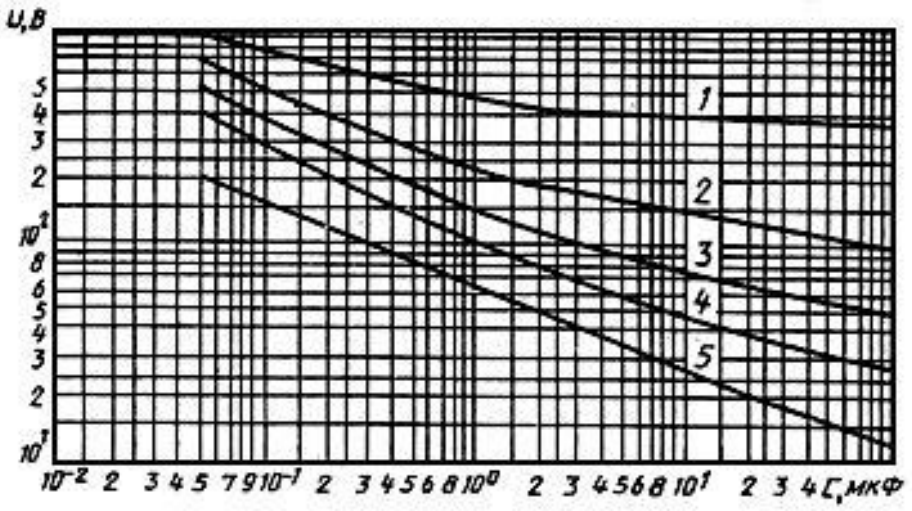


Рис. 17 – Зависимость минимального напряжения, приводящего к возгоранию, от емкости цепи и сопротивления резистора увеличивающего время разряда для пентано-воздушной смеси

Сопротивление ограничительного резистора (рис. 3):

1 – R=10 кОм,

2 – R=1,0 кОм,

3 – R=0,1 кОм,

4 – R=0,01 кОм,

5 – R=0 Ом.

Для выбранного датчика ПП 228-03-0,2-6,3-Т1-Х1-К3№158 была измерена электрическая емкость равная 1200 пФ. При напряжении 48 В из номограммы (рис. 4) видно, что сопротивление должно быть 100 Ом. Для независимого подключения датчика к цепи, разобьем сопротивление на два по 51 Ом. Таким образом, может быть обеспечена искробезопасность ультразвукового расходомера природного газа.

Литература

1. Саранцев В.В., Образцов С.А. Разработка ультразвукового расходомера природного газа // Сборник трудов VIII Международной научно-технической конференции "Энергетика, информатика, инновации - 2018" - Смоленск: Издательство "Универсум", филиал НИУ МЭИ в г. Смоленске, т.2, 2018 - 236-239 с.
2. Жданин В.К. Вид взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь»//СТА. – 1999 – №2. – С. 72-83.
3. Расходомеры и счетчики количества / П.П. Кремлевский Л.: Машиностроение, 1989. – 701с.
4. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОЕ С ВИДОМ ВЗРЫВОЗАЩИТЫ "ИСКРОБЕЗОПАСНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ". Технические требования и методы испытаний : ГОСТ 22782.5-78 - Издание официальное. - М. : ИПК Издательство стандартов, 1994. - 49 с.

А.Н. Сидорова, М.Д. Самарин, студ.; рук. М.В. Беляков к.т.н., доц.,
М.Г. Куликова к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ВЫБОР ИСТОЧНИКА И ПРИЕМНИКА ДЛЯ УСТАНОВКИ КОНТРОЛЯ РАЗМОЛА ГРЕЧНЕВОЙ КРУПЫ

В работе представлены результаты исследования люминесцентных характеристик гречневой крупы. Кроме того был произведен выбор подходящих для анализа качества крупы фото- и светодиодов.

Ключевые слова: *гречневая крупа, размол, спектрофлуориметр, фотодиод, светодиод.*

Одной из самых важных характеристик дисперсных сыпучих материалов является средний размер частицы. Определение этого параметра имеет первостепенное значение, поскольку отклонения от заданных значений могут стать причиной негативных последствий и нанести серьезный ущерб производству, т.к. при его изменении поменяются свойства готового продукта.

Существует большое количество разнообразных методов фракционного анализа. В основном деление происходит на прямые, при помощи которых происходит непосредственное измерение исследуемого параметра, и косвенные, позволяющие производить измерение различных параметров в зависимости от размера частицы. К прямым методам исследования относят ситовой и микроскопический методы анализа, а к косвенным различные оптические методы, седиментационные и т.п.

Прямые методы исследования обладают высокой точностью, достоверностью и другими подобными преимуществами, однако зачастую для их проведения требуется высокоточное, громоздкое и сложное оборудование, которое может позволить себе не каждое предприятие. Помимо этого время проведения такого анализа может быть весьма внушительным, что недопустимо для оперативного вмешательства и корректировки. Поэтому проблема экспресс анализов в условии производства очень актуальна.

Цель работы – исследование оптических свойств гречневой крупы, а также анализ возможных, подходящих для исследования, светодиодов и фотодиодов.

Материалом для исследования является гречневый размол со средним размеров частицы 1 мм, полученный ситовым фракционированием [2].

Для исследований был использован комплекс, который состоит из спектрофлуориметра «Флюорат-02-Панорама» и стационарного компьютера с установленным программным обеспечением «Panorama Pro», а также внешней камерой, в которую помещалась бюкса с исследуемым образцом [1]. Для математической обработки результатов исследований был использован MS Excel.

Результаты измерений спектров возбуждения (поглощения) и люминесценции гречневой крупы представлены на рисунках 1. Каждая кривая на графике была получена в результате усреднения 15 отдельно взятых результатов измерения навески фракции. У спектра возбуждения пик приходится на 424 нм с

значением 3,85 о.е., а для спектра люминесценции на 494 нм с значением 3,78 о.е.

В качестве источников излучения выбраны светодиоды. Критерием выбора светодиода является максимальное его соответствие спектру возбуждения размолов гречневой крупы.

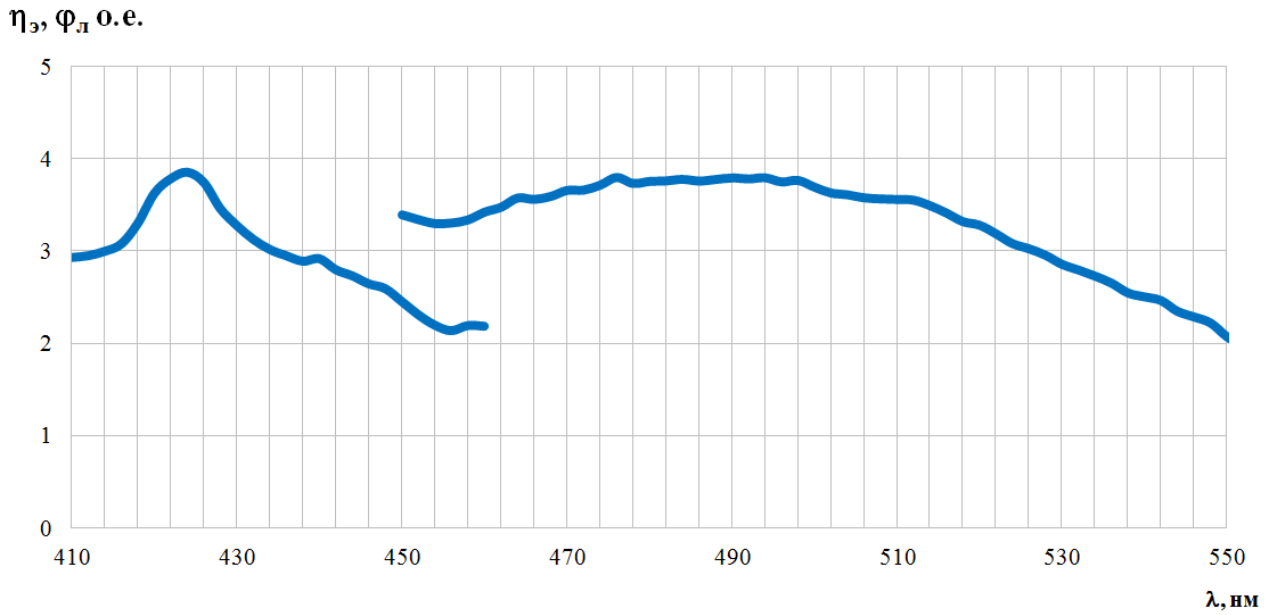


Рисунок 1 – Спектры люминесценции и возбуждения размола гречневой крупы: возбуждения (слева) и люминесценции (справа)

Рассмотрим несколько вариантов источников излучения: светодиоды различных марок: *HK*5*H*4*UBC*, *HL-A*-3014*H*203*BC-S*1-08, *Blue TOP LED* (1210), *LZ*4-00*UA*00-00*U*6, *BL-L*324*BC*.

Вычислим эффективный КПД излучения для выбранного светодиода по формуле (1):

$$\eta_{э,изл} = \frac{\Phi_э}{\Phi_e} = \frac{E_э}{E_e} = \frac{S_{макс}\left(\int_0^{\infty} e(\lambda)s(\lambda)d\lambda + \sum_{i=1}^{n} E_{\lambda,i}s_{\lambda}\right)}{\int_0^{\infty} e(\lambda)d\lambda + \sum_{i=1}^{n} E_{\lambda,i}}, \quad (1)$$

где $\eta_{э,изл}$ – эффективный КПД излучения, Φ_e и $\Phi_э$ – полный и эффективный потоки излучения источников, соответственно; E_e и $E_э$ – полная и эффективная облучённость, создаваемая источником излучения на рабочей поверхности; $S_{макс}$ – максимальное значение характеристики возбуждения семян; $s(\lambda)$ – спектральная характеристика возбуждения семян; $e(\lambda)$ – спектральная плотность облучённости рабочей поверхности.

Результаты расчета представим в таблице 1.

Таблица 1 – результаты расчета эффективного КПД излучения

Источник излучения	$\eta_{э,изл}$, %
СД *HK5H4UBC*	53,3
СД *HL-A-3014H203BC-S1-08*	45,1
СД *Blue TOP LED* (1210)	31,1
СД *LZ4-00UA00-00U6*	38,5
СД *BL-L324BC*	61,0

Проанализировав результаты расчета эффективного КПД излучения, можно сделать вывод, в качестве ИИ выгоднее всего использовать светодиод *BL-L324BC*, так как его эффективный КПД излучения наиболее высокий.

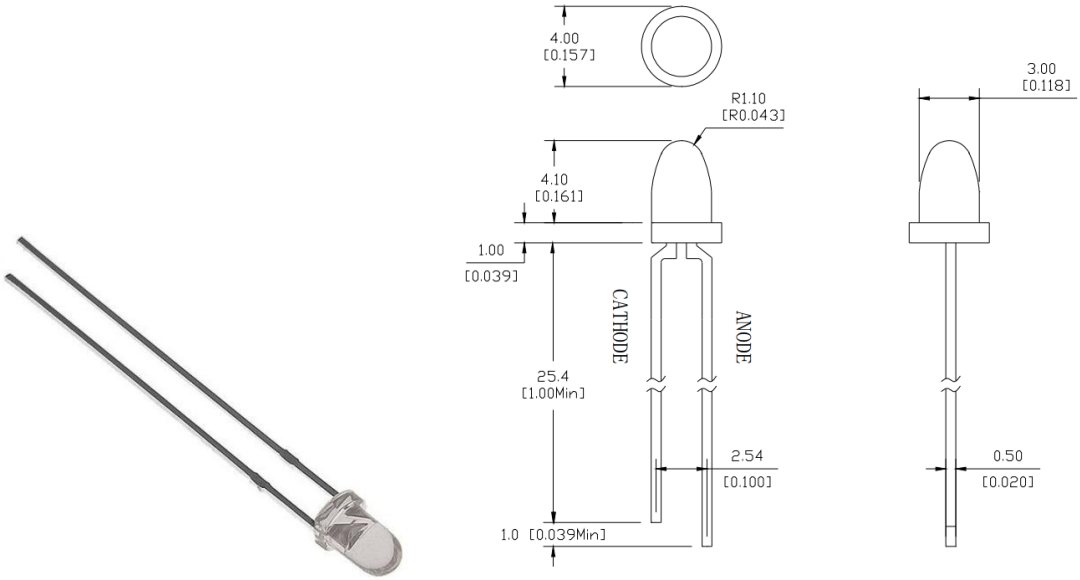


Рисунок 2 – Светодиод *BL-L324BC*: внешний вид (слева) и его размеры (справа)

Спектр излучения светодиода:

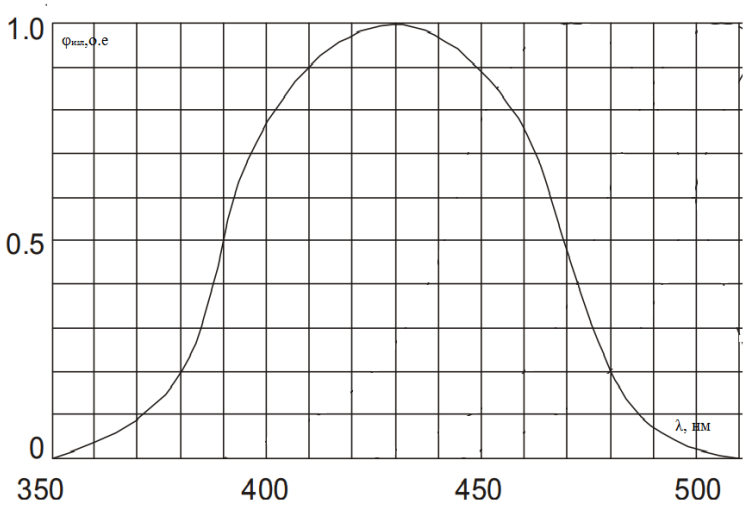


Рисунок 3 – Спектр излучения *BL-L324BC*

Таблица 2 – Основные параметры светодиода *BL-L*324*BC*

Параметры	Значение
Пиковое значение длины волны, нм	430
Длина волны, нм	464-470
Угол обзора	13°
Максимальный прямой ток, мА	100
Прямое напряжение, В	3,8-4,5
Номинальный ток, мА	20
Рассеяние мощности, мВт	120
Сила света, кд	0,7-1,8

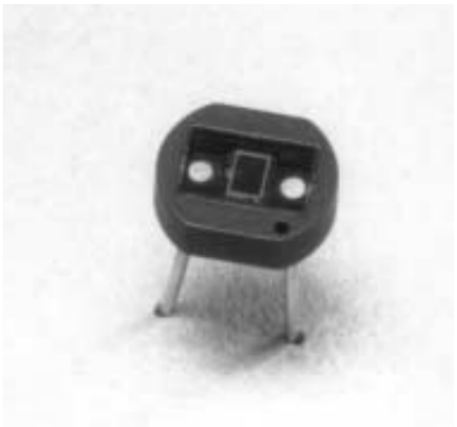
Критерием выбора ПИ является максимальное соответствие спектру люминесценции размолов гречневой крупы. Расчеты проведем также по формуле(1).

В качестве $S_0(\lambda)$ примем типовую кривую люминесценции гречневой крупы, а в качестве приёмников излучения выберем фотодиоды: *AD*500-12-*TO*52*S*1.1, *BPW*21*R*, *BPW*34, *VTB*9412*BH*, технические характеристики которых представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики фотодиодов

Характеристики и параметры	Тип фотоприемника			
	*AD*500-12-*TO*52*S*1.1	*BPW*21*R*	*BPW*34	*VTB*9412*BH*
Материал чувствительного слоя	*Si*	*Si*	*Si*	*Si*
Область чувствительности, мкм	от 0,55 до 0,75	от 420 до $675 \cdot 10^3$	от 0,43 до 1,1	0,32- 0,72
Длина волны наибольшей чувствительности λ_{max}, нм	660	565	900	580
Темновой ток, нА	0,3	2	6	0,8
Напряжение питания, В	–	10	60	-
Диаметр чувствительного слоя, мм	19,6	8,13	5,4	5,16
Чувствительность, мкА/лк (мкА/лм)	50	9	0,47	0,28

В результате расчета получены следующие значения: для фотодиода *AD*500-12-*TO*52*S*1.1 $\eta_{э,изл}$ = 53,5%; для фотодиода *BPW*21*R* $\eta_{э,изл}$ = 42,6%; для фотодиода *BPW*34 = 64,5%; для фотодиода *VTB*9412*BH* = 90,7%. Таким образом можно сделать вывод, фотодиод *VTB*9412*BH* является наиболее подходящим для использования его в качестве приемника излучения для разрабатываемого прибора.



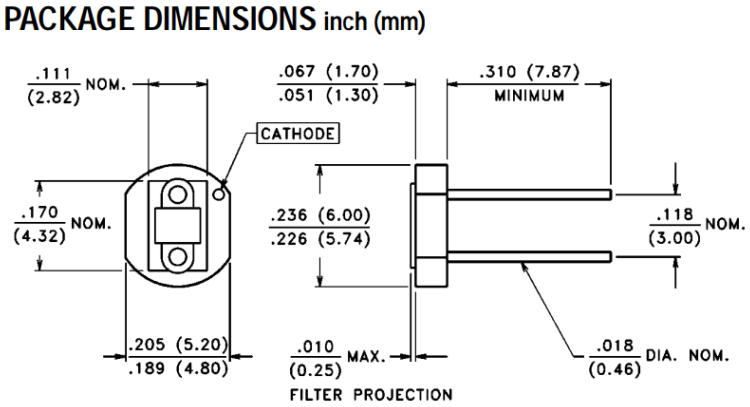


Рисунок 4 – Фотодиод *VTB*9412*BH*: внешний вид (слева) и его размеры (справа)

Спектр чувствительности фотодиода показан на рисунке 5.

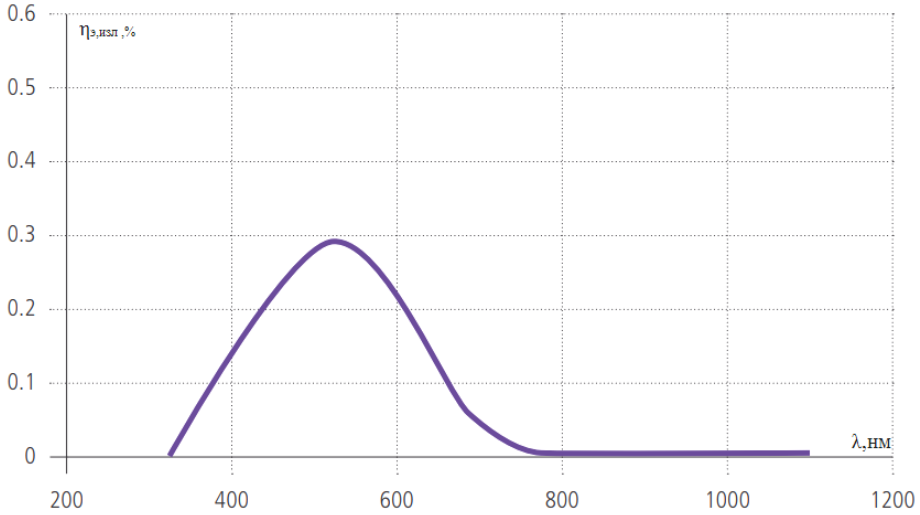


Рисунок 5 – Спектр чувствительности фотодиода *VTB*9412*BH*

Таким образом, в ходе работы были измерены спектры возбуждения и люминесценции для размола гречневой крупы. Был произведен и обоснован выбор источника[3] и приемника[4] излучения для установки качества гречневой крупы. Были рассчитаны эффективный КПД излучения для источника и приемника излучения.

Литература

1. Беляков М. В. Методика исследования люминесцентных свойств семян растений на спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама» // Научная жизнь. – 2016. – № 3. – С. 18–26.
2. Самарин М.Д. Люминесцентные характеристики гречневой крупы и ее размолов / М.Д. Самарин, науч.рук. М.В. Беляков, М.Г. Куликова // Актуальные проблемы формирования здорового образа жизни студенческой молодежи: Тезисы X международной межвузовской научно-практической конференции студентов. – 2018. – С.226-230.
3. Светодиод *BL-L*324*BC* [Электронный ресурс]. URL: https://static.chipdip.ru/lib/247/DOC000247614.pdf (13.03.19).
4. Фотодиод *VTB*9412*BH* [Электронный ресурс]. URL: https://www.ariat.hk/datasheet/4c/HMC347A.pdf (13.03.19).

рук. С.А. Скачков, д.т.н., профессор; А.В. Клюев, к.т.н., доцент; Д.Н. Иванов, к.т.н., доцент; А.А. Ковалев, адъюнкт; А.В. Навродский, курсант
(ВА ВПВО ВС РФ в г. Смоленске)

ОПТИМИЗАЦИИ СООТНОШЕНИЯ ПОЛУЧЕННОЙ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И РАСХОДА РЕСУРСА ПРИ КОНТРОЛЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

При контроле функционирования (КФ), техническом обслуживании и ремонте изделий в классической теории надежности обычно не учитывается расход ресурса на проведение вышеназванных мероприятий.

Однако существует широкий ряд систем, в которых это снижение ресурса существенно. Наиболее ярким примером является контроль состояния, например, ЗУР. Такого рода изделия применяются по назначению десятки секунд, иногда минуты (время полета), но они находятся на хранении десятки лет, и при этом подвергаются проверке: или ежегодно, или через несколько лет. При этом каждый раз во время проверки задействуется бортовая аппаратура в течение десятков минут или даже часов. Для таких изделий считать расход ресурса во время проверок пренебрежимо малым нельзя. Также вполне очевидно, что такие проверки проводить необходимо, чтобы своевременно выявлять неисправные изделия в партии с целью их своевременной замены.

В таких условиях возникает задача определения оптимальной периодичности проверки или определения доли проверяемых изделий в партии при заданной периодичности. В качестве показателя эффективности проверок целесообразно выбрать коэффициент готовности, численно равный

$$К_Г = \frac{n}{N}, \qquad (1)$$

где n – количество исправных изделий в партии,
N – общее количество изделий в партии.

Проверка считается эффективной, если коэффициент готовности $К_г$ до проверки ниже, чем коэффициент готовности после проверки.

Решим задачу, для случая, когда периодичность проведения проверок не меняется, а требуется определить долю проверяемых изделий из партии, обеспечивающих повышение коэффициента готовности.

Пусть партия ЗУР в количестве N изделий рассчитана на срок хранения А лет.С заданной периодичностью $Т_{пер}$ эта партия изделий проверяется по параметру П или совокупности параметров. Обычно таких параметров может быть много (до 100 и более). Для значения параметра П существует порог (допуск) $П_{пор}$. В ходе КФ, проверяется условие нахождения значений параметра П в пределах допуска. В случае выхода параметра П за пределы допуска $П_{пор}$ изделие бракуется и заменяется исправным. Однако, при проведении КФ расходуется ресурс. В рассматриваемых условиях параметр П «подсаживается» (изменяется) на величину ΔП, для каждой ЗУР подвергшейся проверке. Необходимо опре-

делить долю проверяемых изделий в партии при каждом КФ, чтобы обеспечить максимально возможное значение $К_Г$ после проверки.

При проверке каждого изделия возможны три ситуации (рис.1).

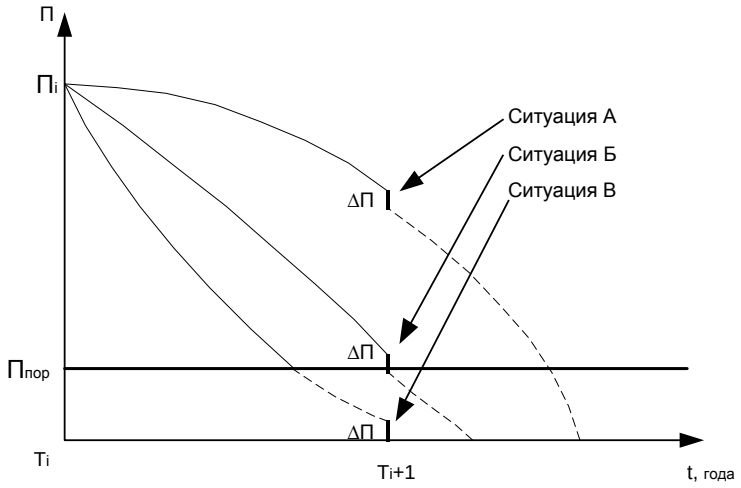


Рис. 1. Изменение контролируемого параметра П в ходе КФ

Ситуация А.Если контролируемое изделие имеет запас по параметру П больше ΔП, то *изделие после проверки остается исправным*. Параметр после проверки П* уменьшается на ΔП, т.е.

$$П^* = П - \Delta П \geq П_{пор}.$$

Ситуация Б.Если контролируемое изделие имеет запас по параметру П меньше ΔП,то после проверки параметр П изменяется на величину ΔП, *изделие переходит в неисправное состояние* и бракуется. При этом

$$П^* = П - \Delta П < П_{пор}.$$

В последующем изделие заменяется исправным.

Ситуация В.Если во время контроля изделия величина контролируемого параметра П меньше порогового значения $П_{пор}$, то проводимые мероприятия *обнаруживают неисправное изделие*. В дальнейшем такое изделие заменяется исправным.

Таким образом, в рассмотренных ситуациях *полезность* контроля функционирования реализуется в ситуации В (контролируемое изделие находится в неисправном состоянии, эта неисправность обнаруживается, вреда изделию при КФ не наносится). *Негативные последствия* КФ проявляются в ситуациях А и Б. В ситуации А уменьшается величина запаса ресурса по параметру П на величину ΔП (величина параметра «подсаживается»). В ситуации Б контролируемое изделие воздействием операций КФ из исправного состояния переводится в неисправное со всеми вытекающими последствиями.

Учитывая, что величина параметра П зависит от многих факторов (длительность хранения, изменение температуры окружающей среды при хранении,

изменение влажности, различие условий производства завода изготовителя и др.),то с высокой степенью вероятности считается, что величина параметра П для партии изделий распределена по нормальному закону распределения [1]. Математическое ожидание (М) и дисперсию (σ^2) которого, можно определить (спрогнозировать) на основе опыта предыдущих проверок. График плотности распределения параметра П в партии изделий представлен на рис. 2.

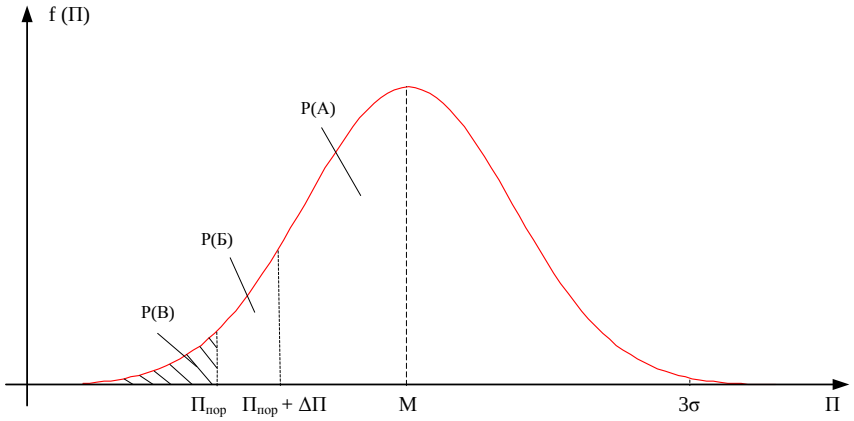


Рис. 2. Плотность распределения параметра П до и после проверки

При КФ, изделия для проверки выбираются случайным образом и проверяются последовательно. Вероятности того,что выбранная для проверки ракета попадет в рассмотренные выше ситуации обозначим Р(А), Р(Б) и Р(В) соответственно. Численно их значение будет равно площади под кривой плотности распределения для нормального закона (рис.2).Используя известные выражения для функции Лапласа Ф(х) [2] можно определить:

$$P(А) = P(П_{пор}+\Delta П<П<+\infty) = \Phi(+\infty) - \Phi(\frac{(П_{пор}+\Delta П)-М}{\sigma}).$$

$$P(Б) = P(П_{пор}<П<П_{пор}+\Delta П) = \Phi(\frac{(П_{пор}+\Delta П)-М}{\sigma}) - \Phi(\frac{П_{пор}-М}{\sigma}).$$

$$P(В) = P(-\infty<П< П_{пор}) = \Phi(\frac{П_{пор}-М}{\sigma}) - \Phi(-\infty).$$

Используя выражение (1), не сложно показать, что **до проверки**прогнозируемый $К_Г$будет иметь значение:

$$К_Г = \frac{P(А)\cdot N+P(Б)\cdot N}{N} = P(А) + P(Б). \quad (2)$$

Пусть проверяется х изделий.

При проверке каждого изделиявеличина егопараметра П «подсаживается», будет и изменяться значение математического ожидания для партии ракет (М→М*), что приведет к смещению графика вдоль оси П (рис. 3).

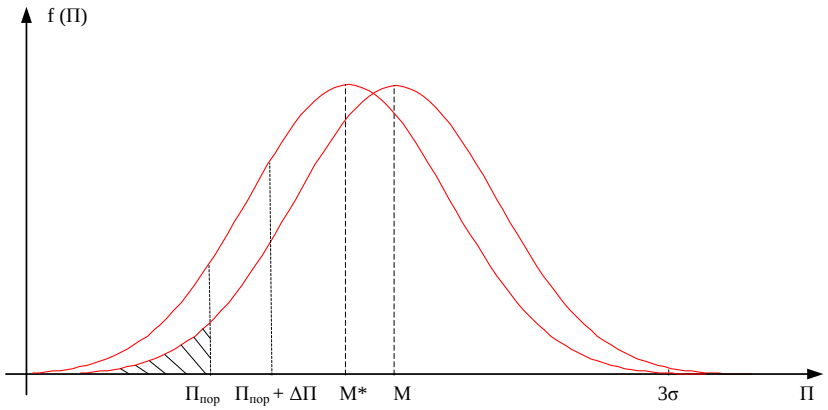


Рис.3. График функции нормального распределения параметра П с учетом смещения математического ожидания

Причем величина М* будет изменяться в зависимости от количества «подсаженных» (взятых для проверки) ракет, то есть М будет снижаться на $\Delta П\frac{x}{N}$.

$$М^*=М-\Delta П\frac{x}{N}.$$

Вероятности попадания ракет в ситуации А, Б и В после проведения проверки изменятся и примут следующие значения:

$$Р^*(А) = Р(П_{пор}+\Delta П<П< +\infty) = Ф(+\infty) - Ф(\frac{(П_{пор}+\Delta П)-М^*}{\sigma}).$$

$$Р^*(Б) = Р(П_{пор}<П<П_{пор}+\Delta П) = Ф(\frac{(П_{пор}+\Delta П)-М^*}{\sigma}) - Ф(\frac{П_{пор}-М^*}{\sigma}).$$

$$Р^*(В) = Р(-\infty<П< П_{пор}) = Ф(\frac{П_{пор}-М^*}{\sigma}) - Ф(-\infty).$$

Величина $К_Г^*$**после проверки** будет характеризоваться количеством взятых для проверки ракет (хракет из партии общей численностью N) из ситуаций А и Бсучетом смещения математического ожидания, то есть:

$$К_Г^*=\frac{x\cdot(Р^*(А)+Р^*(Б))}{N}. \quad (3)$$

Теперь стоит задача обеспечить значение коэффициента готовности после проверки не менее, чем до проверки, то есть: $К_Г^* \geq К_Г$. Подставляя выражения (2) и (3) в данное неравенство, можно определить долю ракет которые необходимо взять из партии, чтобы считать проверку «эффективной»

$$\frac{x}{N} \geq \frac{Р^*(А)+Р^*(Б)}{Р(А)+Р(Б)} = \frac{0,5-Ф\left(\frac{(П_{пор}+\Delta П)-М^*}{\sigma}\right)}{0,5-Ф\left(\frac{(П_{пор}+\Delta П)-М}{\sigma}\right)}.$$

Исходя из полученного выражения можно построить график зависимости коэффициента готовности $К_Г$ от количества проверок, при фиксированных значениях математического ожидания,дисперсии и постоянных величинах изменения параметра ΔП и величины порога $П_{пор}$ (рис. 4).

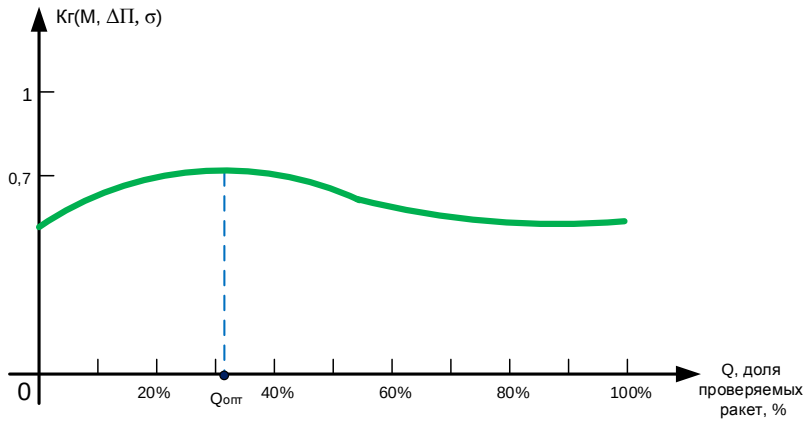


Рис.4. График зависимости Кг от доли проверяемых изделий

Таким образом, применяя предложенный подход, можно количественно оценить эффективность проведения КФ, а также выбрать долю проверяемых ракет из общей партии таким образом, чтобы коэффициент готовность партии ракет после проверки увеличился.

Литература

1. Скачков С.А. Методы, модели и средства повышения надежности ЗРВ войсковой ПВО в условиях отказов сбойного характера вычислительных систем. монография. Смоленск: ВА ВПВО ВС РФ,2008.
2.Вентцель Е.С. Теория вероятностей. учебное пособие для вузов. М.: Наука,1969.

А.А. Успенский, бакалавр; И.А. Лоскутов, бакалавр;
рук. А.В. Селихов, к.т.н. ст. преподаватель
(ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл)

СИСТЕМА КОСВЕННОГО АНАЛИЗА НЕРОВНОСТЕЙ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

Аварийность на автомобильном транспорте – одна из главных социально-экономических проблем. В связи с увеличением количества транспортных средств увеличивается нагрузка, которая оказывается на дорожное покрытие. Дополнительное воздействие оказывают такие погодные факторы, как осадки, ветер и солнечное тепло. Из-за наличия таких факторов дорожное покрытие склонно к быстрому изнашиванию и последующему разрушению, вследствие чего образуются выбоины и просадки (ямы), называемые дефектами дорожного покрытия. Данные дефекты приводят к повышению аварийно-опасных ситуаций на дорогах. Примерно треть всех дорожно-транспортных происшествий на территории РФ происходит из-за ненадлежащего качества дорог. Согласно Государственному докладу «О состоянии безопасности дорожного движения в

Российской Федерации» В 2002 году в России был отмечен самый большой за 1998-2002 годы рост количества ДТП, числа погибших и раненых в них людей. Всего за этот период численность погибших составила 315,1 тыс. человек, что эквивалентно населению среднего областного центра. Проблема дорожно-транспортного травматизма в России представляет угрозу безопасности граждан и государства. [1]

Более детальное рассмотрение содержания доклада показывает, что 26,6% (49078 случаев) всех дорожно-транспортных происшествий (ДТП) происходили из-за неудовлетворительного качества дорог. Согласно статистике за январь-декабрь 2017 года по Рязанской области количество ДТП из-за неудовлетворительных условий содержания и обустройства улично-дорожной сети составляет 729 случаев, среди которых 450 происходили Рязани. [2]

В рамках данной статьи предлагается ввести систему косвенного анализа качества дорожного покрытия. Данная система должна определять аварийно-опасные участки дороги и своевременно оповещать водителя об опасности, а также сообщать информацию о дефектах дорог в компетентные службы для их немедленного устранения. Размеры и другие параметры неровностей дорожного покрытия классифицированы в ГОСТ Р 50597-2017 «Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения». [3]

На данном этапе развития данной тематики установлено, что использование системы косвенного анализа неровностей дорожного покрытия помимо определения опасных участков поможет оценить ущерб, который будет причинен транспортному средству в результате его наезда на неровность дорожного покрытия. Такое использование системы позволит своевременно диагностировать повреждение и неисправность каких-либо узлов автомобиля до планового технического осмотра.

Структурная схема прибора представлена на рисунке 1, он представляет собой совокупность датчиков, вычислительного устройства и модулей связи и навигации

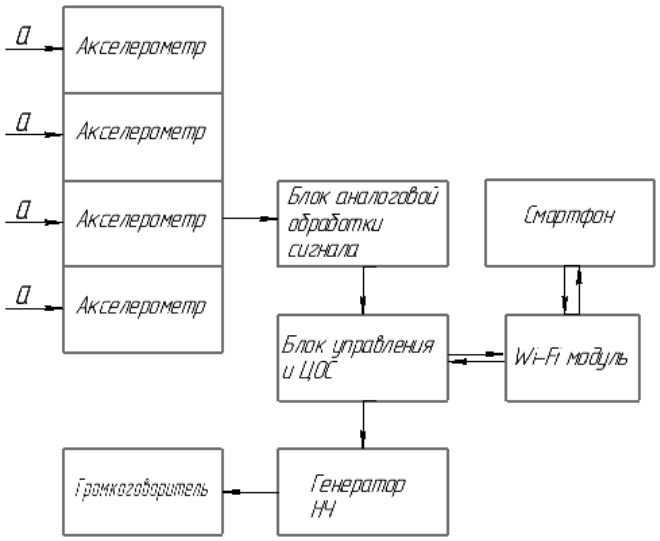


Рисунок 1 – Структурная схема

Акселерометры преобразовывают ускорение в пропорциональный ему электрический сигнал, поступающий на вход блока аналоговой обработки сигнала, выход которого связан с входом блока управления и цифровой обработки сигналов (ЦОС). Далее данные, по Wi-Fi каналу, поступают на смартфон, который систематизирует и обрабатывает данные, привязывает их к географическим координатам посредством геолокации по технологии GPS или ГЛОНАСС. Помимо этого, система обладает системой предупреждения водителя, посредством звуковой сигнализации и интерактивной карты, отображаемой на экране смартфона о наличии неровностей дорожного покрытия.

При обзоре возможных методов решения поставленной задачи были выявлены предложения, реализующие анализ данных датчиков мобильных устройств водителей. Предварительный анализ данного решения выявил недостаток, заключающийся в малой достоверности полученных результатов вследствие того, что подвеска частично или полностью поглощает все воздействие на транспортное средство со стороны дороги, что затрудняет анализ данных с устройства, расположенного в салоне автомобиля. Также установлено наличие явления, когда после прекращения колебаний подвески автомобиля, после наезда на препятствие, его кузовная часть (кузов) продолжает совершать колебания. Такие колебания могут происходить в нескольких направлениях. Схема колебаний изображена на рисунке 2.

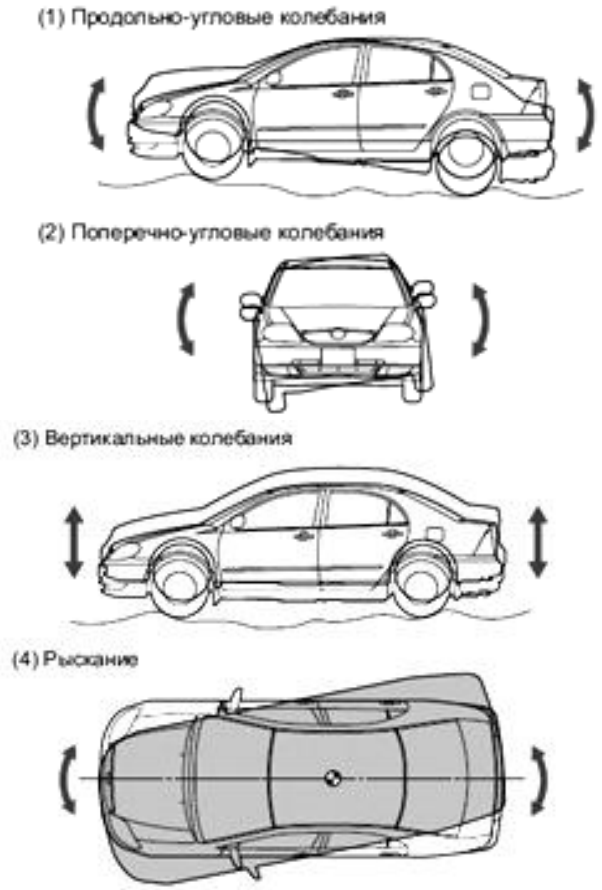


Рисунок 2 – Схема остаточных колебаний кузова автомобиля

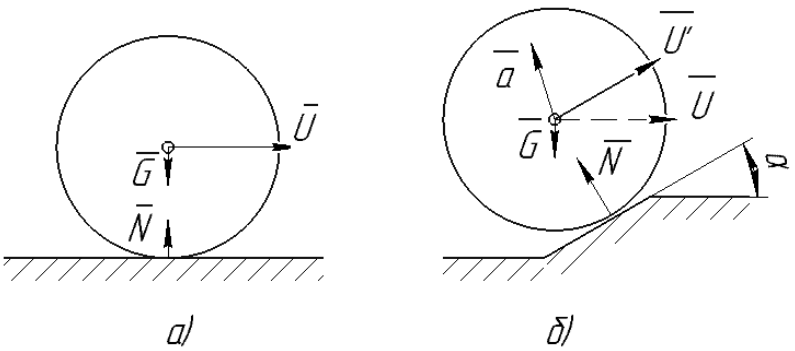
Частота и амплитуда колебаний зависят от приложенного воздействия со стороны дороги, геометрии и типа подвески, массы кузова и других факторов. Данное явление подтверждает невозможность измерения каких-либо параметров из салона автомобиля. Все измерения должны производится исключительно на неподрессоренной части автомобиля. Таким местом может являться ступица колеса. Так с помощью датчиков, расположенных на четырех или большем (для грузового транспорта и т.д.) числе ступиц возможно оценивать воздействие на каждую ступицу в отдельности.

В качестве датчика предлагается использовать акселерометр, с помощью которого будет оцениваться ускорение, сообщаемое подвеске транспортного средства при его наезде на неровность дорожного покрытия. Например, трехкомпонентный акселерометр *AP2082M-100* предназначен для измерения вибрационного и ударного ускорения в диагностических системах и при лабораторных исследованиях в условиях сильных электромагнитных полей.

Работа акселерометра основана на возникновении прямого пьезоэлектрического эффекта при перемещении инертной массы внутри него. Возникающий при этом заряд преобразуется в измеряемое напряжение. [4]

Математическое описание работы таких преобразователей сводится к определению их коэффициента преобразования по комплектной технической документации. Так коэффициент преобразования для данного акселерометра составляет 10 мВ/мс^2.

Во время движения на колесо действует множество сил (рисунок 3). Во время движения по ровной плоскости на колесо действует сила тяжести G, и сила реакции опоры *N*. Вовремя движения по ровной плоскости уравновешивают друг друга, так как в вертикальной плоскости колесо покоится. Во время наезда на выступ дорожного полотна, изменяется направление вектора скорости, данное изменение вызывается нарушением равновесия сил *N* и *G*. При этом ускорение зависит от скорости движения колеса и угла *α*. Аналогичные выводы можно сделать и для момента съезда колеса в яму. Однако ускорение не будет превышать ускорения свободного падения. Пример графика изменения ускорения при проезде участка дороги с неровностью (рисунок 3.б) изображен на рисунке 4.



а) б)

а) – ровная поверхность, б) – неровная поверхность (неровность)

Рисунок 3 – Схема движения колеса по поверхности с обозначением направления действия сил и ускорений

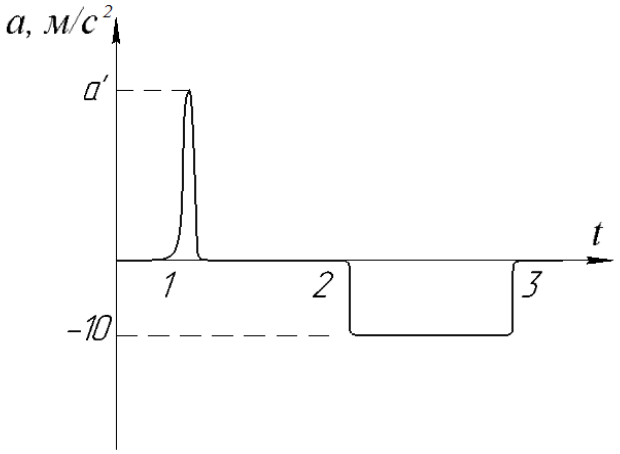


Рисунок 4 – График ускорения

Участку t=0…1 соответствует движение по горизонтальной поверхности, участку t=0…1 по наклонной плоскости, на участке 2…3 колесо продолжает движение в вертикальной плоскости, не касаясь при этом дороги. Стоит отметить, что эти данные получены путем математического моделирования, в ходе которого не были учтены такие моменты, как реальные профили неровностей дорожного полотна, влияния подвески автомобиля, наличие амортизирующих шин и т.д.

Износ подвески автомобиля зависит в том числе и от величины и продолжительности воздействия на нее сил со стороны колеса. Сила, воздействующая на подвеску, в свою очередь зависит от отношения подрессоренной и неподрессоренной масс автомобиля, и вертикальной проекции ускорения, действующего на неподрессоренную часть подвески. Из этого следует, что при наличии данных об износостойкости и параметрах подвески и данной системы можно косвенно отслеживать износ на протяжении периода между техническими осмотрами автомобиля.

Внедрение «системы косвенного анализа неровностей дорожного покрытия» позволит повысить безопасность дорожного движения и снизить риск критических поломок транспортных средств.

Список литературы

1 Государственный доклад «О состоянии безопасности дорожного движения в Российской Федерации» // АО «Кодекс». – Электрон. дан. – Режим доступа http://docs.cntd.ru/document/901873810 (дата обращения 13.03.2019).

2 ДТП и пострадавшие, показатель: совершению которых сопутствовали неудовлетворительные условия содержания и обустройства улично-дорожной сети январь-декабрь 2017 года // Правительство Рязанской области. – Электрон. дан. – Режим доступа https://www.ryazangov.ru/governmentro/obdd/2018/12.pdf (дата обращения 13.03.2019).

3 ГОСТ Р 50597-2017 «Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения», – Москва: Издательство стандартов, 2017.

4 Пьезоэлектрические виброизмерительные преобразователи (акселерометры) [Текст] : [Монография] / В. В. Янчич, – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2010. - 303 с. : ил.

Ф.С. Филиппов, Н.А. Янковский студ.; рук. Е.Л. Царегородцев, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКТА

На современном этапе развития производственных отношений одной из важнейших задач является создание системы менеджмента качества, позволяющей обеспечить производство конкурентоспособной продукции [1].

Понимание необходимости введения систем качества сегодня быстро растет в отечественной промышленности, и наблюдается активность их внедрения.

Имеющееся программное обеспечение и современные вычислительные средства позволяют с большим успехом решать такие задачи.

Совершенствовать качество можно с помощью статистических методов, однако сам по себе статистический материал, без обработки и анализа, не позволяет решить возникшую проблему. Вопросами сбора, обработки и анализа результатов занимается математическая статистика, которая включает различные методы, подходы, принципы.

Прогнозирование с помощью трендов – это один из методов статистического прогнозирования.

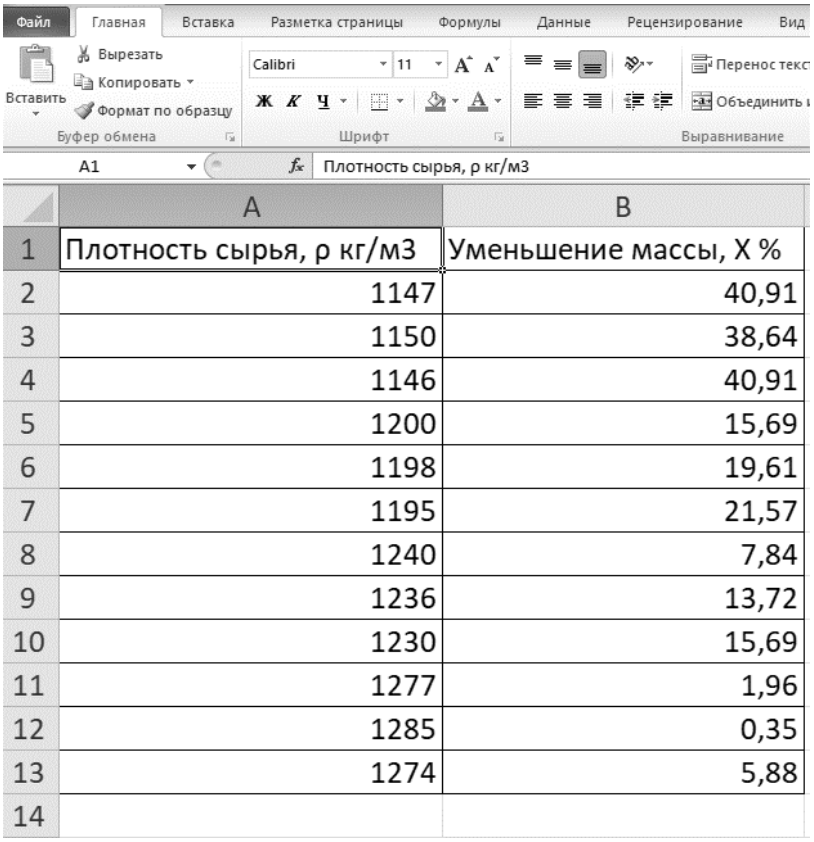
Управление качеством является новым шагом в развитии предприятий. Один из базовых принципов управления качеством состоит в принятии решений на основе фактов. Наиболее полно это достигается методом моделирования процессов, как производственных, так и управленческих, инструментами математической статистики. Однако современные статистические методы довольно сложны для восприятия и широкого практического использования без углубленной математической подготовки всех участников процесса.

Наряду с указанными выше инструментами качества, развиваются как статические инструменты качества методы прогнозирования, в том числе методы, основанные на анализе трендов. Задача трендового прогнозирования как развития инструментов качества – предсказание будущих значений временного ряда на основании прошлых наблюдений.

Решение указанных задач начинается с выбора критерия качества (целевой функции), которая является управляемой и зависящей от имеющихся параметров.

Рассмотрим часть виртуального технологического процесса по производству каких-либо продуктов с возможностью изменять их плотность, показателем качества которого является процент уменьшения массы.

Пусть имеются статистические данные зависимости плотности от уменьшения массы, которые были занесены в таблицу (рисунок 1) программы Excel [2].



	A	B
1	Плотность сырья, ρ кг/м3	Уменьшение массы, X %
2	1147	40,91
3	1150	38,64
4	1146	40,91
5	1200	15,69
6	1198	19,61
7	1195	21,57
8	1240	7,84
9	1236	13,72
10	1230	15,69
11	1277	1,96
12	1285	0,35
13	1274	5,88
14		

Рисунок 1– Исходные данные

В Excel для решения задач прогнозирования используются метод «Построения линии тренда».

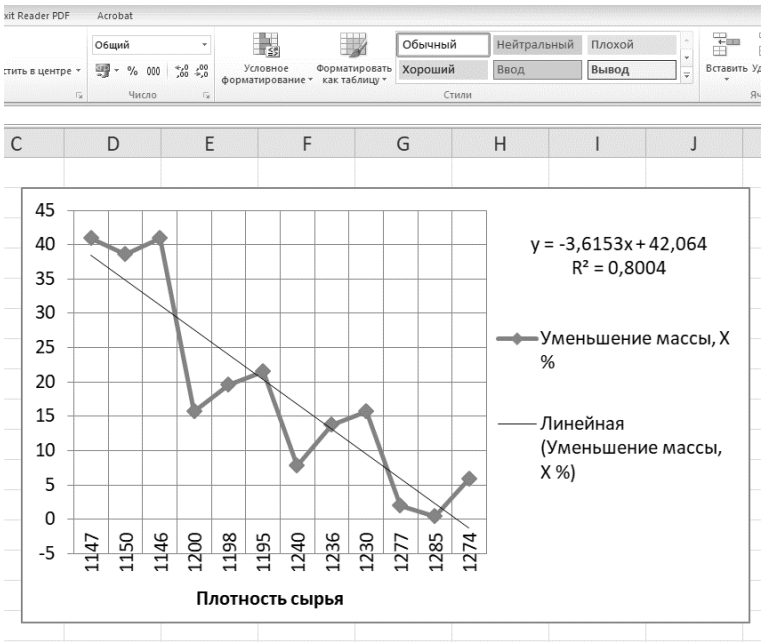


Рисунок 1–Точечная диаграмма

В соответствии с таблицей на рисунке 1, была построена точечная диаграмма, изображенная на рисунке 2. На это диаграмме была построена линия

тренда, которая позволяет спрогнозировать изменение массы в зависимости от изменения плотности.

Трендовое прогнозирование и контроль систем качества производственных процессов позволяют создать методологическую основу научного сопровождения и обеспечения в реализации мероприятий, которые выводят систему на уровень соответствия требуемым нормативам. Однако использование метода трендов связано с предварительным изучением особенностей технологического процесса, анализа и выявления возможных условий появления отклонений с последующим сбором и обработкой информации, и учетом ее достоверности. Практика использования методов трендового прогнозирования позволяет заключить, что наибольшая эффективность методов проявляется на производствах с достаточно большим объемом выпуска продукции.

Таким образом, на основании анализа линии тренда и коэффициента достоверности прогноза, который равен 0,8004, можно сделать вывод о том, что при увеличении плотности исходного сырья мы можем снизить процент уменьшения массы готового продукта, тем самым повысив его качество.

Литература

1. Федюкин В.К., Дурнев В.Д., Лебедев В.Г. Методы оценки и управления качеством промышленной продукции. М.: Филинъ; Рилант, 2001. 328 с

2. Решение задач оптимизации в Microsoft Excel 2010 : учеб. Пособие / Н. И. Шадрина, Н. Д. Берман; [науч. ред. Э. М. Вихтенко]. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016 – 101 с.

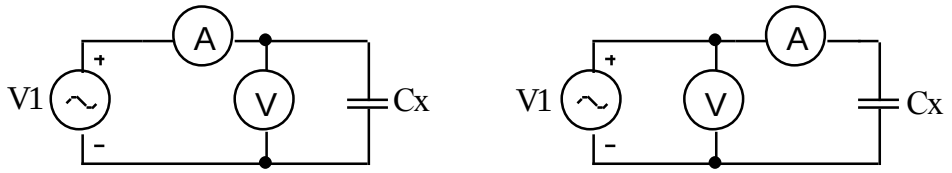
А.О. Фомченков, О.И. Петрусев, студ.; рук. С.А. Амелин, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАЗИТНОЙ ЁМКОСТИ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

При изготовлении и ремонте устройств электроники существует вероятность наткнуться на поддельные комплектующие. Особенно остро эта проблема стоит у небольших ремонтных мастерских, осуществляющих разовые закупки в небольших объемах. Использование таких комплектующих может вывести из строя электронное устройство (в первую очередь это касается поддельных мощных транзисторов).

Иногда подделку можно определить по несоответствующей маркировке, нанесённой на корпус транзистора. Но чаще всего требуются специальная аппаратура входного контроля. Например, максимальный допустимый ток транзистора зависит от площади кристалла. А площадь кристалла у МДП-транзисторов прямо пропорциональна входной емкости (одному из параметров транзистора). Таким образом, измеряя входную емкость транзистора можно определить подделку. В статье рассмотрены основные способы измерения емкостей и проведен их анализ с целью выявления наиболее подходящего для измерения емкостей силового МДП-транзистора.

Типовые значения паразитных емкостей мощных МДП-транзисторов лежат в диапазоне от десятков пФ (емкость затвор-сток $C_{зс}$) до единиц нФ (ёмкость затвор-исток $C_{зи}$). Поэтому целесообразно рассматривать методы, Самым простым методом измерения ёмкостей является метод вольтметра-амперметра (рис. 1). Он используется для измерения ёмкостей конденсаторов в диапазоне значений от 10 *нФ* до единиц *Ф* [1].



(а) (б)

Рисунок 1 – Схемы для измерения ёмкости конденсатора методом вольтметра-амперметра: а – для измерения ёмкости малого номинала, б – для измерения ёмкости большого номинала

Для проведения измерения ёмкости малого номинала используется схема рис. 1 1 (а), а для конденсаторов ёмкости большого номинала – схема рис. 1 (б) [2]. Обычно применяется генератор синусоидальных колебаний V1 с частотой от 50 *Гц* до 1 *кГц*, поэтому можно пренебречь активными потерями в конденсаторах, а также влиянием реактивных параметров измерительных приборов и паразитными связями [3]. Если пренебречь влиянием сопротивления утечки конденсатора, то сила тока в цепи конденсатора описывается формулой:

$$I = \frac{U}{R_c} = U \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_x, \quad (1)$$

где R_c – емкостное сопротивление измеряемого конденсатора,

C_x – емкость измеряемого конденсатора,

U – приложенное напряжение для заряда конденсатора,

I – сила тока,

f – частота синусоидальных колебаний.

Из (1) можно выразить измеряемую емкость:

$$C_x = I \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot U. \quad (2)$$

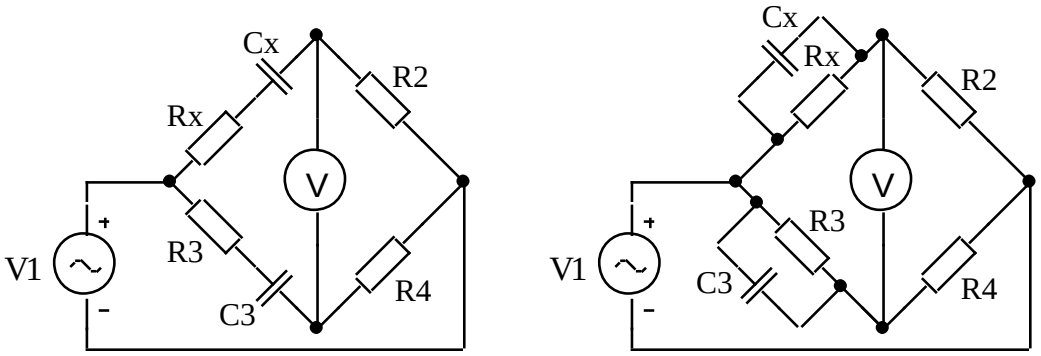
Следует отметить, что при измерении методом вольтметра-амперметра ёмкости меньше 10 *нФ* с использованием готовых средств измерений на результат измерения будет влиять паразитная емкость, а именно провода, соединения, контакт, что приведет к росту погрешности результатов.

Погрешность измерений параметров элементов цепей методом вольтметра-амперметра составляют $0{,}5 \div 10$ %. Погрешности измерения возрастают с увеличением частоты [2].

Для измерения ёмкости также используют мостовой метод измерения с последовательной и параллельной схемой замещения (рис. 2). Мостовой метод является методом сравнения с мерой, то есть с эталонными емкостями и со-

противлениями. Данный метод является точным и относительно медленным [4]. Мостовая схема измерения с последовательной схемой замещения предназначена для измерения емкостей малого номинала с малыми тангенсами угла диэлектрических потерь $tg\ \delta \leq 0{,}01$. Если требуется измерить емкость с большим тангенсом $tg\ \delta > 0{,}01$, то используют мостовой метод измерения с параллельной схемой замещения [5].

Питание мостовых схем обычно происходит переменным током с частотой от 1 *кГц* до 100 *кГц*.



(а) (б)

Рисунок 2 — Мостовые схемы для измерения параметров конденсаторов:
а – при последовательной схеме замещения, б – при параллельной схеме замещения

В случае если мосты с последовательной и параллельной схемой замещения уравновешены, выполняются следующие условия [4]:

$$R_x = \frac{R_3 \cdot R_2}{R_4},$$

$$C_x = \frac{C_3 \cdot R_4}{R_2},$$

где R_2, R_4 – компоненты в плечах мостовой схемы.

При последовательной схеме замещения тангенс угла потерь исследуемого конденсатора вычисляется по формуле [5]:

$$tg\delta = \omega \cdot C_3 \cdot R_3,$$

где ω – угловая частота, равная $2 \cdot \pi f$ *рад/с* при частоте $f = 1$ *кГц*.

Тангенс угла потерь при параллельной схеме замещения исследуемого конденсатора определяется по формуле [2]:

$$tg\delta = \frac{1}{\omega \cdot C_x \cdot R_x} = \frac{1}{\omega \cdot C_3 \cdot R_3},$$

где C_x – измеряемая емкость,

R_x – активное сопротивление измеряемого конденсатора по параллельной схеме замещения,

R_3 и C_3 – образцовые компоненты в плечах мостовой схемы.

Мостовой метод позволяет измерять емкость в пределах от единиц *пФ* до нескольких единиц *мкФ*. В разных литературных источниках отмечено, что погрешность полученных с его помощью результатов может находиться в пределах от 0,5 % до 10 % [3].

Современным методом измерения емкости является ее преобразование во временной или частотный сигнал. Преобразователи типа *capacitance-to-digital converters (CDC)* в состоянии обеспечить высокую точность измерения ёмкости, имеют удобный цифровой интерфейс и довольно малые размеры [6], также обладают сравнительно низкой ценой в сравнении с ценами готовых измерителей ёмкости. Преобразователь ёмкость-код реализован на основе сигма-дельта модулятора. В *CDC* осуществляются несколько различных методов измерения емкости.

«Прямой» метод [6] подразумевает заряд конденсатора от источника тока в течение определенного времени и последующее измерение напряжения между обкладками конденсатора.

Второй метод подразумевает использование измеряемой ёмкости в качестве времязадающей в *RC*-генераторе с сопутствующим измерением постоянной времени, частоты или периода. Этот метод прост, но обычно не обеспечивает высокой точности [6].

Наиболее распространенный метод измерения ёмкости конденсатора в *CDC*-устройствах [7] заключается в применении зарядового усилителя, который преобразует соотношение измеряемой и опорной емкостей в сигнал напряжения (рис. 3).

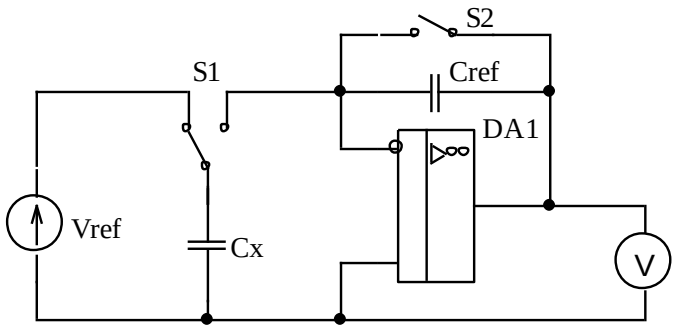


Рисунок 3 — Схема измерения ёмкости, основанного на применении зарядового усилителя

Выводы по итогам рассмотрения методов измерения емкости:

1. Метод вольтметра-амперметра.

Достоинство:

- простота реализации.

Недостатки:

- сравнительно невысокая точность результата измерения, которая ограничена классом точности применяемых измерительных приборов и методической погрешностью измерения;
- нижний диапазон измерения емкостей ограничен единицами-десятками нФ.

2. Мостовой метод измерения

Достоинства:

- высокая точность измерений;
- высокая чувствительность;
- широкий диапазон измеряемых значений параметров.
- возможность измерять емкости конденсаторов, находящихся под постоянным напряжением смещения (варикап, нелинейные емкости).

Недостаток:

- сложность реализации устройства, принцип работы которого основан на данном методе, в условиях микропроцессорной техники из-за наличия множества ключей для регулировки баланса моста с целью обеспечения требуемой точности в необходимом диапазоне измерения паразитных емкостей мощных полевых транзисторов.

3. Метод измерения ёмкости, основанный на применении зарядового усилителя

Достоинства

- высокая точность измерений;
- простота реализации;
- малые габариты

Недостаток:

- невозможно измерять емкости конденсаторов, находящихся под постоянным напряжением смещения (варикап, нелинейные емкости).

Таким образом, из рассмотренных выше методов лишь мостовой позволяет проводить измерения паразитных емкостей МОП-транзистора. Метод вольтметра-амперметра не подходит по диапазону измерений емкости, а метод, основанный на использовании зарядового усилителя не позволяет измерять емкости конденсаторов, находящихся под постоянным напряжением смещения (паразитные ёмкости конденсатора измеряются при постоянном напряжении смещения 25В [8]). Однако мостовой метод весьма сложен в технической реализации, поэтому представляет интерес рассмотрение вариантов метода, основанного на использовании заряда конденсатора от источника тока на малую величину (доли вольта) с последующим вычислением емкости при помощи средств микроконтроллера. Этот вариант будет рассмотрен при дальнейших исследованиях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 17-07-00148 А «Разработка оптимального алгоритма определения системы параметров полупроводниковых приборов на основе МОП-структур с целью формирования их математических SPICE-моделей».

Литература
1. Дивин А. Г. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учеб. пособие в 5 ч. — Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. — 104 с.
2. Кузнецов В. А., Долгов В. А., Коневских В. М. [и др.] Измерение в электронике: Справочник/ Под ред. В. А. Кузнецова — М: Энергоатомиздат, 1987. — 512 с.
3. Метрология и радиоизмерения [Электронный ресурс] URL: http://files.lib.sfukras.ru/ ebibl/umkd/ 1570/u_lab.pdf (Дата обращения: 16.02.2019).
4. Дьяченко Ю. Н. Конспект лекций по курсу «Аналоговые измерительные устройства». — СПб: Изд-во СПбПУ «Петра Великого», 2014. — 172 с.
5. ГОСТ Р 51317.4.7-2008. Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств
6. Преобразователи ёмкости в цифровой код на основе сигма-дельта модулятора [Электронный ресурс] URL: http://kite.ru/assets/files/pdf/2006_01_34.pdf (Дата обращения: 18.02.2019).
7. Ultra Low Power, 8-2 kB Flash, Capacitive Sensing MCU [Электронный ресурс] URL: http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/C8051F99x.pdf (Дата обращения: 18.02.2019).
8. ГОСТ 19095-73 Транзисторы полевые. Термины, определения и буквенные обозначения параметров

А.С. Худовец, студ.; Д.Г. Кондратьев, студ.; рук. В.Л. Жбанова, доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ОТРАЖАЮЩЕМУ ПОКРЫТИЮ КОЛОРИМЕТРА

Одной из основных проблем цифровой колориметрии остается проблема объективной оценки цветовых характеристик. В наши дни актуально создание объективных цифровых приборов оценки цвета.

Для решения этих проблем был разработан цифровой колориметр [1], моделирующий условия визуальной оценки цвета. Система ввода изображения построена на базе цифровой камеры и набора корректирующих светофильтров. В приборе реализована фотометрическая схема освещения/наблюдения *d*/0. Бокс колориметра выполнен в форме полусферы. Для диффузного отражения внутри бокса предусмотрено специальное покрытие. Изнутри бокс покрыт краской ВНИИМ [2, 3], состава приведенного в табл. 1.

Таблица 1 – Состав покрытия бокса

Серно-бариевая соль (химически чистая или для рентгенодиагностики)	1000 весовых частей
Ацетон чистый	1000 весовых частей
Ацетил-целлюлоза (растворимая в ацетоне)	26 весовых частей

При покраске бокса был использован нитроцеллюлозный клей, который растворялся в ацетоне. В раствор ацетил целлюлозы добавлялся порошок сульфата бария (серно-бариевая соль). Готовая краска с помощью пульверизатора наносится на внутреннюю поверхность бокса. Для равномерной окраски требуется положить, в соответствии с техническими требованиями, 5 слоев краски. Покрытие должно быть равномерное, без потеков, довольно устойчиво к механическим воздействиям.

С целью снижения инструментальной погрешности комплекса было проведено уточнение спектральной характеристики осветителя.Уточнение спектральной характеристики осветителя производилось путем измерения спектрального коэффициента отражения внутренней поверхности, покрытой составом, рекомендованным ВНИИМ, относительно образцовой пластинки с тем же составом. Результаты измерений приведены на рисунке.

Из рисунка видно, что спектральный коэффициент отражения осветителя отличается от образцовой в начале видимого диапазона спектра на длинах волн $\lambda = 380$ и $\lambda = 390$, а так же заметен спад характеристики в красной области видимого диапазона спектра.

При уточнении спектральной характеристики бокса учитывался коэффициент многократных отражений. Он рассчитывался по формуле [3]:

$$\gamma_A = \frac{1}{1-\rho(1-U_{Aa})},$$

где ρ – спектральный коэффициент отражения осветителя; U_{Aa} – доля потока отраженного поверхностью A на поверхность a.

Доля потока U_{Aa} определялась следующим образом:

$$U_{Aa} = \frac{a}{A}, \qquad (1)$$

где A – площадь полной отражающей поверхности осветителя; a – площадь отверстий в поверхности осветителя.

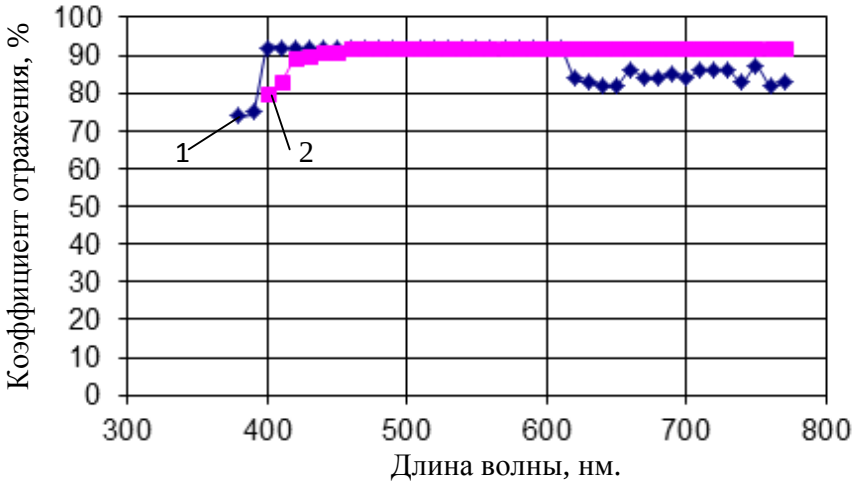


Рисунок – Спектральный коэффициент отражения покрытия бокса

Площадь отверстий определяется выражением

$$a = \pi r^2,$$

где r – диаметр выходного отверстия под объектив (примем равным 20 мм).

Площадь полной отражающей поверхности осветителя находится по формуле

$$A = A_{б.п.} + A_{осн},$$

где $A_{б.п.}$ – площадь боковой поверхности осветителя (принимаем как половина сферы); $A_{осн.}$ – площадь основания осветителя (окружность).

Указанные площади рассчитываются по следующим выражениям:

$$A_{б.п.} = \frac{4\pi R^2}{2} = 2\pi R^2,$$

$$A_{осн.} = \pi R^2,$$

где R – радиус кривизны бокса (примем равным 200 мм).

Подставляя численные данные, получим:

$$A = 2\pi R^2 + \pi R^2 = 3\pi R^2 = 3 \cdot 3{,}141 \cdot 200^2 = 3{,}77 \cdot 10^5 (\text{мм}^2)$$

$$a = \pi \cdot 20^2 = 1256{,}64 = 1{,}26 \cdot 10^3 (\text{мм}^2);$$

Подставляя значение площади в формулу (1), получим:

$$U_{Aa} = \frac{1{,}26 \cdot 10^3}{3{,}77 \cdot 10^5} = 0{,}33 \cdot 10^{-2}.$$

Отсюда для коэффициента многократных отражений бокса колориметра для длины волны λ = 380 нм, получаем:

$$\gamma_A = \frac{1}{1 - 0{,}74 \cdot (1 - 0{,}33 \cdot 10^{-2})} = 3{,}81.$$

Для других длин волн значение коэффициента многократных отражений приведено в табл. 2.

Таблица 2 – Спектральная зависимость коэффициента многократных отражений

λ, нм	γ_A	λ, нм	γ_A
380	3,81	580	12,04
390	3,96	590	12,04
400	12,04	600	12,04
410	12,04	610	12,04
420	12,04	620	6,14
430	12,04	630	5,79
440	12,04	640	5,47
450	12,04	650	5,47
460	12,04	660	7,00
470	12,04	670	6,14
480	12,04	680	6,14
490	12,04	690	6,54
500	12,04	700	6,14
510	12,04	710	7,00
520	12,04	720	7,00
530	12,04	730	7,00
540	12,04	740	5,79
550	12,04	750	7,53
560	12,04	760	5,47
570	12,04	770	5,79

В результате уточнения спектральной характеристики осветителя выяснено, что она отличается от образцовой в синей и красной части видимого диапазона спектра. В результате возникает погрешность, которую необходимо учитывать с помощью рассчитанного коэффициента многократных отражений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-37-00176.

Литература:

1. Жбанова В.Л., Парвулюсов Ю.Б. Принципы построения колориметра для оценки насыщенных цветов // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2017. №5. С. 122-126.
2. Кривошеев М.И., Кустарев А.К. Цветовые измерения. – М.: Энергоатомиздат, 1990. 240с.
3. Мешков В.В., Матвеев А.Б. Основы светотехники: в 2-х ч. Ч.2. Физиологическая оптика и колориметрия. – М.: Энергоатомиздат, 1989. 432с.

Е.А. Цыганкова, студ.; рук. М.В. Беляков к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ» МЭИ» в г. Смоленске)
П.М. Остапец, учащаяся; рук. Т.П. Титова, учитель
(МБОУ «Лицей № 1 им. Б.Н. Петрова»)

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕЗОВ ТКАНЕЙ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ ЧЕЛОВЕКА

Ключевые слова: люминесценция, спектр возбуждение, спектр излучения

Цель данной работы состоит в исследовании возможности применения фотолюминесцентных методов диагностики в медицине. Данная работа может лечь в основу медицинских и биологических исследований, так как по характеру люминесцентного излучения можно судить о норме и патологии многих тканей организма. Исследования проводились на аппаратно-программном комплексе «Флюорат-02-Панорама» по известной методике [1]. В качестве исследуемых объектов были предоставлены образцы срезов тканей яичников двух разных людей под номерами 4742/16 и 5182/16. Для проведения исследования люминесцентных характеристик данных срезов тканей были определены диапазоны измерений и длины волн возбуждения для каждого режима работы. Для этого было проведено синхронное сканирование в диапазоне 200-500 нм, определены максимумы и в экспериментальных диапазонах проведены пилотные измерения спектров. В результате были выбраны диапазоны для спектров возбуждения $\eta_э(\lambda)$ – 240-374 нм, для спектров люминесценции $\varphi_л(\lambda)$ – 300-500 нм. Кривые усреднили, результат представлен на рисунках 1, 2, 3.

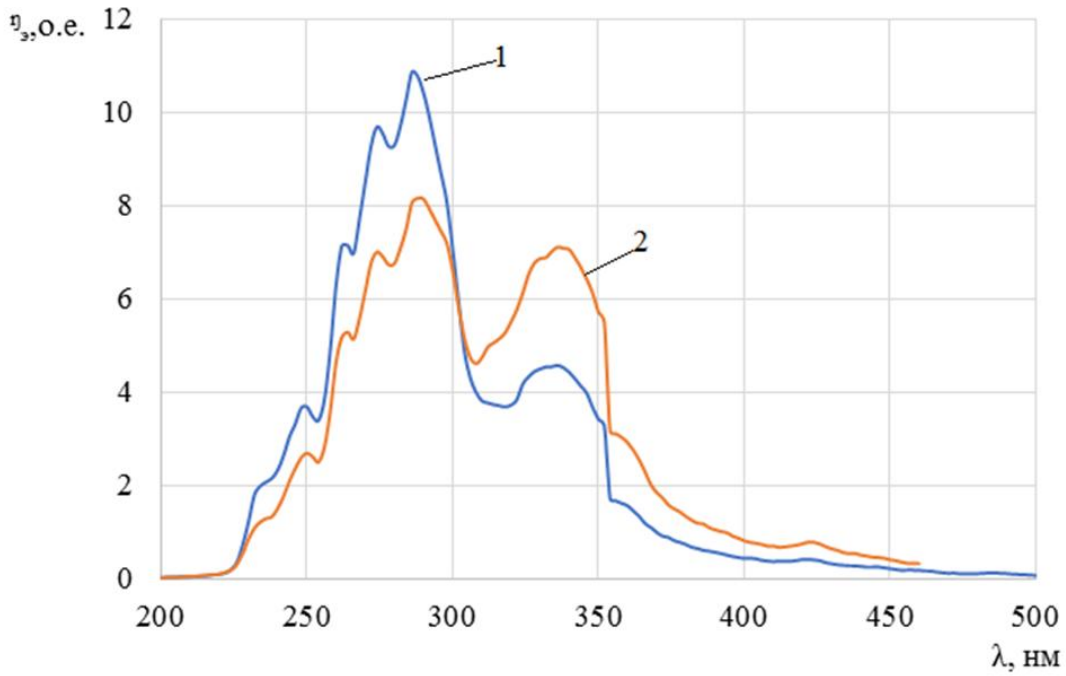


Рисунок 1. Спектры синхронного сканирования образцов:

1 – образец 4742/16; 2 – образец 5182/16

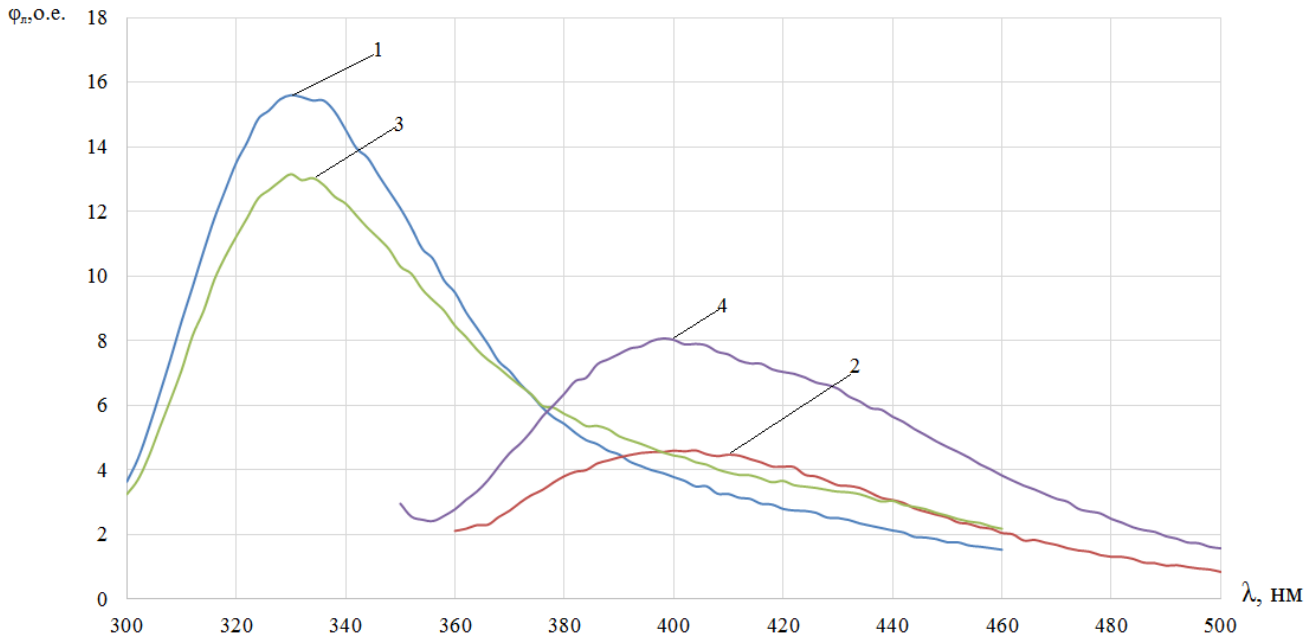


Рисунок 2. Спектры люминесценции образцов на максимумах:

1 – образец 4742/16, $\lambda_{возб}$ = 286 нм;

2 – образец 4742/16, $\lambda_{возб}$ = 274 нм;

3 – образец 5182/16, $\lambda_{возб}$ = 288 нм;

4 – образец 5182/16, $\lambda_{возб}$ = 336 нм.

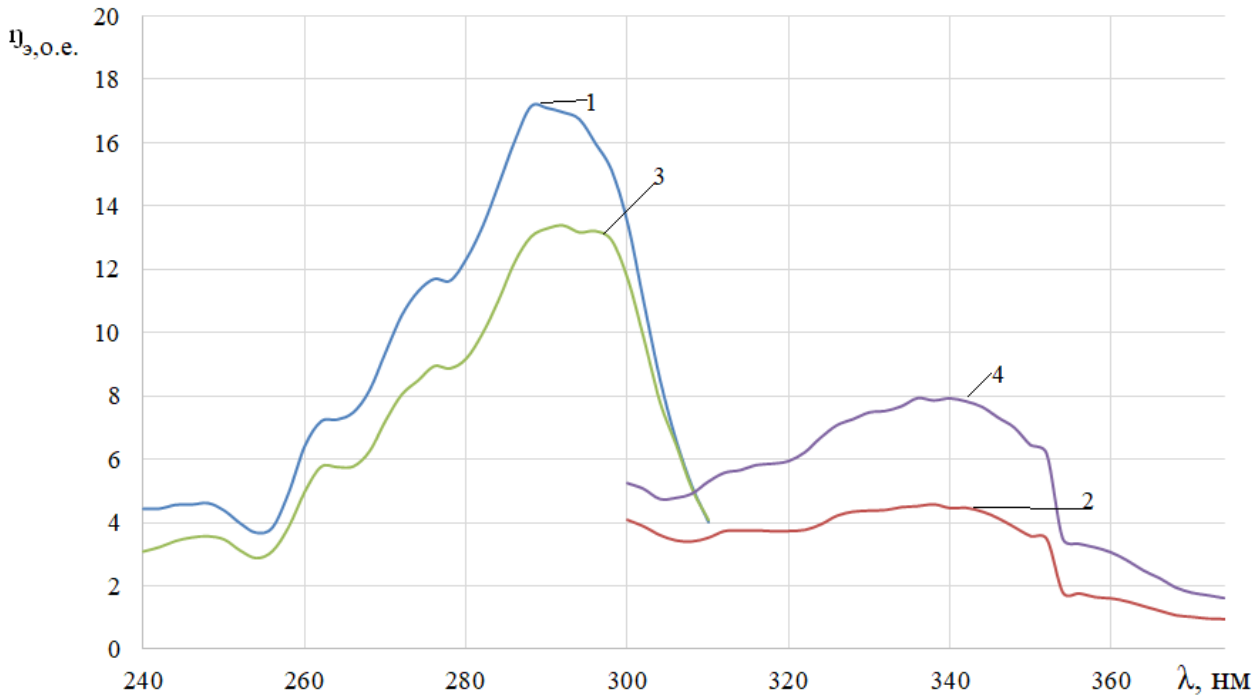


Рисунок 3. Спектры возбуждения образцов на максимумах:

1 – образец 4742/16, $\lambda_{люм}$ = 330 нм;

2 – образец 4742/16, $\lambda_{люм}$ = 404 нм;

3 – образец 5182/16, $\lambda_{люм}$ = 330 нм;

4 – образец 5182/16, $\lambda_{люм}$ = 398 нм.

Из рисунка 1 видно, что спектры синхронного сканирования не отличаются качественно, однако, можно заметить некоторую особенность: у образца №4247/16 существует заметная разница между коротковолновым и длинноволновым максимумами, примерно в 2 раза, в то время как у образца №5182/16 они приблизительно на одном уровне.

Судя по рисунку 2 можно отметить, что интегральное значение потока коротковолнового максимума ($\lambda_{возб}$ = 286 нм) образца 4742/16 в 1,05 раз больше, чем аналогичный параметр образца 5182/16; длинноволновый максимум ($\lambda_{возб}$ = 336 нм) образца 5182/16 в 1,8 раз больше данного параметра образца 4742/16.

Главные пики кривых люминесценции образца №4742 лежат в диапазоне 286-288 нм, а у №5182 - 338-340 нм. Многие ткани и клетки организма люминесцируют в диапазоне видимого света и близкого УФ- света (λ>320 нм) под действием ультрафиолетового излучения с λ=250-280 нм.

Интегральные значения потока коротковолнового максимума ($\lambda_{люм}$ = 330 нм) образца 4742/16 в 1,23 раза больше данного параметра образца 5182/16; в случае с длинноволновыми максимумами – у образца 4742/16 ($\lambda_{люм}$ = 404 нм) в 0,44 раза меньше, чем у 5182/16 ($\lambda_{люм}$ = 398 нм).

Так же можно заметить скачки на участке λ=352-354 нм, но они малосущественны, так как являются особенностью оборудования, на котором проводились исследования и не влияют на получение данных.

Полученные в ходе исследований результаты, а также их математическая обработка позволяются сделать вывод о том, что спектральные характеристики излучений отличаются друг от друга не столько качественно, сколько количественно. Вышеописанные данные могут быть использованы для выявление различных патологий тканей организма посредством определения наибольшей люминесценции.

Литература:

1. Беляков М. В. Методика исследования люминесцентных свойств семян растений на спектрофлуориметре «Флюорат02-Панорама» // Научная жизнь. – 2016. – № 3. – С. 18–26.

2. Кулыгин Д.А. Особенности люминесценции // Международный научный журнал «Символ науки» №12-1/2016. [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/v/osobennosti-lyuminestsentsii (13.03.2019)

СЕКЦИЯ 5
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ, УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИЯМИ

А.О. Блинов, студ.; рук. М.А. Новикова, асс.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МЯСНОГО СЫРЬЯ

В пищевой промышленности используется широкий ассортимент методов оценки показателей качества свежести мяса и мясопродуктов [1]. Общая классификация представлена тремя группами: регламентированные (органолептический, химический, иммунопреципитационный, микроскопический, гистологический, с использованием полиразмерной цепной реакции), аналитические методы (спектроскопия, реологический и газовый) и экспресс-методы (оптический и электрический).

На рисунке 1 представлена классификация оценки качества свежести мясопродуктов.

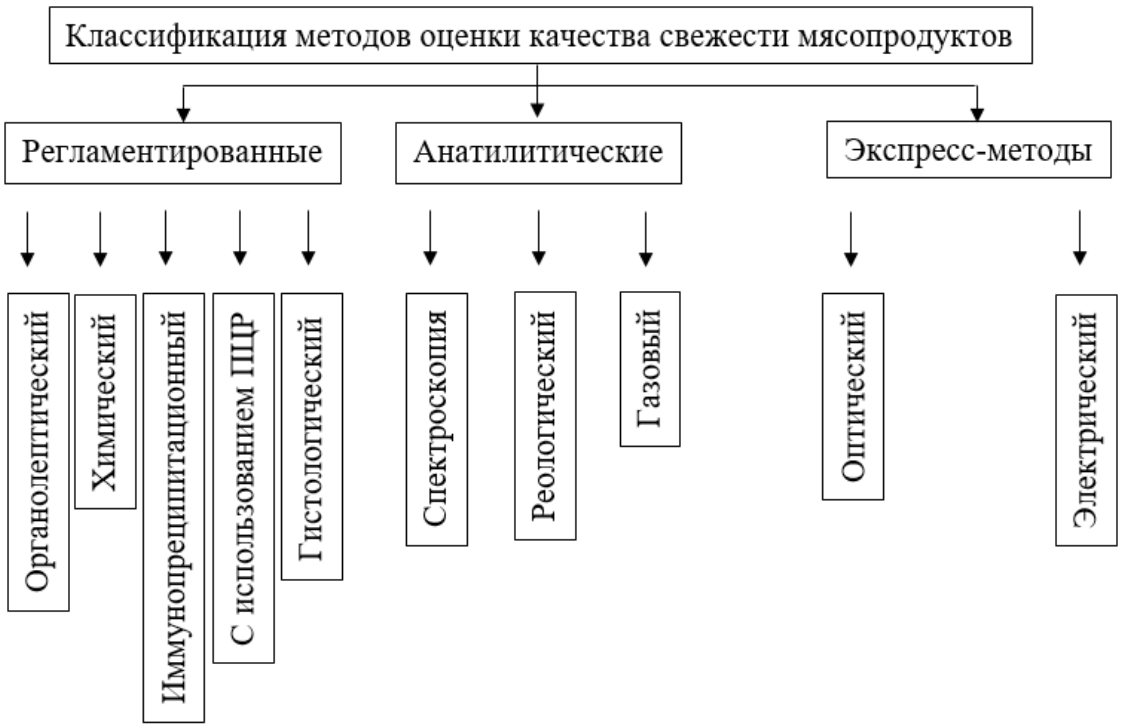


Рисунок 1 – Классификация методов оценки качества мясной продукции

Органолептическая оценка мясной продукции заключается в внешнем осмотре, определении цвета, запаха, прозрачности и аромата мясного бульона [2]. Является самым простым методом. Недостатком данного метода является субъективизм оценки мясной продукции.

Химические методы разнообразны. Они включают оценку летучих жирных кислот с использованием титрования, осаждение белков нагреванием. Наибольшее распространение получил метод оценки качества с использованием pH-метра. Недостатком химических методов является длительность процесса оценки.

Гистологический метод заключается в рассматривании испытуемых образцов под микроскопом и определении его качества путем сравнения микрокартины с эталоном. Степень свежести определяют по ряду параметров. Недостатком метода является его непрактичность в связи с необходимостью приобретения дополнительного оборудования и получения эталона, так как для его получения необходимо испытать образец надежным методом оценки качества.

Спектроскопия при оценке качества мясопродуктов применяется в различных областях электромагнитного спектра: ультрафиолетовое, инфракрасное, рентгеновское излучения, видимый свет, радио- и микроволновое излучения. Спектральный анализ дают достоверные результаты, однако требуют дорогостоящего оборудования.

Реологические методы основаны определении структурно-механических свойств сырья и его контроль на всех шагах производства [3]. Недостатком является сложность определения зависимости степень качества мясной продукции от физической величины, относительно которой ведется отсчет.

К газовым методам относится система «электронный нос», предназначенная для определения запахов, температуры, влажности, а некоторые типы могут определять наличие аммиачных соединений.

Известные на сегодняшний день методы определения показателей качества и свежести мясной продукции достаточно сложны, требуют больших временных затрат, дорогостоящего оборудования и реактивов. Также для проведения таких экспериментов требуются специальные лаборатории и квалифицированный персонал. Именно поэтому на сегодняшний день наиболее ценными и перспективными методами являются экспресс-методы.

Определения качества и свежести мясопродукции с помощью биоимпедансометрии заключается в пропускании через ткани образца переменного электрического тока различной частоты. После этого определяется его полное сопротивление, импеданс, в зависимости от величины пропускаемого тока. Диапазон частот тока достаточно высок и учитывая, что структура мясной продукции претерпевает изменения в следствие хранения, то и электрические свойства так же претерпевают изменения.

Наиболее перспективным направлением являются экспресс методы вследствие их простоты и скорости проведения оценки. Наибольший интерес представляет биоимпедансометрия. Импедансометрический метод открывает широкие возможности для определения свежести мяса, правильности соблюдения условий хранения, соблюдения технологических режимов обработки мясного сырья, в частности, количества замораживаний, которые претерпевало мясное сырье. Данный метод представляет наибольший интерес на рынке и требует дальнейших исследований.

Литература

1. Романова О.Н., Новикова М.А., Куликова М.Г. Изучение возможности определения технологических характеристик мясного сырья. // Сборник трудов Международной дистанционной научно-практической конференции «Современные тенденции развития науки и производства». - Кемерово, 2014. – 103-104 с.
2. Определение свежести мяса: учебно-методическое пособие / М.П. Арамонова, Ю.М. Бухтеева, Т.А. Шалимова, В.А. Пчелкина, В.В. Насонова, О.А. Кузнецова. – М.: ВНИИМП, 2016 – 35 с.
3. Романова О.Н., Новикова М.А., Куликова М.Г. Изменение физико-химических свойств мышечной ткани животных под влиянием отрицательных температур // Сборник трудов XII международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Информационные технологии, энергетика и экономика» - Филиал «Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске, 2015. – 286-290 с.

И.Ю. Гольцев, студ., К.С. Маслова, студ.; рук. М.А. Новикова, асс.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, Смоленск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДИНАМИКУ ПРОЦЕССА БРОЖЕНИЯ

Брожение – это процесс, в котором органические вещества, в основном углеводы, разлагаются на более простые соединения под влиянием микроорганизмов или выделенных ими ферментов. Освобождающаяся при этом энергия расходуется микроорганизмами на их жизнедеятельность. Продукты брожения обычно используются для биосинтеза. Брожение бывает анаэробным (типичным) и аэробным (окислительным). К анаэробным процессам брожения относят, молочнокислое, спиртовое, пропионовокислое, маслянокислое и многие другие виды брожений. Спиртовое брожение вызывают многие виды дрожжей и некоторые виды плесневелых грибов, зимазный комплекс которых переводит моносахара в спирт и углекислый газ по схеме анаэробного дыхания:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2.$$

В результате брожения сахар расщепляется микроорганизмами и превращается в основной продукт – этиловый спирт, при этом выделяется углекислый газ и около 107 кДж/моль тепла.

В ходе процесса брожения образуется некоторое количество побочных продуктов. Основными из них являются уксусный альдегид, уксусная кислота, глицерин, и высшие спирты, например, бутиловый, изобутиловый, амиловый, изоамиловый и др, также называемые сивушными маслами.

На интенсивность процесса брожения влияют многие факторы, один из них – температура. В ходе процесса обычно устанавливается температура от 10 до 30°С. Оптимальная температура для гармоничного размножения дрожжей - ниже 30°С. Наилучшая температура для прохождения процесса брожения - 35°С. Если температура в процессе брожения повышается, спирт, который образовывается быстрее, сильнее влияет на жизнедеятельность дрожжей. Поэтому чем выше температура, тем раньше брожение начинается и интенсивнее протекает [1,2].

В данном исследовании была изучена зависимость интенсивности процесса брожения от температурных условий, в которых он протекает.

Цель работы – экспериментальное исследование процесса брожения и изучение влияния на ход процесса такого фактора, как температура внешней среды.

Для того, чтобы достичь цели, были поставлены следующие задачи:

1. Воспроизвести процесс брожения в условиях лаборатории.
2. Поместить два образца в разные температурные условия.
3. Периодически исследовать образцы изменение кислотности образцов методом титрования [3].
4. Контролировать содержание сухих веществ в сусле.
5. По завершении эксперимента сравнить динамику значений кислотности образцов и изменение количества сухих веществ образцов, помещенных в разные температурные условия.
6. Исходя из результатов, сделать выводы о влиянии температуры на процесс брожения.

Проводился эксперимент, в котором был исследован ход процесса брожения при разных температурных условиях. Для проведения эксперимента 4,500 кг яблок измельчили и поместили равные количества измельченных яблок в разные температурные условия, прежде измерив показатель преломления и количество сухих веществ. Один образец находился в сушильно-стерилизационном шкафу ШСС-80. Другой – в помещении лаборатории. Каждые три дня производилось измерение кислотности обоих образцов, результаты измерений представлены на рис. 1.

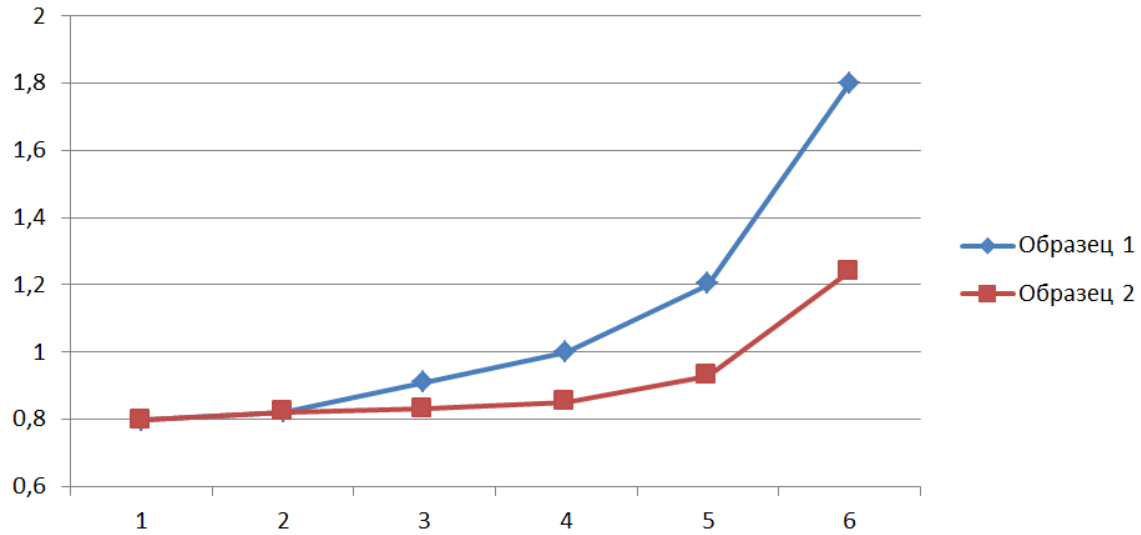


Рис. 1 – Изменение кислотности образцов

Изменение кислотности свидетельствует о более интенсивно протекающем процессе брожения в образце 1. Изменение температуры (ее повышение и по-

нижение в течение времени наблюдения) отрицательно сказалось на интенсивности процесса в образце 2.

Также была определена динамика изменения количества сухих веществ в образцах, результаты представлены на рис. 2.

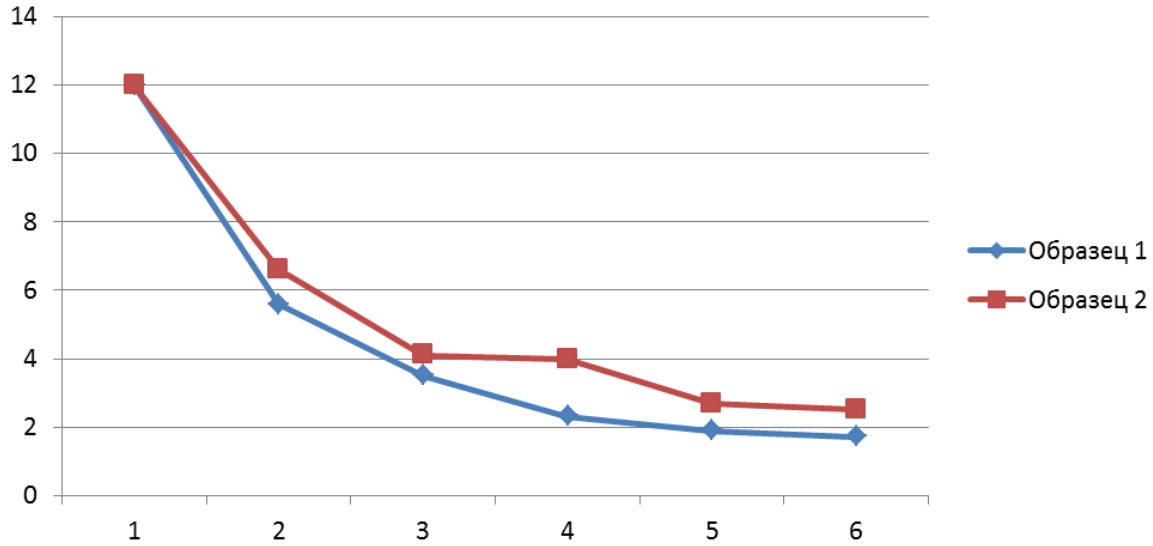


Рис.2 – Изменение количества сухих веществ

Перед началом эксперимента количество сухих веществ составляло 12%. При стабильной и повышенной температуре (образец 1) количество сухих веществ снижалось более равномерно. Для образца 2, находившегося в изменяющихся температурных условиях, количество сухих веществ уменьшалось скачкообразно, что свидетельствует о неравномерности протекания процесса. Снижение количества сухих веществ до значения 2,0 ±0,3% обозначает фактическое окончание процесса брожения.

Был воспроизведен процесс брожения в условиях лаборатории, образцы были помещены в разные температурные условия. Исследования изменения кислотности и количества сухих веществ в сусле позволили сделать выводы о влиянии температуры на процесс брожения. Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы: температура влияет на процесс брожения, ускоряя его. Стабильность температуры позволяет протекать процессу брожения более равномерно. Кислотность в процессе брожения увеличивается, количество сухих веществ возрастает. В продолжение исследования будет оценена возможность интенсификации исследуемого процесса.

Литература

1. Сидорова А.И. Инновационный подход к проектированию пищевых продуктов / А.И. Сидорова, М.Г. Куликова // Естественные и технические науки. – 2017. – № 5 (107). – С. 157-158.
2. Аксенова О.И. Обоснование технологических решений при производстве продуктов питания повышенной биологической ценности / О.И. Аксенова, М.Г. Куликова // Агропродовольственная экономика. – 2017. – № 6. – С. 40-48.
3. ГОСТ Р 51434-99. Соки фруктовые и овощные. Метод определения тируемой кислотности. Введ. 2001–01–01. – М.: Издательство стандартов, 2001. –4 с.

В.В. Ермачкова; рук. М.Г. Куликова, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ БИОКОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Полимерные композиционные материалы являются одним из важнейших и наиболее широко применяемых в производстве классом современных конструкционных материалов. Для поддержания постоянно растущей потребности ведущих отраслей промышленности в полимерных материалах, сочетающих в себе комплекс свойств, наличие неисчерпаемой сырьевой базы, возможности безотходного производства ставит проблему разработки и освоения такого материала в число наиболее актуальных и перспективных направлений.

Проанализировав рынок и проведя патентные исследования, становится видно, что во всех отраслях промышленности успехи в значительной степени достигнуты за счет развития и применения полимерных волокнистых композиционных материалов. Сочетание различных видов матриц и волокнистых наполнителей позволяет получить материалы с оптимальными показателями, предназначенными для изделий широкого спектра применения. Они маломатериалоемки; технологичны при переработке, по сравнению со многими традиционными материалами, в частности металлами и керамикой, и во многом превосходят их по удельным прочностным характеристикам, что особенно важно для применения их в транспортных средствах, летательных аппаратах, средствах спасения, спортивном инвентаре.

В настоящее время перед производителями биокомпозиционных материалов стоят следующие основные задачи: восстановление и увеличение объемов производства, снижение материалоемкости производства, организация эффективной переработки образующихся отходов, снижение токсичности клееной продукции, увеличение конкурентоспособности и повышение качества выпускаемой продукции, улучшение качества поверхности материалов.

Итогом аналитических исследований, технических разработок, проведенных экспериментов были созданы технологическая схема, машинно-аппаратурная схемы производства.

Технологическая схема производства биокомпозиционного материала (препрега) на основе льняных волокон, представленная на рисунке 1, включает в себя несколько этапов: подготовка компонентов, пропитка материала в специальных ванных, сушка, фасовка и упаковка. При обосновании технологической схемы учитывались особенности каждого этапа производственного процесса и необходимость сохранения качества исходных продуктов. Контроль качества на каждом технологическом этапе является важной и неотъемлемой частью производственного процесса.

Этап подготовки компонентов включает в себя операции сматывания ткани с бобин, выравнивание ее на ленте конвейера, подогрев связующего вещества в ванне для пропитки.

Непрерывная пропитка ткани осуществляется в 2-х пропиточных станциях, путем одностороннего нанесения смолы на первой пропиточной станции, называемой преимперегнатором, и разравнивания и двухсторонней пропитки на второй (основной) станции – импрегнаторе. Подача раствора для пропитки осуществляется в ванны из бака по сигналу датчиков уровня.

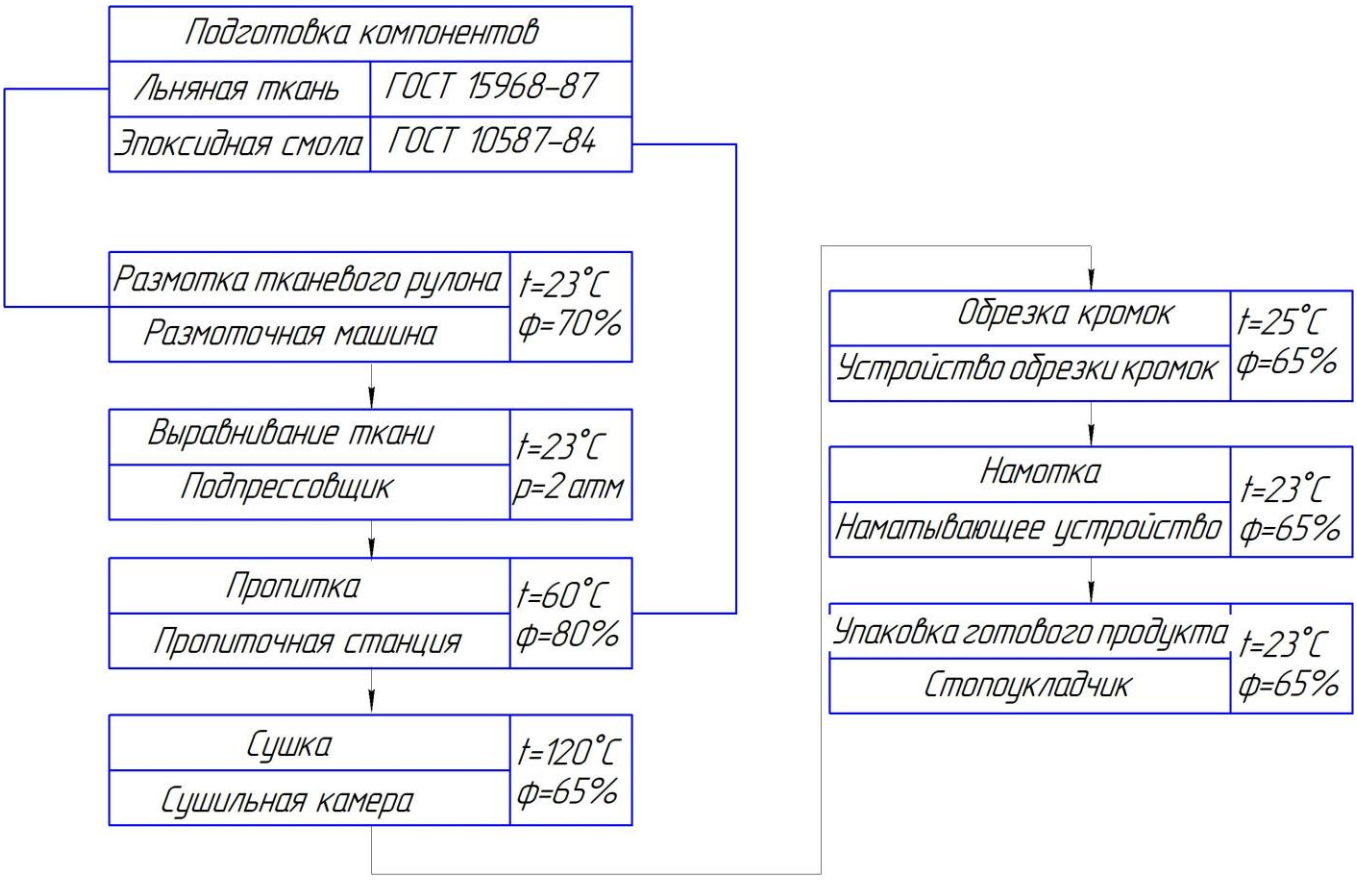


Рисунок 1 – Технологическая схема производства биокомпозиционного материала

Сушка пропитанной ткани. Процесс сушки пропитанной ткани осуществляется в сушильной системе. Данная система выполнена в виде вертикальной башни, состоящей из двух сушилок секционного типа: восходящей и нисходящей. Нагрев осуществляется с помощью термомасла или пара или инфракрасного электрического нагревателя. Температура поверхности варьируется от 150 до 260 ˚С, температура горячего воздуха внутри сушильных камер составляет 120 – 200 ˚С. Так же каждая сушильная секция имеет задвижки для регулирования потока газа. Для протяжки полотна сквозь всю систему имеется специальное цепное устройство с устройством контроля натяжения полотна.

Обрезка кромок. Обрезка кромок осуществляется на специальном устройстве обрезки кромок полотна, регулирующегося по ширине и снабженного системой удаления отходов и коллектором пыли.

Намотка препрега. Намотка в рулоны происходит на намоточном устройстве, снабженном счетчиком длины полотна и режущим инструментом с точностью обрезки до 1,0 мм.

Транспортирование препрега. Транспортирование рулонов с препрегом осуществляется на ленточном конвейере.

Хранение. Препрег хранят в чистых, умеренно сухих, хорошо проветриваемых складах при температуре не выше 18ºС без резких колебаний и относительной влажности воздуха 75-80%.

Препрег, полученный на специальных пропиточных установках, обладает высоким качеством пропитки наполнителя связующим, минимальными механическими повреждениями наполнителя, равномерным наносом связующего в наполнитель при оптимальном процентом содержании связующего. Отсутствие сколько-нибудь заметной липкости при нормальной температуре позволяет автоматизировать процесс нанесения препрега методами намотки, выкладки, делать технологически «чистыми» процессы ручной выкладки сложных изделий, проводить автоматизированный раскрой препрега на станках с ЧПУ.

Анализ показывает, что машино-аппаратный комплекс является достаточно простым и компактным, и может быть развернут при минимальных капитальных затратах в сельских районах Смоленской области.

Таким образом, рассмотренные научно-технические аспекты производства биокомпозиционного материала показывают возможность решения актуальной производственной задачи в рамках рационального природопользования.

Библиографический список.

1. Справочник по композиционным материалам. В 2-х т./ Под ред. Дж.Любина. - М.: Машиностроение, 1988. – 503 с.

2. Ермачкова В.В., Куликова М.Г., Сравнительная характеристика технологичности биокомпозитных материалов / ЭВОЛЮЦИЯ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ: сборник статей Международной научно - практической конференции (18 февраля 2017 г., г. Уфа). В 2 ч. 2. – Уфа: Омега сайнс, 2017. – 25-27 с.

3. Ермачкова В.В., рук. Хрисаненкова Т.М., Перспективы применения биокомпозиционных материалов для производства оборудования НПЗ. ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2018 (инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями, экономика и менеджмент, научные исследования в области физической культуры, спорта и общественных наук). Сб. трудов VIII -ой Межд. науч.-техн. конф. В 3 т. Т 3. – Смоленск «Универсум», 2018. – 283 с. – 12 – 15 с.

4. Новикова М.А., Куликова М.Г., Перспективы использования композиционных материалов. В сборнике ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА, микроэлектроника и оптотехника, инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями: сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. 2016. С.289-292

А.Ю. Клюева, Л.Ю. Клюева, студ.; С.А. Образцов, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ МАЛЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

На упаковке всех пищевых продуктов и напитков в соответствии с действующими нормативными документами, как правило, размещается информация как о составе, так и о показателях энергетической ценности (калорийности) и о количестве белков, жиров и углеводов [1], при этом возможно использовать аналитические и расчетные методы. Поэтому одной из задач производителя пищевых продуктов является определение показателей пищевой ценности для всего ассортимента выпускаемой продукции. В данной работе представлена попытка автоматизации решения данной задачи с использованием табличного процессора Microsoft Excel на примере хлебобулочных изделий.

Основным показателем пищевой ценности пищевых продуктов является калорийность, которая равна количеству энергии в калориях, высвобождающейся при полном окислении входящих в состав продукта веществ, в расчете на 100 г.

Отдельно выделяют брутто- и нетто-калорийность. Брутто-калорийность может быть определена как количество теплоты, выделяющейся при полном окислении (сгорании) веществ, входящих входят в состав продукта. Нетто-калорийность соответствует калорийности усваиваемой части продукта и учитывает тот факт, что пищевые вещества в организме окисляются не полностью.

Кроме этого, при более детальном рассмотрении и сопоставлении процессов, протекающих при сгорании пищевых веществ в калориметре и при окислении продукта в организме, можно выделить физическую и физиологическую калорийность пищевых продуктов соответственно. Продукты сгорания углеводов и жиров в калориметре и продукты их окисления в организме практически идентичны, поэтому физическая и физиологическая калорийности углеводов и жиров одинаковы. Калорийность жиров составляет 9,3 ккал/г, углеводов — 4,1 ккал/г. Продуктами реакции горения белков являются вода, оксиды углерода и азота, тогда как в организме человека белки окисляются до мочевины, креатина, креатинина и других веществ, которые при дальнейшем окислении могут выделить еще дополнительную энергию, поэтому физиологическая калорийность белков (4,1 ккал/г) ниже физической калорийности (5,7 ккал/г).

Для определения показателей энергетической ценности наиболее часто используют три основных метода: физический, химический, табличный [2].

В основе физического метода определения калорийности является процесс сгорания навески продукта в калориметре с измерением выделившегося количества теплоты.

Сущность работы калориметра заключается в следующем. Центральным его элементов является калориметрическая бомба — толстостенный полый ци-

линдр с плотной крышкой, внутри которого происходит химическая реакция сгорания навески продукта в избытке кислорода. Калориметрическая бомба находится внутри калориметрического сосуда, заполненного водой — приемником выделяющегося при сгорании продукта тепла. Для лучшего выравнивания температуры воды внутри калориметрического сосуда вода постоянно перемешивается мешалкой. В результате сгорания продукта температура воды повышается, что фиксируется с помощью термометра или температурного датчика. Для того, чтобы снизить рассеяние тепла в окружающее пространство, калориметр имеет внешний защитный толстостенный сосуд.

Химический метод определения калорийности продукта заключается в определении химическими методами количества белков, жиров и углеводов на 100 г продукта и последующем расчете физической и физиологической калорийности с использованием известных значений калорийности каждого компонента. Химический метод требует проведения лабораторного анализа по полной, сокращенной или краткой схеме. По полной схеме в рационе определяют содержание белков (по Кьельдалю), жиров (по Сокслету) и углеводов (по Бертрану) раздельно.

Результаты лабораторного анализа по полной схеме содержат на только значение калорийности пищевых продуктов, но и их качественный состав. Вполне очевидно, что полный лабораторный анализ является очень трудоемким и потому проводится лишь в исключительных случаях.

Наиболее часто лабораторный анализ проводят по сокращенному варианту, в котором исключают прямое определение углеводов, как наиболее сложное. Кроме белков и жиров определяют также количество минеральных солей и сухих веществ, а количество углеводов рассчитывают по формуле

$$У = СО - (Б + Ж + МС),$$

где У — углеводы, СО — сухие вещества, Б — белки, Ж — жиры, МС — минеральные соли.

Количество минеральных веществ можно определить по массе золы, остающейся после полного сгорания пищевого продукта. Опытным путем установлено, что содержание минеральных солей в пищевых продуктах составляет примерно 1% от всей съедобной части (М) и может быть без существенных погрешностей рассчитано как $МС = 0{,}01М$.

Таким образом, калорийность съедобной части без учета усвояемости (брутто-калорийность) может быть определена по формуле

$$С_{бр} = 9{,}3Ж + 4{,}1Б + 4{,}1(СО - (Б + Ж + МС)).$$

Значительно реже химический состав пищевых продуктов исследуется по краткой схеме, в которой количественно определяют только сухой остаток и жир. Минеральные соли рассчитывают, как указано выше, а содержание белков и углеводов, вместе взятых и имеющих равную калорийность — по разнице между весом сухого остатка и суммой жира и минеральных солей

$$С_{бр} = 9{,}3Ж + 4{,}1(СО - (Ж + 0{,}01М)).$$

Для расчета нетто-калорийности как правило вычитают 10% от полученных аналитических значений для учета неусвояемых веществ.

Табличный метод определения пищевой ценности продуктов питания основан на имеющихся данных по химическому составу пищевых продуктов, содержащихся в специализированных справочниках [3]. Вполне очевидно, что представленные в таблицах показатели химического состава и калорийности являются достаточно усредненными, поскольку калорийность и состав пищевого продукта в значительной степени зависит от особенностей его происхождения.

Например, для продуктов растительного происхождения важную роль играет время сбора урожая, сорт, регион произрастания. Для продуктов животного происхождения — породы животных, птиц, рыбы, специфика местности и кормовой базы. Данные о составе и калорийности продуктов промышленного производства, представленные в таблице калорий и химического состава, также не всегда точны по следующей причине. Не всегда «хлеб украинский» изготавливают из смеси ржаной и пшеничной муки одинакового сорта и одинаковой пропорции, что влияет на содержание компонентов и калорийность. Кроме того, некоторые производители изменяют стандартные рецептуры с целью удешевления стоимости производства или применения имеющегося в данный момент сырья.

Таким образом, содержащиеся в справочниках данные о химическом составе и калорийности не всегда отражают действительность. Более того, сравнивая несколько таблиц энергетической ценности продуктов, легко увидеть, что калорийность одного и того же пищевого продукта отличается в разных источниках. Однако точность данного метода в большинстве случаев оказывается вполне приемлемой.

Рассмотрев некоторые методы по расчету калорийности, можно сказать, что наиболее простым является именно табличный метод, поскольку позволяет получить результат без проведения специальных исследований.

Для автоматизации определения пищевой ценности продуктов питания авторы считают наиболее целесообразным использовать табличный метод. Следует отметить, что в настоящее время существует ряд программ, которые позволяют производить расчет показателей пищевой ценности, однако, все они не в полной мере соответствуют специфике малых хлебобулочных производств, а также скрывают алгоритм расчета от пользователя.

Очень важной особенностью технологического процесса производства хлебобулочных изделий является существенное варьирование массы сырья и количества воды на замес в зависимости от влажности сырья, наличие усушки и упека, что может привести к существенным ошибкам при определении показателей пищевой ценности хлебобулочных изделий. Кроме того, необходимо учитывать химические процессы, протекающие с выделением теплоты, в процессе брожения закваски, брожения и расстойки теста.

Поэтому в настоящей работе авторы поставили перед собой задачу разработки указанной программы, в которой благодаря сочетанию макросов на встроенном языке программирования Visual Basic for Applications (VBA) и

встроенных функций табличного процессора Microsoft Excel удастся обеспечить прозрачность и понятность расчетов для пользователя.

Суть идеи заключается в том, чтобы освободить пользователя от необходимости ручного ввода и копирования формул, например, при добавлении и удалении ингредиентов, но в то же время предоставить ему возможность просмотра используемых для выполнения расчетов формул на листе Microsoft Excel. Это позволит использовать разработанную программу как опытным пользователям, так и начинающим, которые еще не овладели еще в полной мере навыками работы с табличным процессором.

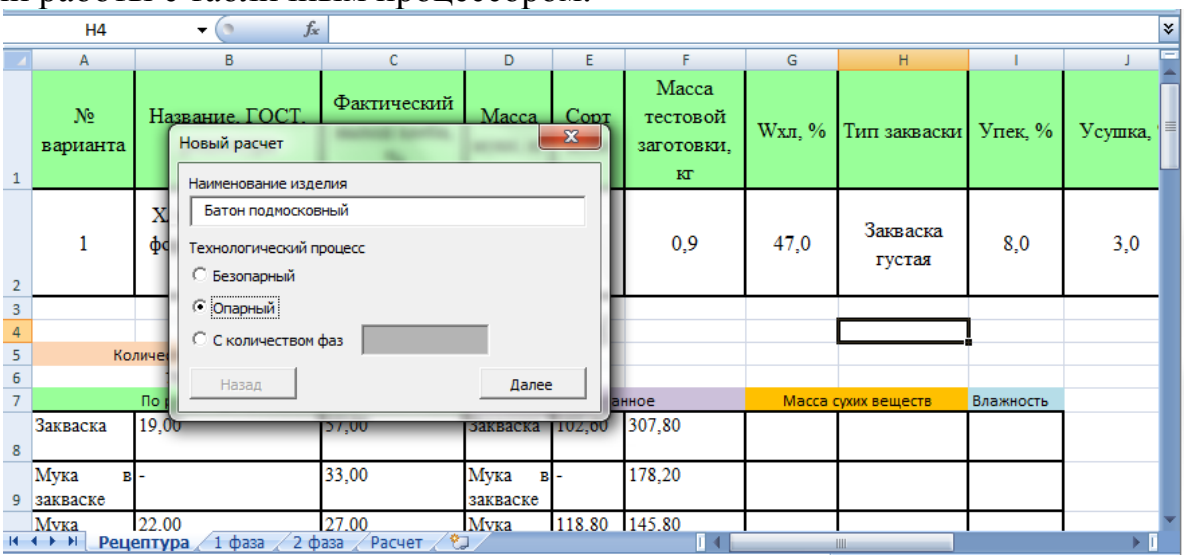


Рисунок 1 – Интерфейс программы

Интерфейс программы представлен на рисунке 1. При создании нового расчета открывается диалоговое окно мастера создания нового расчет, в котором пользователь последовательно отвечает на вопросы программы, указывая тип технологического процесса, его основные параметры: фазы, виды фаз и их длительность. Это позволяет учесть все особенности химических процессов брожения опары или закваски, брожения и расстойки теста, которые ведут к существенному изменению химического состава продукта, в первую очередь, количества углеводов.

Проведенный в работе анализ методов определения пищевой ценности продуктов питания показал, что наилучшей готовностью к автоматизации обладает табличный метод, на основании которого разработана программа с использованием табличного процессора Microsoft Excel, учитывающая особенности изменения химического состава хлебобулочных изделий в процессе приготовления и обладающая полной прозрачностью расчетов для пользователя.

Литература

1. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» (с изменениями, внесенными решением Совета ЕЭК от 20 декабря 2017 года N 90) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/902320347.

2. Пучкова Л.И. Технология хлеба / Л. И. Пучкова, Р. Д. Поландова, И. В. Матвеева. — СПб.: ГИОРД, 2005.— 557 с.

3. Химический состав российских продуктов питания / Под ред. И.М.Скурихина, В.А.Тутельяна .— М. : ДеЛи принт, 2002.— 235 с.

Д.Г. Кондратьев, К.П. Коршунова, рук. Ю.В. Синявский, к.т.н., доцент
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ В АППАРАТЕ С ПЕРЕМЕШИВАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОГО МЕТОДА

Совершенствование процессов перемешивания неразрывно связано с совершенствованием типов перемешивающих устройств. На рубеже 20 и 21 веков, в Европе и США появились принципиально новые типы перемешивающих устройств, обладающие существенно большей эффективностью, чем традиционные. Для адаптации в России требуется методика расчетов основных параметров процессов перемешивания с использованием данных типов перемешивающих устройств.

В настоящее время, основой инженерных расчетов процессов перемешивания в России является РД 26-01-90-85 «Механические устройства. Метод расчета», которая базируется на более ранней монографии [1]. В данной методике использованы теоретически обоснованные подходы, обладающие высокой степенью общности, и справедливые в том числе и для современных типов перемешивающих устройств.

Недостатком данного подхода является использование во всех расчетных соотношениях в качестве параметра коэффициента сопротивления перемешивающего устройства $\varsigma_м$, величина которого не может быть определена теоретически. Авторами методики на основе экспериментов были вычислены значения коэффициентов сопротивления для перемешивающих устройств 80-х годов 20 века, однако использование указанных величин для новых типов перемешивающих устройств невозможно.

Классический метод определения значения коэффициента сопротивления основан на прямом измерении момента сил, действующих на корпус. Однако, этот метод требует прецизионного измерительного оборудования, так как момент, возникающий в системах небольших размеров, пригодных для размещения в лабораторных условиях, крайне мал. Кроме того, в сосуде с относительно небольшим диаметром затруднительно получение течений с большими значениями числа Рейнольдса из-за развития центральной воронки больших размеров.

Установка на внутренней поверхности корпуса тормозных устройств решает проблему формирования воронки и увеличивает момент, действующий на корпус, однако вводит в уравнения дополнительный элемент – коэффициент сопротивления тормозного устройства, который так же определен достаточно приближенно. В результате, точность определения коэффициента сопротивления самого перемешивающего устройства падает.

Поэтому разработка альтернативной методики определения коэффициента сопротивления является весьма актуальной задачей.

В работе [2] предложен способ определения коэффициента сопротивления перемешивающего устройства путем восстановления профиля воронки с помощью анализа изображения системы оптических маркеров, установленных на дне корпуса.

На кафедре «Технологические машины и оборудование» нами была создана экспериментальная установка, предназначенная для реализации указанного метода. На дне корпуса, окрашенном изнутри в черный цвет для большей контрастности изображения, располагаются на пять светодиодов белого цвета, координаты которых в полярной системе, связанной с осью сосуда известны. Фиксация видеоизображения осуществляется с помощью web-камеры, установленной в крышке, изображение с которой транслируется на ЭВМ.

Перемешивающее устройство закрепляется на оси, проходящей через дно корпуса, и приводится в движение с помощью частотно-регулируемого привода, позволяющего с высокой точностью задавать частоту вращения.

На рисунке 1 показано фотоизображение системы маркеров в сосуде, заполненном на высоту, равную диаметру, которое наложено на изображение при отсутствии воды в системе.

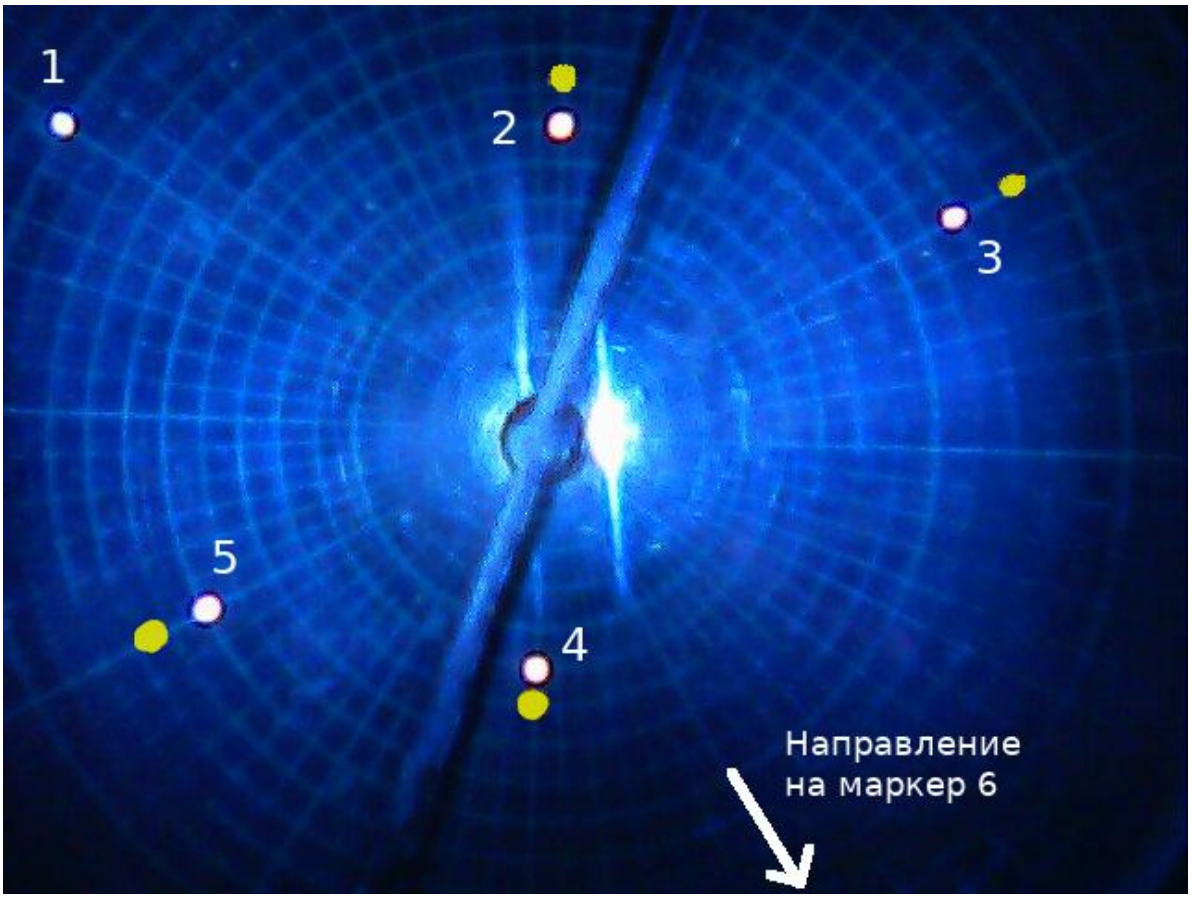


Рис.1. - картина положения маркеров в сосуде без жидкости (белый) и заполненном водой (желтый)

Для наглядности, дно системы с нанесенной координатной сеткой показано без воды и с включенной подсветкой камеры, маркеры в исходном положении показаны желтым цветом, а маркеры в заполненной системе – белым. Один из

маркеров не попадает в поле зрения камеры и направление на него показано дополнительной стрелкой.

Как видно из анализа изображения, заполнение системы водой приводит к характерному визуальному перемещению маркеров «от центра», связанному с преломлением света на горизонтальной поверхности жидкости. При этом изображение маркера 1 выходит за поле зрения камеры.

При включении перемешивающего устройства и формирования центральной воронки визуальное расположение маркеров меняется. На рисунке 2 показано изображение маркеров при двух частотах работы перемешивающего устройства.

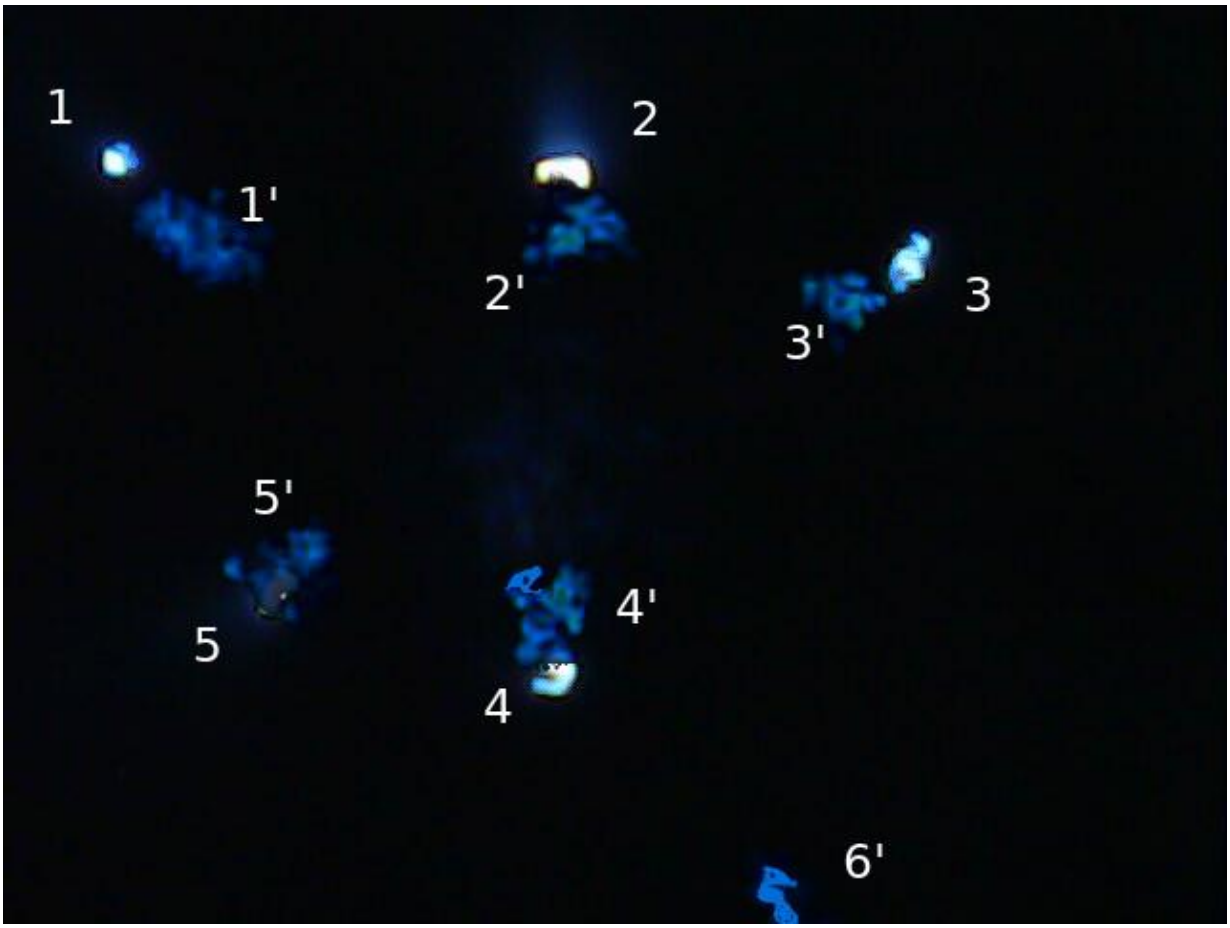


Рис.2 — картина визуального расположения маркеров при двух частотах работы перемешивающего устройства

Анализ полученных изображений позволяет сделать ряд выводов.

1. При формировании искривленной поверхности жидкости происходит визуальное перемещение положения маркеров «к центру», причем тем большее, чем больше частота вращения перемешивающего устройства. Изменение положения маркеров существенно — например, при второй частоте вращения в поле зрения камеры попадает изображение маркера 6, так же на обоих изображениях присутствует маркер 1. Таким образом, задача анализа изменения положения маркеров в системе координат дна может быть решенаю.

2. При переходе к высоким частотам вращения, для которых характерны турбулентный режим течения, наблюдается ухудшение стабильности изображения, что связано с пульсациями скорости на поверхности воронки, приводящим к ее непрерывным и хаотическим колебаниям.

Таким образом, решение задачи идентификации точек поверхности воронки требует разработки методов анализа изображения с целью однозначной идентификации положения оптических маркеров.

Наиболее целесообразным способом решения данной задачи является использование свёрточной нейронной сети, получающей в качестве источника данных видеоизображение [3]. Обучение нейронной сети может быть проведено путем накопления массива видеоданных, описывающих положение оптических маркеров в ситуациях, когда положение воронки известно. Для создания набора эталонных видеоизображений планируется проведение комплекса экспериментов с использованием перемешивающих устройств, для которых с достаточной точностью известно положение свободной поверхности.

С целью решения поставленной задачи, а настоящее время ведется разработка программного обеспечения, предназначенного для работы в составе аппаратно-программного комплекса, обеспечивающего сбор, накопление и обработку данных, необходимых для интеллектуальной поддержки исследований сложных гидромеханических процессов в условиях неопределенности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-07-00928_а.

Список литературы

1. Брагинский В.И. Бегачев В.М Перемешивание в жидких средах. Л.:«Химия», 1984. 336 с.

2. Синявский Ю.В., Борисов В.В. Интеллектуальный анализ гидромеханических процессов перемешивания // Материалы XIX Международной научной конференции «Системы компьютерной математики и их приложения». – Смоленск, Изд-во СмолГУ, 18-20 мая 2018 г. С. 221-224.

3. Борисов В.В., Синявский Ю.В., Гаранин О.И., Коршунова К.П. Сверточная нейро-нечеткая сеть для исследования гидромеханических процессов в условиях неопределенности // Тезисы докладов XVI Всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение». – Москва: Изд-во МГППУ, 13 марта 2018 г. С. 140-141.

Е.М. Крючков; рук. Ю.В. Синявский к.т.н., доцент.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ» в г. Смоленске)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА МЯСНОЙ ПРОДУКЦИИ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ НА ПРИМЕРЕ ОХЛАЖДЕННОЙ ГОВЯДИНЫ ПРОИЗВОДСТВА ИП КАЛИНИН ИГОРЬ ВИКТОРОВИЧ КОЛБАСНЫЙ ЦЕХ ДСК

На текущий момент на территории Смоленской области зарегистрировано более 100 производителей мясной продукции. В условиях высокой конкуренции рынка очень важно иметь выгодные уникальные торговые предложения. Одним из наиболее важных для процветания бизнеса критериев является качество продукции. Высокий показатель качества продукции в значительной степени

привлекает партнеров из дорогих сегментов, но требует значительных затрат, поэтому многие производители пытаются привлекать партнеров за счет низких цен, которых удается добиваться удешевлением производства, пуская в оборот заменители натуральных ингредиентов или применением иных методов искусственного улучшения вкусовых свойств и свойств хранения, которые в свою очередь, отрицательно влияют на качество конечного продукта.

Кроме того, мясо является основным источником белка для человеческого организма [2] и вопрос качества мясной продукции является актуальным вопросом, который требует постоянной высокой планки качества. В современных условиях проживания, которые на прямую зависят от окружающей среды, крайне необходимо соблюдать режим здорового питания и вести здоровый образ жизни для полноценного функционирования и высокой продуктивности человека.

На текущий момент существует множество методов определения свежести продукта. Порча мяса сопровождается выделением различных веществ, некоторые из которых можно увидеть невооруженным глазом, наличие других возможно зафиксировать только с помощью проведения соответствующих реакций.

Наглядным способом возможно определить органолептические свойства мяса: цвет, вкус, запах и консистенция. В процессе порчи мясо начинает покрываться слизью, становится липким и влажным, становится менее упругим. При этом цвет мяса также меняется, приобретая более темный или грязно-серый оттенок. Начинает появляться кислый, затхлый и гнилостный запах на поверхностных слоях мяса. В лабораторных условиях представляется возможным более детально изучить процесс порчи мяса и определить выделяющиеся вещества и их концентрацию. Таким образом мясо проверяется на содержание свободного аммиака при помощи реактива Несслера или реактива Эбера. У испорченного мяса значительно меняется кислотно-щелочной баланс в сторону кислой среды, это возможно определить при помощи лакмусовой бумаги или с помощью титрования мясного настоя. Также возможно определить выделение водорода и летучих жирных кислот.

Для определения качества продукции был выбран главный критерий – свежесть сырого мяса. Свежесть мяса самым главным образом влияет на вкусовые качества и безопасность продукта. Для эксперимента выбрана охлажденная говядина из ассортимента на развес в розничной точке компании «Колбасный цех ДСК». Продукт хранился при температуре 2° С до проведения эксперимента. Срок хранения с момента приобретения товара составил 24 часа. По нормативам [3] рекомендуемый срок хранения охлажденного мяса при температуре до 5° С составляет не более 5 суток.

Целью эксперимента стоит определение степени свежести охлажденной говядины производства «Колбасный цех ДСК» с помощью лабораторных методов определения свежести продукта. Для этого был поставлен ряд опытов с целью выявления признаков порчи мяса:

1. Проверка органолептических свойств продукта (цвет, запах, консистенция);

2. Реакция с реактивом Несслера на свободный аммиак;
3. Определение pH среды мяса;
4. Реакция на выделение сероводорода;
5. Реакция на выделение летучих жирных кислот;
6. Реакция с сернокислой медью на неглубокий распад белков.

После проведения данных опытов результаты эксперимента были занесены в таблицу и на основе анализа данных был сделан общий вывод о свежести продукта.

Проверка органолептических свойств продукта дала показала следующие результаты: цвет мяса – темно-красный, ощущается запах свежего мяса, упругая консистенция, образующаяся ямка после надавливания быстро исчезает. На основе данного опыта можно сделать вывод, что мясо свежее и безопасно к употреблению.

Проверка на свободный Аммиак заключается в реакции мясного экстракта с реактивом Несслера ($2HgI2 +2KI +3KOH$), который при реакции с аммиаком образует меркураммоний ($NH2HgIO$) желто-бурого цвета, выпадающий при большом содержании аммиака в осадок. После каждой прибавленной капли пробирку встряхивают и отмечают изменение цвета и прозрачность экстракта. Если мясо свежее, то видимый эффект легкого пожелтения раствора наблюдается после 10 капель реактива. Если мясо подозрительной свежести - экстракт желтеет и становится мутным после 5 капель реактива. Экстракт из несвежего мяса становится мутным после прибавления первых же капель реактива Несслера. В ходе эксперимента для появления видимых признаков пришлось потратить 12 капель реактива, поэтому можно сделать вывод об положительном результате проверки на свежесть.

pH среды мяса был измерен с помощью лакмусовой бумаги. В разрез мяса на промежуток в 10 минут была помещена индикаторная бумага. Показатель среды сохранился на отметке: 7. $pH = 7$, показывает нейтральность кислотно-щелочной среды мяса, что указывает на очень хорошую свежесть мяса.

Для фиксирования выделения сероводородов из мяса применяется щелочной раствор уксуснокислого свинца, который наносят на поверхность бумаги. 10 г мяса помещается в небольшой стакан и сверху накрывается бумагой с каплей уксуснокислого свинца. Испорченное мясо будет выделять сероводороды, что мы сможем определить по потемневшему пятну от капли раствора на бумаге. Стакан с бумагой стоял 10 минут, после чего была осуществлена проверка реакции веществ на бумаге. Пятно на поверхности бумаге не дало реакции, следовательно, выделение сероводорода незначительное и мясо считается свежим.

Опыт на выявление летучих жирных кислот заключается в отгонке настоя мяса и последующего титрования дистиллята. Для этого собирается стенд из трех колб, соединенных трубками, подогревателя и холодильника. Титрование дистиллята производят по гидроксиду натрия. Количество летучих жирных кислот (мг) гидроокиси калия в 25 г мяса вычисляют по формуле:

$$X = (V\text{-}V_o) \cdot К \cdot 5{,}61$$

где V — количество 0,1 н раствора гидроокиси калия (гидроокиси натрия), израсходованное на титрование 200 мл дистиллята из мяса, мл;

V_0 — количество 0,1 н раствора гидроокиси калия (гидроокиси натрия), израсходованное на титрование 200 мл дистиллята контрольного анализа, мл;

К — поправка к титру 0,1 н раствора гидроокиси калия (гидроокиси натрия);

5,61—количество гидроокиси калия, содержащееся в 1 мл 0,1 н. раствора, мг.

За результат испытаний принимают среднее арифметическое двух параллельных определений. Вычисление производят с погрешностью не более 0,01 мг гидроокиси калия. Мясо и мясные субпродукты считают свежими, если в них содержится летучих жирных кислот до 4 мг гидроокиси калия; сомнительной свежести 4,1- 9,0 мг, а несвежими свыше 9,0 мг. В ходе эксперимента показатель содержания летучих жирных кислот составил 3 мг, что свидетельствует о высокой степени свежести мяса.

Последний опыт показывает реакцию неглубокого распада белков в случае, если мясо является несвежим или сомнительной свежести. Реакция заключается в реакции бульона на основе мяса и 5% раствора медного купороса. Вещества смешиваются в пробирке и настаиваются 5 минут. Бульон на мясе сомнительной свежести должен образовывать хлопья. Образование желеобразной массы синего или зеленого цвета указывает на то, что мясо испорчено. По результату эксперимента ни одного из данных эффектов замечено не было, бульон остался прозрачным, следовательно, опыт показывает, что мясо свежее.

Таблица 1. – Результаты опытов

Опыт	Наблюдение	Результат
Запах мяса	Запах свежего мяса	Свежее
Цвет мяса	Темно-красный	Свежее
Консистенция	Упругая, влажная	Свежее
Реакция с реактивом Несслера, капель	12 капель реактива до появления эффекта пожелтения	Свежее
pH среды мяса	7	Свежее
Реакция с уксуснокислым свинцом	Пятно сероводорода не появилось	Свежее
Кол-во жирных кислот	3 мг	Свежее
Реакция с медным купоросом на неглубокий распад белков	Бульон остался прозрачным без образования осадка после взаимодействия с раствором медного купороса	Свежее

На основании проведенных опытов можно сделать заключение, что охлажденная говядина производства «Колбасный цех ДСК» является свежим и имеет высокую степень качества. Продукт показал высшие показатели свежести по всем проведенным опытам, что уверенно подтверждает высокую степень ответственности производителя перед своими клиентами.

Подводя итоги исследования можно сделать вывод, что на территории Смоленской области есть крупный поставщик мясной продукции, который держит планку высокого качества продукции, что очень важно в современных условиях жизни в силу ухудшенной окружающей среды, которая подвергается влиянию множества техногенных факторов. Производство «Колбасный цех ДСК» однозначно заслуживает доверие клиентов в силу поддержания высокого уровня свежести и безопасности своей продукции.

Литература
1) Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А., Пищевая химия – СПб.: ГИОРД - 2013
2) Могильный Н.И., Здоровье человека - ISBN: 978-5-486-01975-3 – 2008
3) ГОСТ Р 55445-2013 Мясо. Говядина высококачественная. Технические условия

Т.В. Лукьянова, студ.; рук. В.В. Марков, Л.Д. Козлова
(Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орёл)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ ЗА СЧЁТ ВНЕДРЕНИЯ ПРОЦЕДУРЫ АНАЛИЗА РИСКОВ

Несмотря на стремительное развитие техники и технологии, существуют изделия, которые производятся тысячелетиями. Одним из таких изделий является керамическая плитка. Первые образцы керамической плитки археологи обнаружили в древних городах Междуречья Тигра и Ефрата, где плитку создавали ещё во втором тысячелетии до нашей эры. На Руси керамическая плитка использовалась для строительства и облицовки первых церквей. И в настоящее время керамическая плитка является одним из самых распространённых отделочных материалов, успешно конкурируя с лакокрасочными отделочными материалами, материалами из дерева, бумаги и пластика [1].

Производство керамической плитки является одним из наиболее активно развивающихся производств города Орла. В Орле керамическую плитку выпускает ЗАО «Велор», совместное Российско-итальянское предприятие. Завод «Велор» начал выпускать продукцию в 1992 году и стал одним из первых примеров успешных инвестиций иностранного капитала в экономику России. К началу XXI века завод был полностью оснащён современным технологическим оборудованием, использовал инновационные итальянские технологии, привлекал к работе лучшие рабочие кадры и инженерно-технических работников. В настоящее время завод «Велор» выпускает керамическую плитку под торговым брендом «KERAMA MARAZZI», которая является продукцией лучшего европейского уровня, что подтверждают сертификаты международного центра керамики г. Болонья (Италия), золотой знак качества Российской Федерации «Российская марка» и каталог «100 лучших товаров России» [2].

Завод «Велор» имеет интегрированную систему менеджмента, сертифицированную на соответствии требованиям национальных стандартов ГОСТ Р

ИСО 9001-2015, ГОСТ Р ИСО 14001-2017 и международного стандарта OHSAS 18001-2017. Для повышения эффективности производства и снижения издержек завод проводит политику внедрения современных методов менеджмента качества в производственные процессы и бизнес-процессы обслуживания производства, в частности – методы оценки производственных рисков [3].

Для оценки производственных рисков могут использоваться различные методы, среди которых наиболее широко применяются три:

1) PEST-анализ («политика-экономика-общество-технология») – анализ рисков для предприятия на уровне региона, проводимый с целью формирования региональной политики предприятия;

2) SWOT-анализ (сильные и слабые стороны продукции, возможности и угрозы для предприятия) – анализ места предприятия в региональном сегменте рынка и экономических перспектив развития производства;

3) FMEA-анализ (анализ видов и последствий отказов) – анализ рисков возникновения дефектов конструкции изделия или рисков возникновения несоответствий производственных процессов.

В настоящее время перед предприятием стоит актуальная проблема внедрения метода FMEA с целью постоянного улучшения качества керамической плитки и учёта выявленных и потенциально возможных нужд потребителей.

На этапе анализа потенциальных дефектов керамической плитки методом FMEA решают следующие задачи [4]:

1) определение «слабых» мест керамической плитки или технологического процесса её изготовления, принятие мер по их устранению;

2) получение сведений о риске возникновения дефектов предложенного варианта и альтернативных вариантов рецептуры керамической плитки или технологического процесса её изготовления;

3) доработка рецептуры керамической плитки до приемлемой с разных точек зрения: технологичности, удобства обслуживания, надёжности;

4) сокращение дорогостоящих экспериментов.

Метод FMEA рекомендуется применять при изменении условий применения керамической плитки или при введение в производство нового технологического оборудования.

Рассмотрим порядок организации метода FMEA по известному циклу Шухарта-Дёминга (широко известен как цикл PDCA).

Первый этап «Plan» или «Планирование». Для конкретного вида керамической плитки и конкретной рецептуры смеси определяют все возможные виды дефектов. Описание каждого вида дефекта заносят в протокол анализа видов, причин и последствий потенциальных дефектов. Для каждого дефекта определяют потенциальные причины. Для одного дефекта может быть выявлено несколько потенциальных причин, все они должны быть по возможности полно описаны и рассмотрены отдельно.

Второй этап «Do» или «Выполнение». Для каждой потенциальной причины дефекта экспертно определяют балл возникновения данной причины (бал значимости S, возникновения O и обнаружения D).

Третий этап «Check» или «Проверка». После того, как действия по доработке определены, необходимо оценить и записать значения баллов значимости S, возникновения O и обнаружения D для нового предложенного варианта конструкции и (или) технологического процесса. Следует проанализировать новый предложенный вариант и подсчитать и записать новые данные. В конце работы FMEA-команды должен быть составлен и подписан протокол, в котором отражают основные результаты работы команды.

Четвёртый этап «Act» или «Действия по улучшению». С учётом полученных данных в выбранный вариант рецептуры керамической смеси и технологический процесс её изготовления вносятся предложенные изменения.

Метод FMEA направлен на предотвращение рисков и снижение их негативных последствий. Это один из наиболее эффективных методов доработки конструкций технических объектов и процессов их изготовления.

Процесс проведения FMEA-анализа включает в себя следующие этапы:

1) определение объекта анализа (керамическая плитка);
2) описание составных частей объекта, подготовка протокола FMEA;
3) определение потенциальных дефектов объекта;
4) определение последствий дефектов объекта;
5) определение значимости последствий (S) дефектов;
6) определение возможных причин дефектов объекта;
7) описание действующих мер по предупреждению дефектов;
8) описание действующих мер по обнаружению дефектов;
9) определение вероятности возникновения причины (O) дефекта;
10) определение вероятности обнаружения дефекта (D);
11) расчёт приоритетного числа риска, как $ПЧР = S \cdot O \cdot D$;
12) разработка предупреждающих действий (ПД) по снижению рисков;
13) назначение ответственных исполнителей ПД;
14) контроль выполнения ПД и перерасчёт ПЧР.

Рассмотрим результаты FMEA-анализа возможных несоответствий технологического процесса производства керамической плитки.

1 Определены этапы технологического процесса производства плитки: добыча сырья (входит в технологический процесс, так как заводы по производству плитки размещаются непосредственно в зоне добычи сырья), приготовление смеси, формовка, сушка, нанесение эмали или глазури, обжиг, сортировка.

2 Для каждого этапа технологического процесса производства плитки определены потенциальные несоответствия.

3 Для несоответствий определены возможные причины возникновения и последствия. В зависимости от значимости, частоты возникновения и сложности обнаружения присвоены значения баллов S_1, O_1, D_1 и подсчитано приоритетное число рисков $ПЧР_1$ для каждого несоответствия в исходном состоянии.

4 Для несоответствий, у которых значения $ПЧР_1$ оказались больше 100 баллов (критическое значение приоритетного числа рисков), назначены предупреждающие действия. По вторичным значениям баллов S_1, O_1, D_1 подсчитано приоритетное число для остаточного риска – $ПЧР_2$.

5 Для реализации предупреждающих действий назначены исполнители, ответственные за производство керамической плитки.

Все действия отражены в протоколе FMEA. Проведённый анализ потенциальных несоответствий технологического процесса производства керамической плитки позволил определить возможные дефекты до их возникновения и принять меры для снижения риска массового появления дефектов.

ЛИТЕРАТУРА

1 Бурдейный, М.А. Искусство керамики [Текст] / М.А. Бурдейный. – М.: Проф-Издат, 2009. – 104 с.

2 Завод «Велор» в каталоге «100 лучших товаров России» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.100best.ru/content/tovary-i-predpriyatiya?i1=2853&i2=0.

3 Воронцовский, А.В. Оценка рисков [Текст]: Учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / А.В. Воронцовский. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 179 с.

4 FMEA при проектировании и совершенствовании продукции и процессов [Текст]: Методическое пособие. – Вып. 12. – М.: НТК «Трек», 2012. – 24 с.

Т.С. Наполова, студ.; рук. В.В. Марков, Ж.А. Секаева
(Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орёл)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕИНЖИНИРИНГА ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛОВОГО СПИРТА МЕТОДОМ «20 КЛЮЧЕЙ»

Производство этилового спирта является одной из важнейших отраслей пищевой и перерабатывающей промышленности. Этиловый спирт – это продукт, применяемый практически во всех областях хозяйственной деятельности человека. Широкое применение этилового спирта обусловлено его ценными свойствами, к которым относится способность растворять многие вещества и антибактериальное действие. Производство этилового спирта относится к категории эффективных производств – спирт можно получать из любого пищевого сырья, в том числе – из отходов пищевого производства. Однако спиртовое производство в регионах Центральной России в настоящее время находится в состоянии упадка, что объясняется принятием в 2012-м году приказа «Об утверждении порядка утилизации барды (основного отхода спиртового производства) на очистных сооружениях и перечня соответствующего технологического оборудования» [1]. Установки для глубокой переработки барды относятся к категории дорогостоящего оборудования (стоимость более 100 млн. руб.), поэтому их применение рентабельно только для больших спиртовых заводов, которые в нашей стране расположены в регионах Северного Кавказа. А большинство небольших спиртовых заводов Центральной России в период с 2012 по 2018 годы были вынуждены прекратить производство этого ценного продукта.

Для восстановления спиртового производства на малых региональных предприятиях Центральной России с учётом требований федерального закона о

глубокой переработке отходов спиртового производства необходим реинжиниринг (глубокая структурная перестройка) всего производственного цикла малых спиртовых заводов. Помочь в этом может метод управления качеством, известный под названием «20 ключей» [2].

Метод «20 ключей» служит для улучшения работы предприятия по 20 критериям. Первым этапом улучшения является оценка эффективности работы предприятия в исходном состоянии. Затем происходит поиск различных методов реализации известных методов менеджмента качества, внедряемых компаниями-лидерами. Можно сказать, что метод «20 ключей» – это разновидность бенчмаркинга, при котором поиск направлений улучшения происходит не произвольно, а по заранее составленной программе.

При улучшении деятельности по методу «20 ключей» предприятие оценивает свою деятельность по 20 критериям, каждый из которых определяется в диапазоне от 0 до 5 баллов. После этого составляется лепестковая 20-лучевая диаграмма совершенства предприятия, по которой определяются её сильные и слабые стороны. Наибольшее количество баллов, которое может набрать предприятие по данной системе оценки, составляет 100 баллов (20 критериев по 5 баллов каждый). Но, как показывает практика, на этапе первоначальной оценки эффективности работы предприятия суммарное количество баллов, как правило, не превышает 20-30 баллов. После проведения первоначальной оценки руководство предприятия разрабатывает и реализует мероприятия по улучшению работы в направлении «западающих» критериев.

Рассмотрим критерии совершенства предприятия – «20 ключей»:

1) ключ №1 – «Чистота и оптимизация». Этот критерий предполагает повышение культуры производства и сокращение количества перемещений материалов в процессе производства (внедрение метода «5S» или системы «Упорядочение»);

2) ключ №2 – «Оптимизация системы управления целями». Этот критерий предполагает развитие системы долгосрочного планирования деятельности предприятия с учётом внешних и внутренних факторов (внедрение метода APQP или «Перспективное планирование качества продукции»);

3) ключ №3 – «Работа коллектива по внедрению улучшений». Этот критерий предполагает распределение обязанностей по улучшению деятельности предприятия между всеми сотрудниками (внедрение опыта работы «кружков качества» на предприятиях);

4) ключ №4 – «Сокращение времени на выполнение обслуживания и ремонта». Этот критерий предполагает сокращение длительности простоя технологического оборудования из-за технического обслуживания и ремонта за счёт выполнения части операций по техническому обслуживанию и ремонту в процессе работы оборудования (внедрение метода «Четырёхэтапная ускоренная наладка оборудования»);

5) ключ №5 – «Быстрый перевод техники в эксплуатацию». Этот критерий предполагает сокращение сроков перевода техники из состояния поставки в

рабочее состояние (внедрение метода TPM или «Всеобщее обслуживание оборудования»);

6) ключ №6 – «Производственный функционально-стоимостной анализ». Этот критерий предполагает проводить технико-экономическое рациональности приобретения нового оборудования (внедрение метода ФСА или «Функционально-стоимостной анализ»);

7) ключ №7 – «Безмониторинговый производственный процесс». Этот критерий предполагает снижение трудоёмкости контроля за счёт «встраивания» функции качества в производственные процессы (внедрение метода «Поке-Ёке» или «Защита от невольных ошибок»);

8) ключ №8 – «Совместное производство». Этот критерий предполагает привлечение внешних инвестиций в производство и повышение капиталоёмкости активов предприятия;

9) ключ №9 – «Безопасность условий труда». Этот критерий предполагает создание на предприятии системы управления охраной труда и её сертификацию на соответствие международному стандарту OHSAS 18001;

10) ключ №10 – «Контроль времени и дисциплина». Этот критерий предполагает снижение потерь рабочего времени на выполнение производственных и вспомогательных операций (внедрение методов «Бережливое производство» и «Тайм-менеджмент»);

11) ключ №11 – «Система управления качеством». Этот критерий предполагает внедрение на предприятии системы менеджмента качества и её сертификацию на соответствие международному стандарту ИСО 9001;

12) ключ №12 – «Управление поставщиками». Этот критерий предполагает включение производства поставщиков в сферу деятельности предприятия (внедрение метода PPAP или «Одобрение производства»);

13) ключ №13 – «Устранение неисправностей». Этот критерий предполагает постоянные и непрерывные действия по улучшению качества работы по всем направлениям (внедрение метода «Кайдзен»);

14) ключ №14 – «Стимулирование работников к внедрению улучшений». Этот критерий предполагает развитие творческой активности сотрудников предприятия и создание условий для получения ими удовольствия от работы (внедрение 14 пунктов программы У.Э. Деминга);

15) ключ №15 – «Универсальность навыков и перекрёстное обучение». Этот критерий предполагает развитие у сотрудников предприятия «универсальных компетенций», позволяющих им заменить друг друга на связях своих трудовых обязанностей;

16) ключ №16 – «Планирование обслуживания и ремонта». Этот критерий предполагает сокращение времени простоя технологического оборудования из-за обслуживания и ремонта за счёт систематизации сервисных операций (внедрение метода TPM или «Всеобщее обслуживание оборудования»);

17) ключ №17 – «Контроль производительности труда». Этот метод предполагает использование статистических методов оценки производительности труда сотрудников предприятия;

18) ключ №18 – «Использование информационных систем». Этот метод предполагает снижение затрат на выполнение рутинных операций за счёт использования информационных систем управления предприятием;

19) ключ №19 – «Рациональное использование энергии и материалов». Этот метод предполагает проведение энергетического аудита предприятия;

20) ключ №20 – «Оценка передовых и используемых на предприятии технологий». Этот метод предполагает проведение технологического аудита.

Таким образом, метод «20 ключей» позволяет не просто улучшить деятельность предприятия, а объединить разноплановые инструменты управления качеством в единое целое и получить синергетический эффект усиления эффективности внедрения инструментов при их совместном использовании.

ЛИТЕРАТУРА

1 Приказ Федеральной службы по регулированию алкогольного рынка от 4 декабря 2012 г. N 364 «Об утверждении Порядка утилизации барды (основного отхода спиртового производства) на очистных сооружениях и перечня соответствующего технологического оборудования» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://base.garant.ru/70368492/.

2 Методика «20 ключей управления» в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://20keys.ru/articles/426/.

Н.А. Николаева, студ.; рук. Г.В. Короткова, к.б.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЕЛКОВЫХ ФРАКЦИЙ БОБОВЫХ КУЛЬТУР

Бобовые культуры – ценный пищевой продукт, содержащий большое количество полезных углеводов, белков и клетчатки. Некоторые виды бобовых культур содержат более 20 г белка на 100 г продукта. Такой растительный белок является хорошим дополнением к животному белку, содержащему в мясе, а для некоторых групп населения может стать заменой животному. В некоторых видах бобовых культур содержание белка превышает содержание его в мясном сырье.

В таблице 1 представлена характеристика пищевой ценности отдельных видов бобовых культур. По общему содержанию белка в семени лидирует соя; в ней также содержится небольшое количество углеводов, но значительное количество жиров по сравнению с другими культурами.

Достаточное содержание белков в рационе человека обусловлено необходимостью восполнения в организме числа незаменимых аминокислот. Максимальное количество эссенциальных аминокислот содержится в зернах красной чечевицы.

Было проведено экспериментальное исследование, целью которого являлось выделение белковых фракций семян бобовых культур и сравнительная оценка их количественного содержания. Объектом исследования были выбраны семена следующих бобовых: красной чечевицы, фасоли, гороха и сои. Белки бобовых выделяли из дезодорированной полуобезжиренной соевой муки марки

«С. Пудовъ»; чечевицы персидской красной колотой марки «Мистраль»; фасоли продовольственной марки «Чудесный край»; гороха колотого марки «Увелка».

Таблица 1 – Характеристика пищевой ценности бобовых культур

Вид бобовых	Энергетическая ценность, ккал	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Эссенциальные аминокислоты
Красная чечевица	328	24,7	1,2	62,5	лей, лиз, вал, мет, тре, фен, илей, гис
Фасоль	330	22,0	2,0	55,0	три, мет, лиз
Горох	360	20,0	2,0	67,0	илей, лиз
Соевая мука	330	43,0	9,5	19,0	гис, фен, три, мет, вал, лиз

Разделение белковых фракций было основано на их различной растворимости. Извлекали соответственно растворимые в воде и растворах нейтральных солей альбумины и глобулины; растворимые в спиртах и растворах щелочей проламины и глютелины. Количественное содержание фракции оценивали методом визуального колориметрирования по интенсивности окраски продуктов биуретовой реакции [4, с. 17].

По данным литературы основная фракция белков бобовых культур – глобулиновая, на нее приходится от 75% до 85% белка в зависимости от вида культуры. На втором месте по процентному содержанию находится фракция альбуминов, в которой 8-12% всех белков. Наименьшее количество белка (6-7%) приходится на долю глютелиновой фракции. Проламиновая фракция в белках бобовых культур отсутствует [2, с. 72].

Эксперимент доказал, что основная часть белков бобовых культур представлена глобулинами, которые являются запасными белками. Вторая по содержанию фракция – альбуминовая. Реакции их определения шли наиболее интенсивно.

Наименьшее количество приходится на долю глютелинов, реакция на определение данной фракции идет медленно, по сравнению с альбуминами и глобулинами. В ходе эксперимента не удалось выделить проламиновую фракцию, что доказывает ее отсутствие в белках бобовых культур.

Судя по интенсивности окраски растворов в качественной реакции с биуретовым реактивом и скорости выпадения осадка при извлечении, большее количество белков всех фракций содержится в сое; на втором месте – фасоль, далее – чечевица и горох.

В соответствии с результатами эксперимента по количественному и качественному содержанию белков на первом месте среди бобовых культур стоит соя. Она является особо значимой культурой среди бобовых, т.к. в настоящее

время соя – недорогой источник пищевого биологически ценного белка. При правильной переработке сои можно добиться низкого содержания жира в конечном продукте. Современная промышленная переработка сои дает возможность получать широкий спектр соевых продуктов, в их числе – концентраты, изоляты, соевые белки, которые содержат большое количество белка и не имеют собственного выраженного вкуса; они принимают вкус пищи, с которой взаимодействую во время готовки. Это позволяет использовать соевые белки в соответствии с индивидуальными предпочтениями потребителей.

Семена бобовых культур являются одним из главных источников белка, и могут стать заменой животному белку для некоторых групп населения. Однако для полного усвоения таких белков организмом человека необходима предварительная обработка бобовых культур, т.к. сырое зерно содержит только 15-20% усвояемого белка. К тому же сырое бобовое зерно (особенно соевое) может быть токсично из-за содержания в нем лектина – вещества, вызывающего агглютинацию (склеивание) эритроцитов.

Помимо содержания большого количества протеинов, в состав бобовых культур также входят сложные углеводы, пищевые волокна (клетчатка), минеральные вещества и ценные витамины. Сложные углеводы и клетчатка (наряду с белками) – главные компоненты в процессе снижения массы тела человека, обеспечивающие не только чувство сытости на долгое время, но и правильное функционирование кишечника. Пищевые волокна стимулируют перистальтику кишечника, способствуют его своевременному очищению, а также выводят токсины и шлаки из организма. Жиры в бобовых культурах представлены полиненасыщенными жирными кислотами, главным плюсом которых является отсутствие холестерина.

Бобовые культуры как продукт растительного происхождения содержат большое количество витаминов и минералов. Среди витаминов специалисты выделяют: ретинол (витамин А), улучшающий иммунную систему и снижающие риск потери остроты зрения; аскорбиновая кислота (витамин С), повышающая иммунную защиту организма; никотиновая кислота (витамин РР), регулирующая нервную систему человека. Особенное место среди витаминов, содержащихся в бобовых культурах, занимают витамины В-комплекса, которые сохраняются после кулинарной обработки в большом количестве (до 70%).

Комплекс минеральных веществ, содержащийся в бобовых культурах, представлен соединениями фосфора, кальция, калия и магния, которые входят в состав гороха и фасоли; а также содержанием железа в чечевице.

Бобовые культуры – это своеобразные капсулы с богатой пищевой ценностью: белками, сложными углеводами, правильными жирами, клетчаткой, витаминами и минералами. Белки бобовых культур богаты не только высоким процентным содержанием белка, но и широким содержанием незаменимых аминокислот. Вследствие высокого содержание эссенциальных аминокислот в белках бобовых, эти растительные продукты по составу приближенно рассматриваются как биологически полноценные, т.е. в белках которых содержаться все незаменимые аминокислоты в сбалансированном количестве.

Однако, белки бобовых содержат мало серосодержащих аминокислот (цистеин и метионин) и триптофана, которые в достаточном количестве содержатся в белках злаковых культур и в животных белках. Поэтому, в рационе человека должны присутствовать все виды белков: животного и растительного происхождения.

Литература

1. Нечаев, А.П. Пищевая химия / А.П. Нечаев, С.Е. Траубенберг, А.А. Кочеткова под ред. А.П. Нечаева – изд. 4-е, испр. и доп. – СПб.: ГИОРД, 2007. – 640 с.
2. Остерман, Л.А. Методы исследования белков и нуклеиновых кислот: пособие для студентов биологических факультетов / Л.А. Остерман. – М.:МЦНМО, 2002. – 248 с.
3. Сова, В.В. Выделение и очистка белков: методическое пособие по курсу химия и биохимия белков и ферментов / В.В. Сова, М.И. Кусайкин. – Владивосток: 2006. – 42 с.
4. Шугалей, И.В. Химия белка: учебное пособие / И.В. Шугалей, А.В. Гарабаджиу, И.В. Целинский. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 200 с.

Д.О. Политов, студ.; рук. В.В. Марков, Н.В. Углова
(Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орёл)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА СГУЩЕННОГО МОЛОКА МЕТОДОМ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА

Производство сгущённого молока является одним из торговых «брендов» Орловской области. В настоящее время производством сгущённого молока в Орловской области занимается Верховский молочный комбинат, расположенный в пгт. Верховье (районный центр Верховского района Орловской области). Этот район относится к наиболее экологически чистым местам Орловской области, что сказывается на качестве производимого сгущённого молока [1].

В 2019-м году исполняется 163 года с момента изобретения сгущённого молока и технологии его производства: 19 августа 1856 года гражданин США Гейл Борден получил патент US №15553 на изобретение «Сгущённого молока и способа его изготовления в промышленных условиях» [2]. Впоследствии Г. Борден получи ещё четыре патента на разновидности сгущённого молока. Начиная с XIX века и далее, во всём мире, включая Российскую империю и Советский Союз, сгущённое молоко производилось по запатентованной Борденом американской технологии.

В России первый завод по изготовлению сгущённого молока появился в Оренбурге в 1881 году. Однако, его продукция не пользовалась популярностью среди населения, завод обанкротился и через несколько лет был ликвидирован. Интерес к производству сгущённого молока появился в начале XX века, во время русско-японской и Первой мировой войны, когда появилась острая потребность в консервированном молоке с большими сроками хранения. В то время её производством по американской технологии и в ограниченном количестве занимались кондитерские фабрики.

Во время Великой Отечественной войны сгущённое молоко, ввозимое из США северными конвоями по ленд-лизу, предназначалось для армии. Её выда-

вали раненым, дозируя пипеткой, так как одна банка приходилась на несколько палат. Учитывая важность и дефицит сгущённого молока, после окончания Великой Отечественной войны Государственным комитетом труда и обороны было принято решение запустить этот стратегически важный продукт в массовое производство. Главной базой производства сгущённого молока решено было сделать Краснодарский край. Первым заводом СССР по производству молочных консервов стал завод в посёлке Кореновском, построенным в 1952-м году. В Центральной России заводы по производству сгущённого молока стали открываться с 1975 года в связи с Постановлением Совета министров СССР о развитии Нечерноземья. В этот период появились молочные комбинаты в посёлке Верховье Орловской области и в городе Гомель Белоруссии.

Сгущённое молоко, выпускавшееся в СССР для розничной продажи, традиционно расфасовывалось в консервные банки объёмом 325 мл с массой продукта 400 г. Фирменным знаком сгущённого молока стали бело-сине-голубые бумажные этикетки, дизайн которых был разработан в 1939-м году Ираидой Фоминой, дочерью известного архитектора.

Рецептура сгущённого молока в нашей стране в 1978 году была утверждена ГОСТ 2903-78, который действовал до 2011 года. Согласно данному государственному стандарту, на 1000 кг сгущённого молока требуется: 2334,4 кг цельного молока с массовой долей жира 3,7 %, 134,38 кг обезжиренного молока с массовой долей жира 0,05 %, сахарного сиропа 687,88 кг (где 448,24 кг сахара и 239,64 кг воды).

Технологический процесс производства сгущённого молока (который практически не изменился с 1856 года) включает следующие этапы [2]:

1) приёмка сырого молока и контроль его качества, охлаждение, резервирования и очистка сырого молока;

2) нормализация молока по жиру и сухим веществам;

3) высокотемпературная пастеризация (при температуре до 90…95 ^{o}C);

4) охлаждение до температуры 70…75 ^{o}C;

5) промежуточное хранение перед сгущением;

6) внесение сахара в виде сиропа с содержанием сахара 60…70 %;

7) сгущение смеси молока с сиропом в вакуум-выпарной установке;

8) охлаждение сгущённого молока до 20 ^{o}C;

9) внесение затравки для предотвращения кристаллизации лактозы;

10) фасовка и хранение (в жестяных банках – 1 год, в полипропиленовых или полистироловых стаканчиках и другой таре – 3 месяца).

В современных условиях российского рынка производство сгущённого молока отличается от производства других видов пищевых продуктов высоким уровнем конкуренции. Она связана не только с большим количеством молочных комбинатов, выпускающих сгущённое молоко, но и с тем, что этот продукт имеет очень большой срок хранения и отлично переносит транспортирование на любые расстояния. Поэтому на Верховском молочном комбинате актуально внедрение методов управления качеством, обеспечивающих не только повышение качества выпускаемой продукции, но и постоянное отслеживание эф-

фективности деятельности по сравнению с конкурентами, причём не только ближайшими, а с любыми, особенно – с лидерами отрасли (Москва, Вологда, Белгород, республика Беларусь).

Среди известных методов управления качеством, позволяющих связать в единое целое качество продукта, потребности потребителей и конкурентные преимущества, является метод под названием «Структурирование функции качества» или «QFD-анализ».

Структурирование функции качества (QFD-анализ) – это метод систематизации потребностей потребителей, показателей качества продукции и достижений конкурентов. Впервые QFD-анализ был использован компанией «Митцубиси Комбе» в 1972 году в Японии. В США его успешно использовали компании «Форд» и «Ксерокс». Название метода «Quality Function Deployment» (QFD-анализ) является переводом с японского языка и означает развитие характеристик продукции. Основным инструментом QFD-анализа является система матриц, получившая название «дом качества» (QH – Quality House) [3].

В «доме качества» наглядно демонстрируется связь между показателями качества (техническими характеристиками) продукции, пожеланиями потребителей и особенностями продукции конкурентов.

Матрицы «дома качества» содержат комплексные и наглядные ответы на следующие вопросы:

1) кто является потребителем? – то есть, какая социальная группа населения является потенциальным потребителем данного вида продукции (матрица №1);

2) что представляют собой требования потребителя? – то есть, какие пожелания потребителей выявили маркетологи предприятия и какие пожелания, по их прогнозам, могут появиться в ожидаемом будущем (матрица №1);

3) как будут удовлетворены требования потребителя? – то есть, какие показатели качества будет иметь выпускаемая продукция (матрица №2).

Рассмотрим порядок заполнения матриц «дома качества».

Заполняем матрицу №1, отвечая на первый вопрос: «Кто»? Для выбора социальной группы потребителей продукции предварительно следует ответить на вопрос: «Кто выиграет в результате разработки данной продукции и почему»? Отвечаем на следующий вопрос по матрице №1: «Что»? Ответ получаем с помощью интервью или анкетирования потенциальных потребителей. Вопросы в анкетах следует построить так, чтобы определить не только главные, но и второстепенные потребности, так как «качество складывается из мелочей». Главные потребности удовлетворяют все предприятия, а вот на «мелочи» обращают внимание только лидеры отрасли.

Заполняем матрицу №2, отвечая на третий вопрос: «Как»? В этой матрице мы связываем выявленные потребности потребителей с характеристиками продукции. В результате этой работы матрица №2 превращается в карту технического уровня продукции.

После заполнения матриц №1 и №2 заполняем центральную матрицу №3, определяющую связи между требованиями потребителями и целями предпри-

ятия. С помощью вопросов «Что?» и «Почему?» сравнивают потребности потребителей и деятельность конкурентов, а результаты сравнения отражаются в матрице №4. В последующих матрицах «дома качества» приводятся затраты на достижение заданного качества продукции, эталоны качества для сравнения характеристик продукции предприятия и конкурентов. В итоге, «дом качества» даёт полную информацию о политике предприятия по продвижению на рынок того или иного продукта.

ЛИТЕРАТУРА

1 Верховский молочный комбинат в каталоге «100 лучших товаров России» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.100best.ru/content/tovary-i-predpriyatiya?i1=2853&i2=0.

2 История изобретения и производства сгущённого молока [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cat-779.livejournal.com/80741.html.

3 Брагин, Ю.В. Проектирование и производство продукции исходя из ожиданий потребителей [Текст] / Ю.В. Брагин, В.Ф. Корольков. – Ярославль: Центр качества, 2003. – 240 с.

Я.Н. Рогозовец, студ.; рук. Г.В. Короткова, канд. биол. наук
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ«МЭИ» в г. Смоленске)

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА БАЗОВОГО МОТОРНОГО МАСЛА МЕТОДОМ ДИАГРАММЫ ПАРЕТО

Нефтяные масла по своему составу относятся к жидким смесям высококипящих углеводородов. Сырьем для их производства являются нефти, различающиеся по некоторым факторам: содержание серы, парафинов, асфальтосмолистых веществ, а также потенциальным содержанием масел и их качеством.

Суть технологии производства базовых моторных масел заключается в том, чтобы удалить, т.е. выполнить селективную выборку из сырья групп углеводородов и соединений, которые пагубно влияют на эксплуатационные свойства оборудования, машин, деталей и т.д. Такими соединениями являются полициклические ароматичные и нафтено-ароматичные углеводороды с краткими боковыми цепями, сернистые, азотсодержащие и кислородсодержащие соединения, полигетероатомные высокомолекулярные соединения.Технология включает в себя ряд процессов, одним из которых является экстракционная очистка масел селективными растворителями [4].

В настоящее время производство нефтяных масел базируется на процессе экстракционного разделения продуктов вакуумной трубчатки – широкой масляной фракции. К числу таких процессов можно отнести селективную очисткурастворителями: фенолом, фурфуролом и N-метилпирролидоном. Растворители являются главнейшими компонентами в процессе очистки, т. к. позволяют улучшать свойства и качество масла согласно ГОСТ.

Стоит отметить, что требования к качеству нефтяных масел растут из года в год, связано это с возрастанием роли экологических составляющих. Поэтому при производстве масел необходимо строго соблюдать технологию процесса, а так же требования безопасности и охраны труда. По этой причиненеобходима многосторонняя проверка производственного процесса для точного анализа свойств товарных масел, растворителей и побочной продукции.

Для анализа качества продукции или сырья применяются определенные методики, которые в последующем гарантируют высокие показатели качества. Основными показателями качества моторных масел являются: высокотемпературная (кинетическая) и абсолютная (динамическая) вязкости, индекс вязкости, плотность, наличие водорастворимых щелочей и кислот, температура вспышки и застывания, массовая доля воды и механических примесей, коррозионная стойкость и т.д.[1].

На производстве применяют сразу несколько способов контроля качествадля получения достоверного и точного результата, который в дальнейшем будет использован для прогнозирования развития отрасли, а также модернизации оборудования и технологии.

Особой группой выделяютметоды прикладной статистики, т.к. они широко применяются в различных областях научных исследований, могут быть применены ко всем технологическим процессам. К таким методам можно отнести статистический приемочный контроль, статистическое регулирование технологических процессов и т.д.

Для того чтобы провести анализ лабораторных, органолептических, измерительных и экспериментальных результатов методами статистического контроля, необходимо остановиться на одном из «семи инструментов».В состав «семи инструментов» входят: диаграмма Парето, причинно-следственная диаграмма, контрольные карты, гистограммы, метод расслоения, графики, диаграмма разброса [2].

Для примера контроля качества масла, полученного на установке селективной очистки будем использовать диаграмму Парето по результатам деятельности.Примем, что в течение месяца на установке получено 430 тонн некачественного нефтяного масла, которое считается браком, так как не соответствует требованиям ГОСТа.Задача анализа – выявить основные и самые значимые отклонения в качестве смазочного масла.

Проводится регистрация данных с перечнем видов собираемой информации, которые вносятся в контрольный лист (таблица 1).

Таблица 1 – Данные по браку моторных масел

№ п/п	Вид брака	Количество некачественных тонн
1	Индекс вязкости	105
2	Щелочное число	13
3	Массовая доля воды	10
4	Температура застывания	37
5	Плотность при 20°С	56
6	Вязкость кинематическая	200
7	Прочие	9
	Итого	430

Проведя анализ результатов наблюдений, можно выявить наиболее часто встречающиеся причины выбраковывания, которые заносятсяв бланк (таблица 2). В нем данные расположены в порядке убывания значимости.

Таблица 2 – Бланк для анализа

№ п/п	Вид брака	Кол-во брака, т	Накопленная сумма, т	Процент числа тонн по каждому признаку, %	Накопленный процент, %
1	Вязкость кинематическая	200	200	46,5	46,5
2	Индекс вязкости	105	305	24,4	70,9
3	Плотность при 20°С	56	361	13	83,9
4	Температура застывания	37	398	8,6	92,5
5	Щелочное число	13	411	3,1	95,6
6	Массовая доля воды	10	421	2,3	97,9
7	Прочие причины	9	430	2,1	100,0
	Итого	430	-	100,0	-

По полученным данным строится диаграмма Парето и кумулятивная кривая Лоренца (рисунок 1) [3].

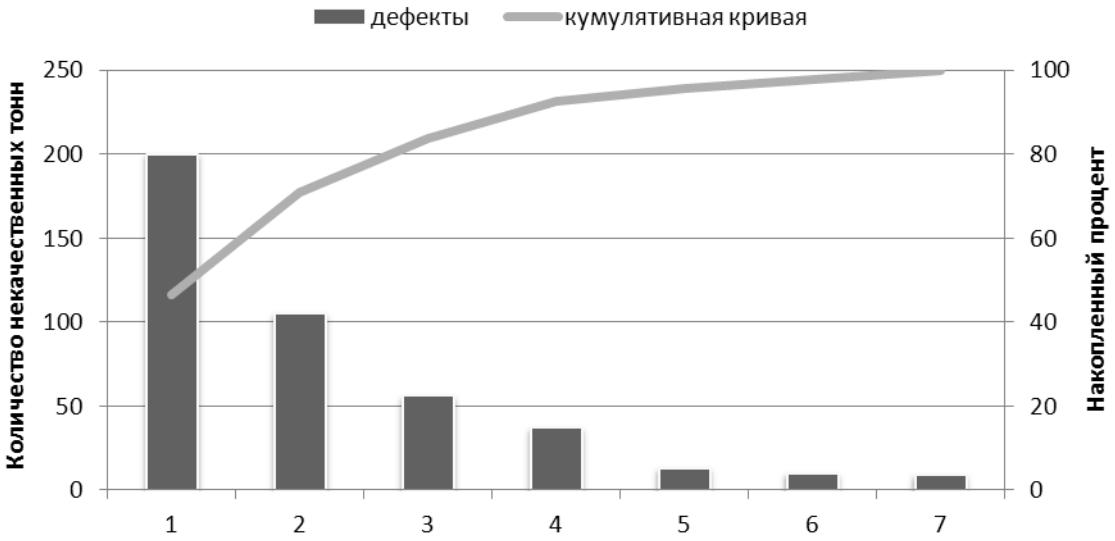


Рисунок 1 – Диаграмма Парето и кумулятивная кривая

Из таблицы 2 и рисунка 1 можно сделать вывод, что наибольшие потери связаны с несоответствием качества согласно ГОСТ таких параметров, как вязкость кинетическая и индекс вязкости. Суммарная доля этих двух видов дефектов составляет 70,9%. Поэтому необходимо, в первую очередь, изучить причины появления именно этих дефектов и предложить мероприятия по их устранению. Что касается других видов дефектов, то их доля в процентном отношении весьма незначительна, поэтому в настоящее время нет необходимости тратить средства на поиски и устранение причин их появления.Для анализа причин появления брака можно рекомендовать использовать причинно-следственные диаграммы (диаграммы Исикавы). Данная работа доказывает, что диаграмма Парето является эффективным и надежным способом статистического контроля качества на любом производстве, включая производство моторного масла.

Литература:

1. ГОСТ 10541-78 Масла моторные универсальные и для автомобильных карбюраторных двигателей. – Введ. 1980-01-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 7 с.

2. ГОСТ Р 50779.11-2000 Статистические методы. Статистическое управление качеством. Термины и определения. – Введ. 2001-07-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 23 с.
3. Вуколов, Э. А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов Statistica и Excel. – М.: Форум, 2010. – 464 с.
4. Танатаров М.А., Ахметшина М.Н., Фасхутдинов Р.А. и др. Технологические расчеты установок переработки нефти: Учебное пособие для вузов. – М.: Химия, 2002. – 352 с.

Я.Н. Рогозовец, студ.; рук. Г.В. Короткова, канд. биол. наук
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ«МЭИ» в г. Смоленске, г. Смоленск)

ОДНОКРАТНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СМЕСИ ФЕНОЛОМ НА УСТАНОВКЕ СЕЛЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ МАСЛЯНЫХ ДИСТИЛЛЯТОВ

Нефтепереработка нацелена на производство товарных продуктов различной направленности и включает в себя множество процессов, одним из которых является процесс селективной очистки масляных дистиллятов растворителем. Процесс очистки широкой масляной фракции, получаемой на установке атмосферно-ваакумной трубчатки (АВТ), базируется на экстракции. Суть экстракции состоит в том, что из сырья избирательно удаляются соединения, содержание которых противоречит требованиям ГОСТа. К таким веществам относятся смолисто-асфальтеновые вещества, полициклические ароматические углеводороды, высокомолекулярные парафиновые соединения, серо- и азотосодержащие гетероорганические соединения и коксогенные вещества.

Селективная очистка нефтяных масляных фракций повышает эксплуатационные качества, улучшая вязкостно-температурные свойства, коррозионную стойкость готового продукта, контролирует содержание водорастворимых кислот и щелочей, снижает его коксуемость [1].

Селективная очистка позволяет перевести желательные компоненты масла в рафинатный раствор, тем самым отделив их от примесей, которые переходят в состав экстракта. Рафинатный раствор имеет менее интенсивную окраску, меньшую плотность, кислотность и коксуемость по сравнению с исходным сырьем. Рафинат – основа для получения минеральных масел, может быть направлен на установку депарафинизации для улучшения низкотемпературных свойств готового продукта или на компаундирование для ввода присадок различного функционального назначения. Экстрактный раствор, содержащий извлеченные нежелательные смолистые и ароматические соединения, может быть использован для производства битума, нефтяного кокса, каучука и как компонент котельного топлива.

Важными технологическими параметрами процесса селективной очистки, влияющими на качество базового масла, являются: вид и кратность растворителя; химический состав и качество исходного сырья; желаемая глубина очистки; температурные режимы; эффективность и производительность

экстракционного аппарата; особенности компоновки блоков экстракции и регенерации растворителя.

Основными растворителями на современных установках являются фенол, фурфурол, N-метилпирролидон. Каждый из них имеет свои недостатки и преимущества. Например, фенол наиболее экономически выгоден, так как имеет наименьшую кратность относительно сырья. Но в то же время фенол является достаточно токсичным веществом, поэтому в настоящее время ведутся исследования по поиску более безопасного и экологичного растворителя. Подбирается растворитель в зависимости от углеводородного состава сырья и специфики технологического оборудования.

Качество сырья, пригодного для масляного производства, определяется его фракционным составом и содержанием высокоиндесных компонентов, влияющих на индекс вязкости готового моторного масла. Небольшой диапазон температур выкипания дистиллятных фракций в составе сырья позволяет провести наиболее эффективную селективную очистку.

Подбор температурного режима экстракции осуществляется в зависимости от критической температуры растворения (КТР) масляного дистиллята и растворителя, а также от глубины очистки. Например, при селективной очистке дистиллятного сырья фенолом температурный режим поддерживается в диапазоне 55-75°С.

Эффективность экстракционного аппарата зависит от способа и площади контактирования масляного сырья и растворителя, качества разделения получаемой гетерогенной смеси. Так же зависит от производительности аппарата, его надежности, металлоемкости и т.д.

Компоновка блоков экстракции и регенерации зависит от производительности установки, степени очистки прореагировавшего растворителя и глубины технологического процесса.

Ввиду сложности процесса в настоящее время нет точной формулы, позволяющей рассчитать количественный выход рафинатного раствора в соотношении к сырью. Количественной характеристикой производительности установки по продукту принимают параметр растворимости, расчет которого позволяет определить процентное соотношение получаемых рафината и экстракта на работающей установке.

Рассмотрим однократную экстракцию многокомпонентной смеси фенолом. Фенол относится к группе полярных растворителей, имеющих среднюю растворяющую способность и избирательность. Вследствие влияния силового поля молекул фенола в экстракт переходят нежелательные компоненты. При увеличении кратности соотношения растворителя к дистиллятному сырью, а так же при повышении температуры, наблюдается увеличение растворяющей способности фенола. А при температуре, находящейся в близком диапазоне к критической температуре растворения, из сырья в экстракт выделяются ароматические углеводороды с длинными алкильными цепями.

Рассчитаем однократную экстракцию фенолом многокомпонентной смеси при разделении на три фракции (парафиново-нафтеновая, легкая ароматика и

тяжелая ароматика) масляного сырья, полученного переработкой хадыженской нефти на установке АВТ [2]. Примем обводненность фенола 4% (масс.), температуру 60°С, массовое отношение обводненного фенола к углеводородной фазе 1,6: 1,0.

Таблица 1 – Состав и качество масляного сырья

Показатели	Фракция 1	Фракция 2	Фракция 3
Выход фракций, % (масс.)	50,18	14,55	35,27
Молекулярная масса	441,18	409,00	366,10
Плотность при 20°С, $кг/м^3$	859,5	926,0	994,7
Показатель преломления при 20°С	1,4721	1,5150	1,5700
Содержание серы, % (масс.)	0,403	1,370	2,749
Температура плавления, °С	40,3	20,0	9,8
Вязкость кинематическая при 100°С, $мм^2/с$	4,861	8,792	18,618

Параметры растворимости для каждой фракции на основании данных таблицы 1 рассчитываются по формуле [2]:

$$\sigma_p = \left(\Delta_{1p} \cdot x''_p + \Delta_{2p} \cdot x''_к + \Delta_{3p} - \Delta_{4к}\right)^{0,5},$$

где $\Delta_{1p}, \Delta_{2p}, \Delta_{3p}, \Delta_{4к}$ – параметрические составляющие, $x''_p, x''_к$ – долевое содержание растворителя (обводненного фенола) и компонента (каждой отдельной фракции).

Далее определяется перераспределение компонентов между фазами, ведется пересчет мольных объемных концентраций в массовые.

Расчеты показали, что парафино-нафтеновая фракция ограниченно растворяется в полярном растворителе, растворимость фракции легкой ароматики вдвое выше растворимости первой, более половины фракции тяжелой ароматики переходит в состав фенольной фазы.

По результатам расчета фазовых переходов составим материальный баланс разделения (таблица 2).

Таблица 2 – Материальный баланс разделения

Фракция	Экстракт, % (масс.)	Рафинат, % (масс.)
Фракция 1	14,228	35,952
Фракция 2	5,311	8,239
Фракция 3	23,838	11,432
Сумма	44,377	55,623

Расчет однократной экстракции фенолом показал, что при разделении масляного дистиллята хадыженской нефти на установке селективной очистки выход рафинатного раствора составляет порядка 56%, а экстрактного раствора 44%, что указывает на высокую селективность и эффективность процесса очистки.

Использование данной методики расчета помогает на этапе прогнозирования производства, при использовании сырья с нового месторождения, так как фракционный и углеводородный состав будут иметь отличия, что повлияет на материальный баланс разделений, а так же при изменении рода и кратности растворителя.

Литература:
1. ГОСТ 10541-78 Масла моторные универсальные и для автомобильных карбюраторных двигателей. – Введ. 1980-01-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 7 с.
2. Танатаров М.А., Ахметшина М.Н., Фасхутдинов Р.А. и др. Технологические расчеты установок переработки нефти: Учебное пособие для вузов. – М.: Химия, 2002. – 352 с.

К.В. Сасковец, асп.; М.В. Лебедев студ; рук. А.В. Капитонов, канд. техн. наук, доц.
(ГУВПО «Белорусско-Российский университет» г. Могилев, Беларусь)

УМЕНЬШЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЕРЕДАЧАХ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ И УВЕЛИЧЕНИЕ ПЕРЕДАВАЕМЫХ МОМЕНТОВ

Объектами исследований являются планетарные передачи с промежуточными телами качения [1]. Преимущества этих передач заключаются в их небольших габаритах и массе, соосности валов, невысокой стоимости. Эти передачи можно проектировать с большим рабочим диапазоном передаточных отношений от 3 до 10000. Они могут быть использованы в мехатронных устройствах, приводах промышленных роботов, автоматизированном производстве, в механизмах с узлами точной механики к которым предъявляются высокие требования в отношении кинематической точности.

В этих передачах большие контактные напряжения образуются в месте сопряжения двух тел в тех случаях, когда размеры площадки сопряжения малы по сравнению с размерами самих тел. Для исследуемой передачи [1] контакт происходит между плоской поверхностью многопериодной дорожки и шаром-сателлитом (рисунок 1). Если контактные напряжения превышают величину допускаемого напряжения, то на поверхности деталей появляются дефекты в виде борозд, трещин, вмятин или мелких раковин.

Рисунок 1 – Контакт шара с плоской поверхностью многопериодной дорожки

При прохождении зоны контакта элементы поверхностного слоя ведущего звена (шара-сателлита) 1 переходят из состояния сжатия в состояние растяжения, а ведомого звена (многопериодная дорожка) 2 наоборот — из состояния

растяжения в состояние сжатия (рисунок 2), что приводит к упругому скольжению сопрягающихся поверхностей. Поверхность (многопериодная дорожка) имеет меньшую окружную скорость, чем ведущее звено (шар-сателлит). Как известно рабочая поверхность, по которой точка контакта перемещается с большей скоростью, является опережающей, а сопряженная поверхность – отстающей [2]. Сопротивление усталостному изнашиванию и нагрузочная способность у опережающей поверхности (шара-сателлита) будет выше, чем у многопериодной дорожки, имеющей точечный контакт, поэтому необходимо увеличивать площадь контакта многопериодной дорожки с шарами-сателлитами. Увеличение площади контакта позволит повысить ресурс передачи, а также увеличить передаваемые моменты.

Многопериодная дорожка с увеличенной площадью контакта, представляет собой траекторию движения сателлита, вычитаемую из тела кольца (рисунок 2). Она имеет большее пятно контакта и, являясь ведомым звеном, имеет большее сопротивление усталостному изнашиванию и может передавать большие крутящие моменты. Сопряжение шара-сателлита и многопериодной дорожки с большей площадью контакта представлено на рисунке 3.

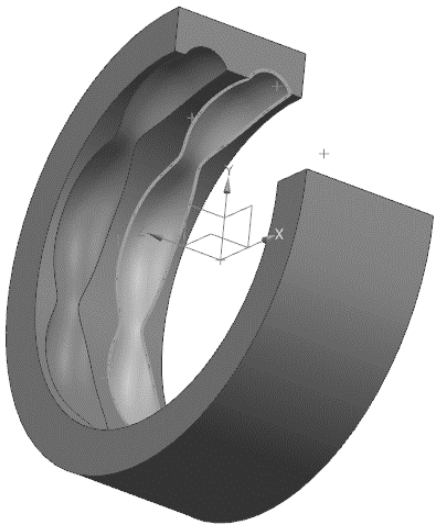


Рисунок 2 -Многопериодная дорожка с увеличенной площадью контакта

Измененный профиль дорожки на всем своем протяжении имеет переменное сечение, тем самым сателлит испытывает разное трение, что может неблагоприятно влиять на выходные характеристики передачи. Для оценки плавности работы передачи с измененным профилем многопериодной дорожки (рисунок 2) и проверки влияния переменного трения на колебания угловой скорости, была проведена симуляция работы передачи с исходным профилем и измененным в среде Siemens NX Motion simulation (при симуляции предусмотрен ввод параметров, характеризующих материал, жесткость, демпфирование). Графики угловых скоростей приведены на рисунках 4 и 5 соответственно.

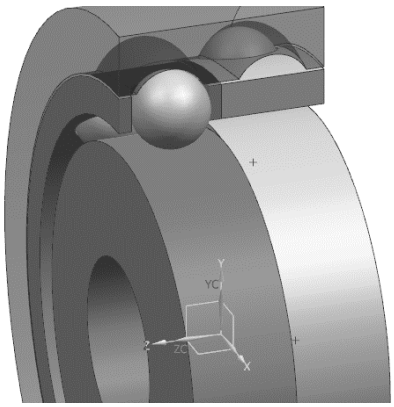


Рисунок 3 – Сопряжение шара-сателлита и многопериодной дорожки с большей площадью контакта

Из графика (рисунок 5) видно, что амплитуда колебаний угловой скорости передачи с измененным профилем дорожки значительно уменьшилась по сравнению с амплитудой колебаний угловой скорости передачи с исходным профилем (рисунок 4). Большая площадь контакта в зацеплении улучшает выходные характеристики, увеличивает передаваемые крутящие моменты, при этом влияние деформаций снижается, повышается плавность работы и нагрузочная способность передачи.

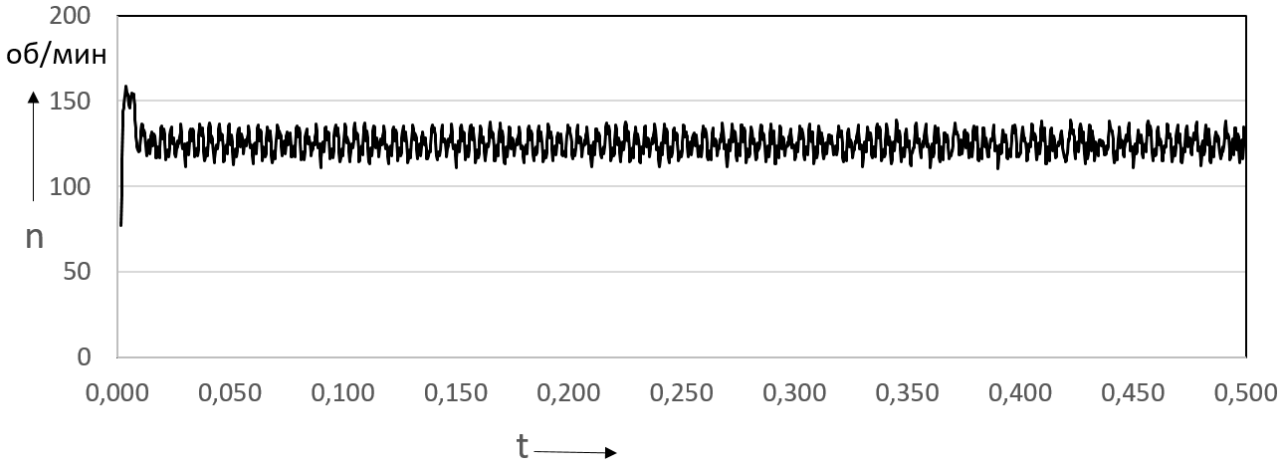


Рисунок 4 – График угловой скорости исходного профиля многопериодной дорожки

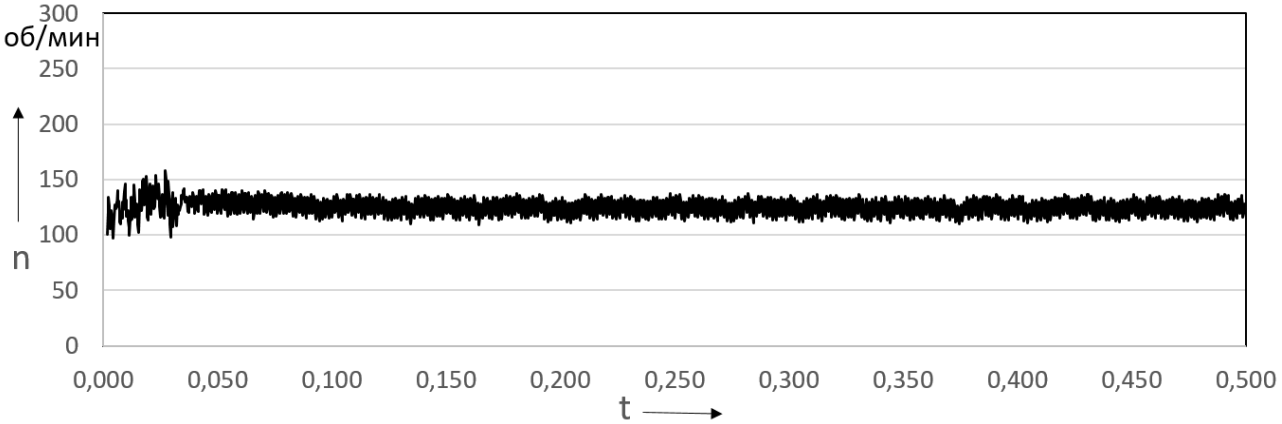


Рисунок 5 – График угловой скорости измененного профиля многопериодной дорожки

Литература
1 Капитонов, А. В. Компьютерное 3D-моделирование конструкций и кинематических параметров планетарных малогабаритных передач / А. В. Капитонов, К. В. Сасковец, А. И. Касьянов // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. – 2016. – № 11. С. 34-40.
2 Эрдеди А.А. Детали машин: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / А. А. Эрдеди, Н. А. Эрдеди. – 5-е изд., стер. — Москва: Издательский центр «Академия», 2012. – 288 с.

Е.Т. Семкович, студ.; рук. Л.В. Фомченкова, д.э.н., проф.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОПТИМИЗАЦИЯ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ ВЫБОРА ВЗАИМНО НЕ ДОМИНИРУЕМЫХ АЛЬТЕРНАТИВ

Вторичная доставка нефтепродуктов с нефтебазы до АЗС обычно осуществляется с использованием собственного автомобильного парка заправочной станции. Она должна быть тщательно спланирована отделом логистики, кроме того необходимо организовать контроль движения бензовозов по всему маршруту транспортировки. В настоящее время в сфере логистики АЗС складывается неблагоприятная ситуация. С одной стороны отсутствует централизованное управление автотранспортом, что приводит к повышению затрат на доставку, а с другой стороны, небольшие организации, реализующие нефтепродукты, зачастую не имеют общей системы оперативного учета и контроля. Результатом является неэффективное использование транспортных средств АЗС при перевозке нефтепродуктов и высокая стоимость их доставки. По данным Росстата [1], начиная с 2010 года, наблюдается постоянный рост цен на бензин (рисунок 1). По мнению экспертов, в 2019 году за 1 литр топлива придётся заплатить на 3 или 4 руб. дороже, чем сейчас. Именно поэтому, актуальной становится задача оптимизации процесса перевозки нефтепродуктов до АЗС.

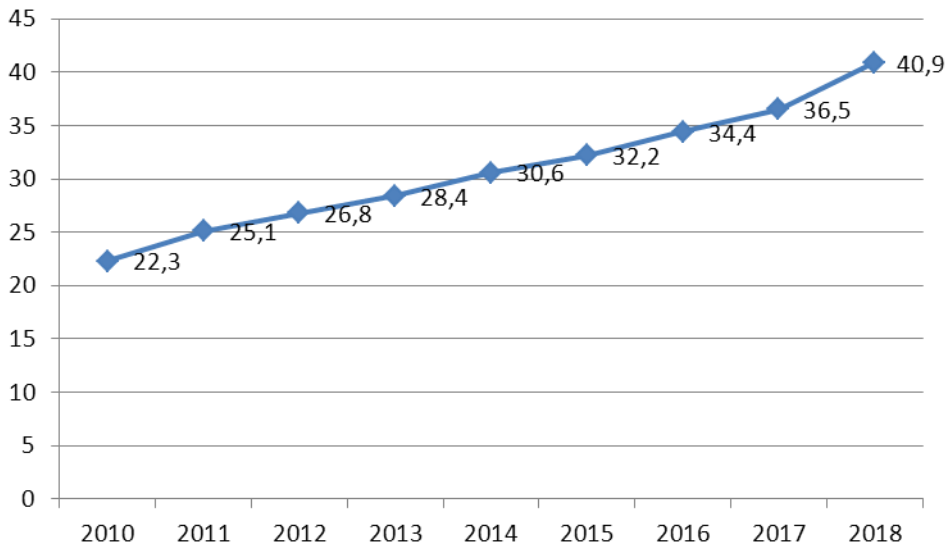


Рисунок 1 – Рост цен на бензин АИ-92 в 2010 – 2018 гг., руб.

Данную проблему исследователи предлагают решать с помощью различных организационно-технических методов, предполагающих реорганизацию автопарка или изменение конфигурации сети АЗС [2], или экономических способов на основе усредненных данных. Однако на практике перечисленные решения не показали заявленной эффективности. Организационно-технические методы являются наиболее затратными и наименее экономически выгодными для АЗС, так как требуют больших финансовых вложений для реорганизации и привлечения большого числа специалистов. Более результативными считаются экономические способыорганизации цепей поставок АЗС, однако методика принятия решения на основе усредненных данных [3] учитывает только количественные показатели, но не позволяет учесть качественные. На основании вышеизложенного возникает актуальная научная задача разработки методики оптимизации цепей поставок нефтепродуктов на АЗС.

В рамках данного исследования АЗС рассматривается как сложная экономическая система, функционирование которой характеризуется как количественными, так и качественными, вероятностными параметрами. Так как в данном случае существует небольшое число альтернатив при принятии решения об оптимальной конфигурации сети, то целесообразно использование методов, основанных на парном сравнении – анализ иерархий (МАИ) и метод ELECTRE [4]. Качественные и количественные критерии, которые обязательно должны учитываться в процессе доставки нефтепродуктов на АЗС, а также при дальнейшей реализации их оптовым потребителям, представлены в таблице 1.Выбор оптимального способа доставки осуществляется путем сравнения альтернатив по данным критериям.

Таблица 1 – Критерии, учитываемые при выборе варианта доставки нефтепродуктов

Тип критерия	Описание	Пример
Количественный	Количество бензовозов АЗС	10 бензовозов в три смены
Количественный	Общий объем резервуара бензовоза	340 м^3
Количественный	Коэффициент выхода на линию	0,67
Количественный	Плечо доставки	80 км
Количественный	Среднесуточная потребность в нефтепродуктах	274 т
Качественный	Соответствие бензовозов техническим требованиям	Отсутствуют лестницы, поручни и площадки для безопасного доступа к верхним люкам
Качественный	Наличие непроизводительных простоев водителей	Простои при оформлении документов

Оптимизацию процесса диспетчеризации на АЗС предлагается проводить при помощи метода ELECTRE, который позволяет осуществить переход от количественных показателей к качественным, с помощью разбиения множества

возможных значений на классы с присвоением каждому из них качественной характеристики.

Реализация данного метода представляет собой процесс, состоящий из 5 этапов (рисунок 2).

Этап 1. Для каждого из выбранных критериев лицо, принимающее решения (диспетчер АЗС), определяет положительный вес каждого критерия (W1,W2…Wn).

Этап 2. Множество всех выбранных критериев разбивается на три группы для каждой пары альтернатив i и j. В первую группу входят все критерии, для которых альтернатива j лучше альтернативы k. Во вторую группу включаются все критерии, при которых альтернатива j хуже альтернативы k, а в третью те, по которым данные альтернативы эквивалентны.

Этап 3. Степень превосходства одной альтернативы над другой (индекс согласия) вычисляется по формуле (1):

$$c_{jk} = \frac{\sum_{i \in I jk+} Wi + \alpha \sum_{i \in I jk0} Wi}{\sum_{i=1}^{m} W1}, \qquad (1)$$

где α – параметр, который зависит от модификации метода.

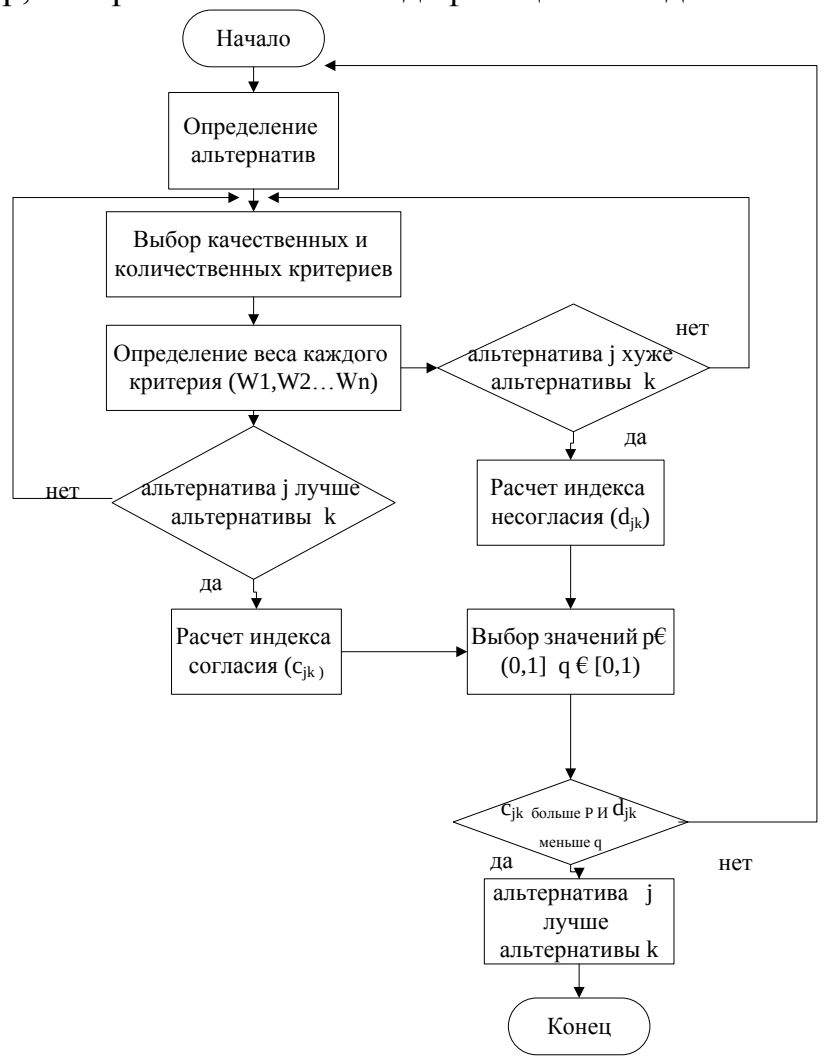


Рисунок 2 – Методика выбора взаимно не доминируемых альтернатив

Этап 4. Степень несогласия того, что одна альтернатива превосходит другую (индекс несогласия) определяется по формуле (2):

$$d_{jk}= \frac{1}{100}*\max \{\mu^{i}_{kj}\}, \qquad (2)$$

где μ^{i}_{kj}- интервал превосходства альтернативы k над альтернативой спо критерию i, который определяет число последовательных переходов из класса в класс, необходимое для того, чтобы каждая j-я альтернатива, стала эквивалента k-й по критерию i, умноженное на цену одного перехода.

Этап 5. Строится решающее правило. Лицо, принимающее решения, выбирает значения p€ (0,1] q € [0,1), строится бинарное соотношение вида: альтернатива j считается лучше альтернативы k, тогда и только тогда, когда $c_{jk} \geq p$, $d_{jk} \leq q$.

Таким образом, при использовании данного метода, происходит сокращение числа возможных альтернатив вторичной доставки нефтепродуктов и выбор оптимального решения из числа оставшихся взаимно не доминируемых альтернатив. Процесс программной реализации данного метода является достаточно трудоемким и требует проведения дальнейших исследований.

Литература

1. Об объеме производства нефтепродуктов и потребительских ценах на них [Электронный ресурс] // Федеральная служба Государственной статистики URL: http://www.gks.ru/bgd/free/B04_03/IssWWW.exe/Stg/d01/25.htm (дата обращения 09.01.19).

2.Смирнова А. В. Особенности развития перевозки нефти и нефтепродуктов различными видами транспорта // Вестник Казанского технологического университета. 2015. №8. С. 23-24.

3. Демержиба А. А. Оптимизация цепей поставок потребительского рынка региона на основе совершенствования системы управления запасами // ИВД. 2013. №2 (25). С. 56 -57.

4. Сучкова Е. А. Решение многокритериальной задачи оптимизации для осуществления процесса принятия решений // Управление, вычислительная техника и информатика. 2016. С. 61-62.

А.И. Сидорова, маг.; рук. М.Г. Куликова, к.т.н., доц., к.т.н., доц. М.В .Беляков
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЭКТРАКЦИИ КЕДРОВОГО ОРЕХА ВОДНО-СПИРТОВОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Анализ литературных данных показал, что основу большинства важнейших производств в пищевой, медицинской, химической, микробиологической, косметической, нефтехимической промышленности составляют процессы экстракции. В связи с увеличением темпов производства и требований к получаемым продуктам необходимо изучать процессы экстракции с помощью современных подходов. Существующие способы получения экстрактов из растительного сырья не позволяют в полной мере извлекать экстрактивные вещества, являются трудоемкими, длительными и энергозатратными.

Для увеличения эффективности процесса экстракции необходимо внедрение новых интенсивных методов экстракции, оптимизация режимов.

В основе внедрения методов интенсификации экстракции лежат принципы:

– увеличение выхода экстрагируемых веществ;
– сокращение времени экстракции;
– ресурсосбережение.

Эффективность экстракции может быть увеличена за счет влияния новых интенсивных физических методов, таких как: наложение электрических полей и разрядные технологии, ультразвук, СВЧ нагрев, воздействие вакуума.

Представленные методы создают уникальные преимущества для процесса извлечения в определенных условиях. При использовании новых методов экстракции меняется механизм и кинетика процесса, что является основой для моделирования и оптимизации процесса.

Существуют основные методы интенсификации процесса экстракции:

– электрофизические методы;
– ультразвуковая обработка;
– СВЧ-обработка;
– вакуумная экстракция.

1. Электрофизические методы

Кинетика процесса массопереноса может быть интенсифицирована с применением электрофизических методов в процессе экстракции, а также во время предварительной подготовки материала к процессу экстракции.

Существует два типа электрофизических воздействий: электроразрядная технология в жидкости (ЭР) и обработка импульсным электрическим полем (ИЭП) [1]. Механизм воздействия двух данных методов различен и требует различных типов электродов и применяемого вида напряжения. Как показано на рисунке 1, для метода ЭР обработки необходим генератор высокого напряжения и электрод формы иглы для образования электроразрядной дуги (рисунок 1а), в то время как обработка методом ИЭП требует двух параллельных пластинчатых электрода для возникновения напряженности электрического поля между ними (рисунок 1б).

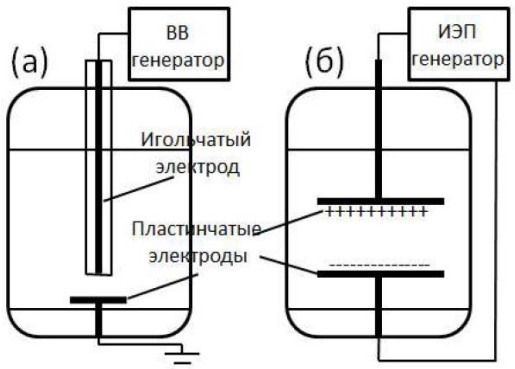


Рисунок 1 – Схематичное представление интенсификации процесса экстракции с применением электроразрядной обработки (а) и с применением воздействия импульсного электрического поля (б)

Эффективность ЭР обработки зависит от электрического разряда, возникающего между электродами, с применением высокого напряжения [1]. Данный метод вводит энергию непосредственно в экстрагируемую твердую смесь через плазменный канал, который был сформирован электроразрядным высоким напряжением, произведенным между двумя погруженными в среду электродами. Электрический разряд создает ударные волны высокого давления, а также кавитацию пузырей, которые приводят к повреждению структуры клетки [1]. Следовательно, лучшее проникновение растворителя в твердую частицу увеличивает скорость массопереноса.

Обработка импульсным электрическим полем – это бережная, безтемпературная обработка пищевого продукта, полученная в результате энергоэффективного, качественного технологического процесса. Данный метод основан на воздействии импульсного электрического поля на материал, расположенный между двумя пластинчатыми электродами, приводящий к образованию пор на поверхности мембран клеток, что в свою очередь приводит к более быстрому и легкому извлечению внутриклеточных компонентов из структуры растительного материала.

2. Ультразвуковая обработка

Под действием ультразвуковых колебаний происходит более быстрое и активное разрушение внутриклеточных тканей растительного сырья, что приводит к интенсификации процесса экстракции и дает возможность увеличить содержание биологически активных соединений в растворе. УЗ-обработка снижает сопротивление пограничных слоев на поверхности материала при экстракции и приводит к ускорению процесса массопереноса [3]. В дополнении ко всему, получаемый эффект образования и лопания пузырей неоднократно сжимает и разжимает материал, образуя известный «эффект губки» [2], создавая микроканалы в образце, что приводит к улучшению проникновения растворителя и обеспечивает большую площадь взаимодействия, для процесса массопереноса [2]. Другой эффект ультразвука приписан его термо-акустическому влиянию, которое также оказывает влияние на уменьшение сопротивления массопереноса из-за процесса нагревания.

3. СВЧ-обработка

В данном методе экстракции происходит тепловое воздействие на обрабатываемый материал, за счет проникновения СВЧ-излучения в структуру материала, где происходит взаимодействие излучения с полярными молекулами посредством ионной проводимости и дипольного вращения [3], сопровождающихся выработкой тепла [3].

Обработка СВЧ позволяет увеличить выход экстракции и сократить время экстракции в различных процессах массопереноса. Кроме того, СВЧ обработка может значительно увеличить скорость смыва свободного масла из вскрытых клеток на начальном этапе экстракции.

4. Вакуумная экстракция

Целевые компоненты из растительного сырья извлекаются под вакуумом методом испарения непосредственно из высококонцентрированной пленки, образуемой в процессе экстракции на наружной поверхности частиц сырья, не допуская перехода основной части целевых компонентов в рабочий объем растворителя [5].

На скорость и полноту высвобождения биологически активных веществ при переработке растительного сырья методом вакуумной экстракции влияют такие факторы, как [1]:

- стандартность растительного материала;
- строение используемого растительного сырья;
- степень измельчения;
- тип экстрагента;
- соотношение «сырье - экстрагент»;
- температурный режим;
- глубина вакуума;
- продолжительность экстрагирования;
- гидродинамические условия.

В процессе работы для опытного эксперимента была взята технология СВЧ-обработки спиртового настоя кедрового ореха.

Выбор данного способа интенсификации объясняется следующим:

– за счет подвода СВЧ-энергии к молекулам этилового спирта, который является несовершенным диэлектриком, происходит колебательное движение молекул в СВЧ поле, что способствует проникновению спирта в поры ореха и диффузии экстрактивных веществ в раствор [6];

– за счет колебательного движения молекул спирта выделяется тепловая энергия, то есть раствор нагревается, что также увеличивает скорость извлечения экстрактивных веществ;

– возможно подобрать оптимальную мощность источника СВЧ-излучения без перегрева раствора.

В ходе работы было проведено исследования влияние СВЧ-излучения на скорость и полноту экстракции кедрового ореха водно-спиртовой жидкостью, и определены оптимальные параметры СВЧ-излучения.

Объектом исследования являются образцы настоев.

В качестве образцов принимаем следующие настои: образец 1 – без применения СВЧ-излучения; образец 2 – СВЧ-излучение в течение 1 минуты; образец 3 – СВЧ-излучение в течение 3 минут.

Параметры СВЧ-излучения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Оптимальные условия СВЧ-экстракции кедрового ореха

Параметр	Значение
Расход электроэнергии, кВт·ч/кг	0,4 – 0,45
Размер частиц, мм	0,9

Гидромодуль, дм^3/кг	10
Мощность СВЧ-излучения, Вт	700
Содержание спирта в экстрагенте, %	50

Все образцы готовились и исследовались одновременно, при одинаковых условиях.

Качество полученных настоев проверяли спектральными методами исследования, с помощью спектрофотометра «Спекол-210».

«Спекол 210» производит измерение коэффициента светопропускания на диапазоне 380-770 нм для каждой длины волны с установленным интервалом.

Спектрофотометр представляет результаты измерений (коэффициент светопропускания) в процентах. На рисунке 2 представлена зависимость коэффициента светопропускания от продолжительности экстракции.

Из графика видно, что в течение 14 суток коэффициент светопропускания увеличивается. В последующие 16 суток коэффициент светопропускания практически не меняется. Из чего можно сделать вывод, что в условиях СВЧ-обработки настаивание можно производить в течение не 30 суток, а 14.

Образец 3, который подвергался обработке СВЧ-излучением в течение 3 минут,имеет самый низкий коэфициент светопропускания, и соответственно является самым темным. Это свидетельствует о том, что в данном образце максимальный выход экстарктивных, окрашивающих веществ.

Исследование зависимости коэффициента светопропускания от времени настаивания показало, что концентрация веществ в процессе настаивания увеличивается. График, соответствующий образцу 3, имеет наименьший коэффициент светопропускания. Следовательно, данный образец является самым темным. Соответственно в образце 3 процесс экстракции идет интенсивнее, и обеспечивается более полный выход экстрактивных веществ.

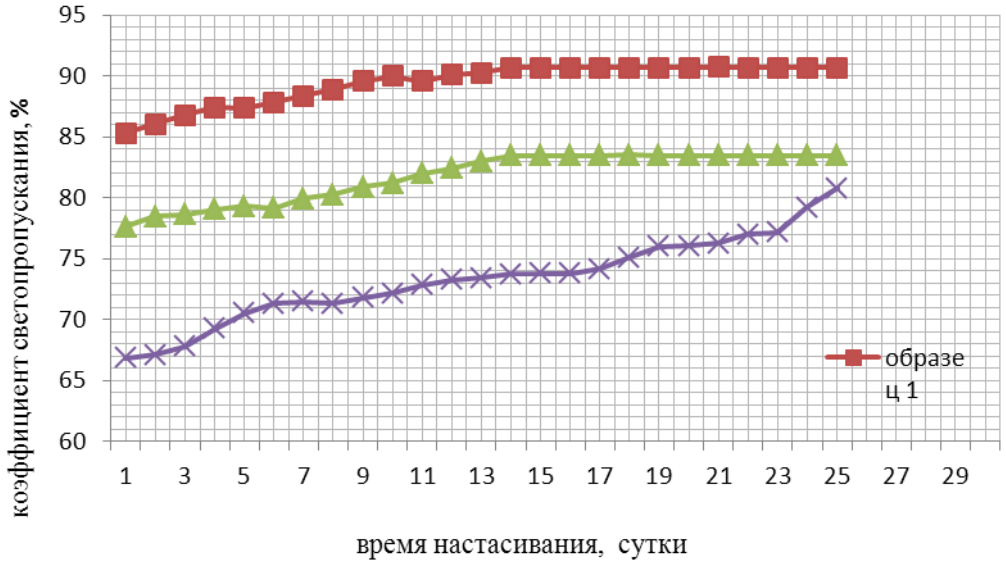


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента светопропускания от времени настаивания

Использование СВЧ-излучения для интенсификации процесса экстракции кедровых орехов позволит значительно сократить время процесса, и увеличить выход полезных веществ из ореха. При этом данный способ позволяет сохранить безопасность полученных экстрактов. Экстракции с использованием СВЧ-излучения позволяет сократить время процесса до 14 суток, значительно уменьшить энергозатраты, увеличить выход экстрактивных веществ. Рассчитанная мощность источника СВЧ-излучения позволяет обеспечить невысокую температуру раствора (не более 40°С). Невысокая температура позволяет сохранить максимум полезных веществ из ореха, а так же не допускает сильного увеличения объема водно-спиртовой жидкости.

Список литературы

1) Букеева, А. Б. Обзор современных методов выделения биоактивных веществ из растений/А.Б.Букеева, С.Ж.Кудайбергенова // ВестникЕНУ им.Л.Н. Гумилева. – 2012. - № 2. - С.192-197.
2) Хмелев, В. Н., Сливин, А. Н., Барсуков, Р. В., Цыганок, С. Н., Шалунов, А. В. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности /; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. –203с.
3) Георгиеш, Е.В. Интенсификация процесса тепломассопереноса при экстрагировании биологически активных веществ из растительных материалов в условиях действия микроволнового поля: дис. канд. техн. наук: 05.14.06 / Георгиеш Екатерина Викторовна. - О., 2015. - 185с.
4) Жматова, Г. В., Нефёдов, А. Н., Гордеев, А. С., Килимник, А. Б. Методы интенсификации технологических процессов экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья // Вестник ТГТУ. - 2005. - Т11. №3.
5) Сидорова А.И. Инновационный подход к проектированию пищевых продуктов / Сидорова А.И., Куликова М.Г. // Естественные и технические науки.-2017.-№ 5 (107). С. 157-158.
6) Новикова М.А. Определение оптических спектральных свойств как метод оценки качества растительной продукции / Куликова М.Г., Беляков М.В., Новикова М.А. // Сборник: ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ-2016 международная научно-техническая конференция: в 3 томах. Национальный исследовательский университет "МЭИ", филиал в г. Смоленске. 2016. С. 107-112.
7) Новикова М.А. Разработка фотолюминесцентного метода определения влажности продукции растениеводства / Беляков М.В., Куликова М.Г., Новикова М.А. // Научная жизнь. 2016. № 10. С. 4-11.

А.И. Тищенко, студ.; рук. Г.В. Короткова, канд. биол. наук
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ«МЭИ» в г. Смоленске, г. Смоленск)

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ГИДРОДЕПАРАФИНИЗАЦИИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА МЕТОДОМ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ

Метод контрольных карт (КК) – это визуализация поведения процесса, с целью отслеживания изменений среднего значения и (или) вариации (стандартного отклонения или размаха) наблюдаемого параметра в режиме реального времени.

Данный метод получил наибольшее распространение при лабораторном контроле технологического процесса, где производится анализ и дается оценка статической управляемости процессов аппарата и производства.

Если контрольная карта сигнализирует, о наличии факторов, повлекших изменения процесса, наблюдатель возвращает технологические параметры в требуемый режим и устраняет нежелательные факторы.

Для наглядности применения данного метода контроля в нефтеперерабатывающем комплексе выбрана система, контролирующая гидродепарафинизацию дизельного топлива, посредством контроля выбранных технологических параметров установки, которые влияют на соответствующие показатели фракций нефтепродукта.

В данной работе использованы предполагаемые данные измерений показателей реальной установки гидродепарафинизации диз. топлива [2]. Расход ЦВСГ (циркулирующий водородсодержащий газ) в реакторе гидродепарафинизации (м³/ч) фиксируется датчиками системы управления. Методика расчета контрольных карт и анализа полученных значений изложена в ГОСТ Р ИСО 7870-2.

Так как для изменения технологических параметров реактора гидродепарафинизации требуется большой промежуток времени, устанавливаем период проведения измерений 12 раз в сутки, объем отбора
n = 1 [1].

Величина отбора = 1 из всех подвидов КК указывает карту типа X-Rm (Individual X –Moving Range) – карта индивидуальных значений (X) и скользящих размахов (Rm)). Данный подвид КК в литературе можно встретить как X-карты, I - карты или карты индивидуальных значений. X-Rm карта представлена двумя графиками:

X – карта графическое изображение значений исследуемого процесса. Устанавливается среднее числовое значение показателя, что позволяет анализировать полученные измерения и обнаружить вышедшие за пределы регулирования размаха среди всех собранных данных.

Rm-карта построена на основе сопоставления двух последовательных значений X (размах). Используя ее, можно отследить отклонения контролируемого процесса от среднего показателя.

Для построения КК процесса гидродепарафинизации дизельного топлива анализируются и выбираются определенные контролируемые показатели процесса в реакторе, с целью установления их допустимых значений. Основными показателями для гидродепарафинизации дизельного топлива являются: давление (МПа), температура (°С), показатели качества фракций нефтепродуктов (плотность (кг/м^3); давление насыщенных паров (кПа); температура вспышки в открытом/закрытом тигле (°С); температура помутнения и застывания (°С).

Для построения контрольных карт по параметрам технологического режима используем один из параметров работы реактора: расход циркулирующего водородсодержащего газа, м³/ч. Эффективность процесса гидродепарафинизации достигается за счет равномерной циркуляции ВСГ по сечению реактора, благодаря которой не нарушается его тепловой режим, происходит четкое разделение компонентов исходной смеси, что напрямую влияет на качество вырабатываемых фракций. Данные по расходу ЦВСГ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Расход циркулирующего ВСГ

№ отбора	Расход ЦВСГ, $м^3$ /ч	Скользящий размах, Rm	№ отбора	Расход ЦВСГ, $м^3$ /ч	Скользящий размах, Rm
1	87 190	-	11	87 230	684
2	86 367	823	12	86 546	684
3	86 755	388	13	86 983	437
4	87 547	792	14	87 032	49
5	87 230	317	15	87 134	102
6	87 128	102	16	87 998	136
7	86 983	145	17	87 230	768
8	87 032	49	18	87 546	684
9	87 134	102	19	87 999	453
10	86 998	136	20	86 988	1011

Контрольные карты индивидуальных значений (X-карты) и карты скользящих размахов (Rm-карты) представлены на рисунках 1, 2.

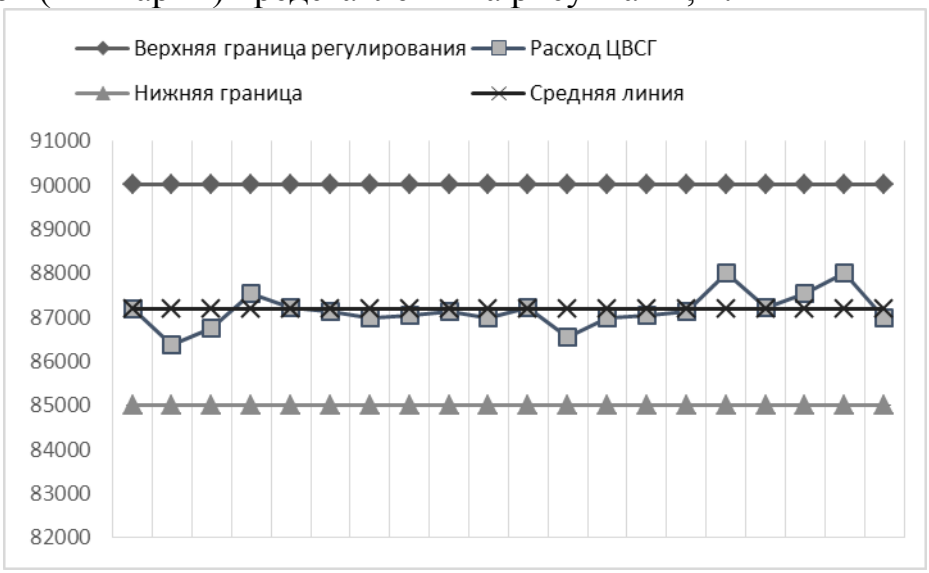


Рисунок 1 – Карта индивидуальных значений (X-карта)

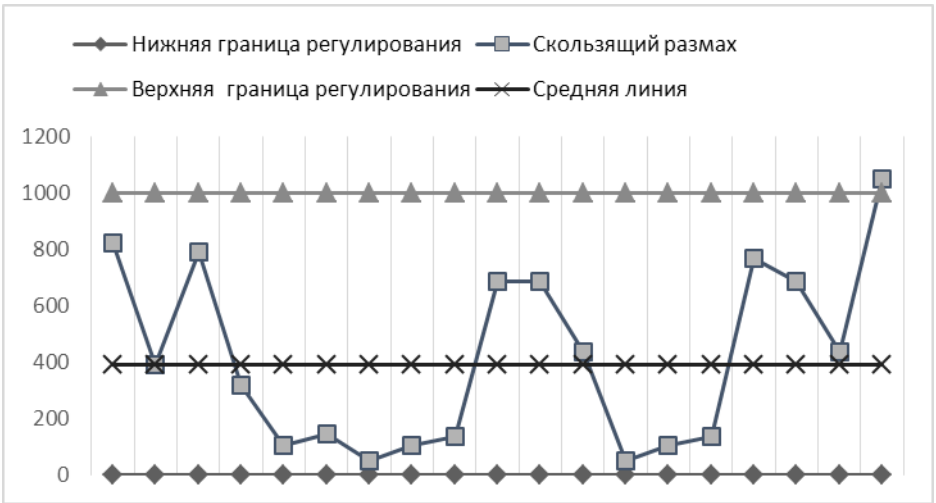


Рисунок 2 – Карта скользящих размахов (Rm-карта)

График – демонстрирует характер протекающего технологического процесса – изменение среднего и размаха определенного параметра, где изображены средняя (центральная) линия (устанавливается на уровне среднего значения 20 – 25 измерений), верхняя UCL и нижняя LCL контрольные границы (устанавливаются, как правило, на уровне +/- 3 стандартных отклонения) [3].

Точки на графике X – это замер расхода ЦВСГ каждые два часа. Как видно из графика 2 в точке 20 процесс вышел из-под контроля (значения Rm выше 1000). Вариация расхода ЦВСГ в двух поочередных замерах указывает на присутствие нежелательного фактора, который должен быть устранен.

Предполагаем, что данный метод по контролю процесса гидродепарафинизации дизельного топлива, графически определяющий его статистическую управляемость, может применяться с использованием многих параметров технологического процесса реактора и показателей получаемых фракций. Выбор параметров процесса и продуктов должен определяться их значимостью для конечного результата производства.

Литература:

1. ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015 Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта. – М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2016. – 46 с.
2. Технологический регламент установки Л-24-10/2000 «Установка гидродепарафинизации смеси атмосферного газойля с бензином висбрекинга». – 2013. – 531 с.
3. Федорович Н.Н., Федорович А.Н., Ляшук Я.В. Совершенствование системы контроля процесса переработки нефти // Фундаментальные исследования. – 2018. – № 7. – С. 29-33;

В.А. Шанин, студ. Л.В. Кончина, к.ф.-м.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦЕНТА ТРЕНИЯ ВЫСОКОАДГЕЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Обработка материалов пищевой промышленности ставит особые задачи перед резательным оборудованием. Высокоадгезивные среды, обладающие значительной вязкостью, довольно трудно поддаются обработке резанием, что связано с их физико-механическими свойствами [1].

Такие виды кондитерских изделий, как мармелад, пастила, рахат-лукум, и другие, подобные им по составу массы, готовятся из сахарного сиропа, связанного желеобразователями в густой твердый гель. Некоторые из изделий покрываются различными присыпками (сахарным песком, пудрой или крахмалом) во избежание ухудшения органолептических свойств продукта во время хранения и для повышения его вкусовых качеств.

Пастила, рахат-лукум, суфле, а также резной мармелад и другие «легкие» сладости, производящиеся в условиях промышленного производства, готовятся в виде широкого пласта материала, поступающего на участок формования поточным конвейером. В большинстве технологических схем, продольное резание

совершается дисковыми циркулярными ножами, расположенными над конвейером. Поперечная резка продукта может осуществляться струнами, подвижным дисковым ножом или гильотинными установками, наиболее часто встречающимися в составе производственных линий [2].

Учитывая важность характеристик взаимодействия материалов при резке пищевых продуктов, было решено провести ряд экспериментов для определения физико-механических свойств различных кондитерских масс.

Одной из наиболее важных силовых составляющих, возникающих при резании высокоадгезивных продуктов, является трение. Высокие значения усилий статического и динамического трения вызывают деформацию и разрушение формы готового продукта.

Решения, применяемые для предотвращения подобных проблем на промышленных предприятиях, заключаются в применении смазок, создании особых условий производственной среды, а также в использовании функциональных покрытий для исполнительных органов резательных машин.

В соответствии с этим, перспективным и актуальным является исследование эффективности применения конструкционных материалов, снижающих влияние адгезии на процесс резания. Одним из численно определяемых параметров является коэффициент статического и динамического трения.

Установка, используемая для экспериментального определения характеристик взаимодействия материалов, состоит из: горизонтальной платформы (4), на которой установлен образец исследуемого материала (5) в виде плоской пластины длиной около 150 мм; неподвижный блок (3), преобразующий вертикальное усилие подъемника (1) в горизонтальное движение салазок с образцом исследуемого материала (6); датчик (2), измеряющий прилагаемое усилие, необходимое для равномерного движения салазок; подъемник, совершающий равномерное движение по вертикальной оси (рис. 1).

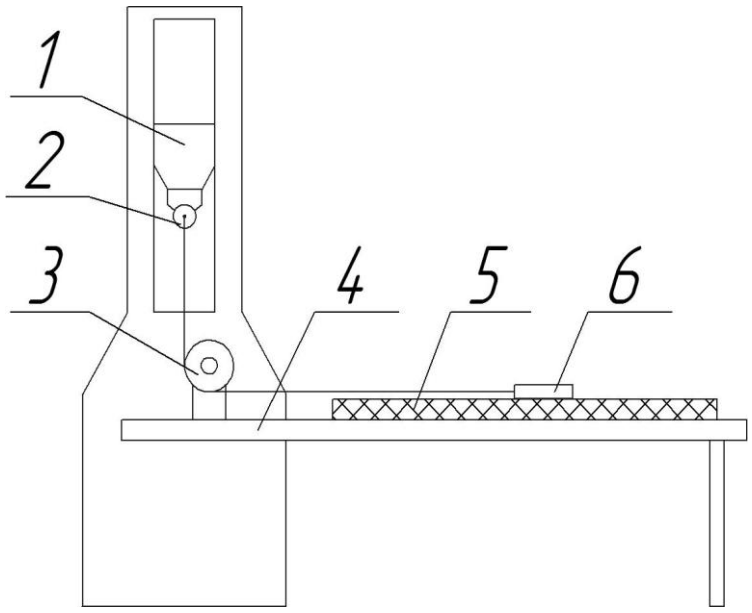


Рис. 1 – Схема установки для определения коэффициента трения.

Эксперимент заключается в том, чтобы выяснить, какое сопротивление создает сила трения при равноускоренном движении образца одного материала по другому. Коэффициент трения рассчитывается как отношение вертикальной нагрузки на подвижный образец к величине минимального усилия, необходимого для страгивания с места и равномерного движения образца [3].

Испытания проводятся следующим образом: пластина испытываемого твердого материала (5) закрепляется на горизонтальной платформе (4). Второй исследуемый материал (как правило, мягкий) плотно помещается в салазки (6), представляющие собой емкость, открытая часть которой прилегает к пластине твердого материала. К нижней части салазок прикрепляется нить, которая через неподвижный блок (3) соединяется с датчиком (2), который показывает усилие, прилагаемое к нити со стороны подъемника (1) установки.

Подъемник двигается равноускоренно, постепенно натягивая нить до того момента, пока салазки не тронутся с места и не начнут скользить по пластине. Датчик определяет усилие, возникающее при начале движения и необходимое для равномерного движения салазок. График зависимости коэффициента трения от пути, пройденного салазками, представляет собой кривую с пиком, характеризующим статический коэффициент трения, и участком, параллельным горизонтальной оси – динамический коэффициент трения. Общий вид графика представлен на рисунке 2.

Рис.2 – График зависимости коэффициента трения от положения салазок.

В ходе эксперимента исследовались два вида распространенных кондитерских изделий: желейный мармелад и яблочная пастила. Подготовка образца мармелада заключалась в том, чтобы удалить сахарную обсыпку и плотно наполнить салазки чистым материалом. С пастилы удалялся наружный зачерствевший слой, и оставшийся пластичный материал также помещался в полость салазок.

Однако, при проведении испытаний было обнаружено, что мармелад, обладая высокими адгезивными свойствами, отслаивается от основной массы ма-

териала. При этом пятно контакта между исследуемыми материалами уменьшается до полной потери сцепления материалов. Из-за чего график зависимости выглядит следующим образом.

Рис. 3 – График зависимости при неудачно поставленном эксперименте.

При проведении того же эксперимента с пастилой возникла проблема отслаивания и выдавливания материала через зазор между салазками и пластиной, из-за чего график зависимости тоже выглядел подобным образом.

Несистемные результаты эксперимента показывают, что при исследовании взаимодействия некоторых кондитерских масс невозможно обойтись без определения адгезионной составляющей. В дальнейшем исследовании планируется провести опыт по определению адгезионного напряжения, возникающего при контакте между вязкими кондитерскими массами и материалами, используемыми при конструировании резательного оборудования и их поверхностной обработки.

Литература.

1. Куликова М.Г., Кончина Л.В. Моделирование технологического оборудования в пищевой промышленности // Естественные и технические науки. 2017. № 5 (107). С. 126-127.
2. Шанин В.А., Кончина Л.В. Исследование режущего инструмента технологического оборудования // Актуальные проблемы современной науки, Москва, 2017 г. – С. 287-289.
3. Заднепровский, Р.П. О коэффициенте трения скольжения тел различного физического состояния / Р.П. Заднепровский // Проблемы машиностроения и надёжности машин. 2006. №6. - С. 60-66.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 4
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ОПТОТЕХНИКА

1. *Аббасов В.О., Образцов С.А. ЛАЗЕРНЫЙ ДАЛЬНОМЕР* 3
2. *Алексанян И.Э., Дорман В.А. АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ: НОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ, НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ* 7
3. *Амелин А.С., Амелин С.А. ПОЛУЧЕНИЕ ВНЕШНЕЙ (НАГРУЗОЧНОЙ) ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ПРОГРАММЕ MICRO-CAP* 10
4. *Амелин А.С., Амелина М.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПО ЕГО НЕПРЕРЫВНОЙ МОДЕЛИ* 14
5. *Антоненков В.И., Базылев К.И., Рыков А.А., Смолин В.А. ПРИМЕНЕНИЕ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ 3D ПРИНТЕРА* 17
6. *Антоненков В.И., Болобин И.А., Дроздецкий С.В. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАЗИТНЫХ ЁМКОСТЕЙ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ С ИЗОЛИРОВАННЫМ ЗАТВОРОМ* 20
7. *Астахова Т.С., Жендарева М.М., Фадеичева П.А., Якименко И.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАЛКОННОЙ ФОТОВОЛЬТАИКИ В БЫТУ* 23
8. *Балыкина У.С., Толков М.А., Царегородцев Е.Л. АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ПОИСКА СКРЫТЫХ ПРОТЕЧЕК В СИСТЕМАХ ПОДАЧИ ОТОПЛЕНИЯ* 26
9. *Баран Т.Л., Строев Н.Н. ПАРАМЕТРЫ АНТЕНН И ИХ УЧЕТ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ РЭА* 29
10. *Богатов К.В., Костенков В.А. ПРИМЕНЕНИЕ PC-ПРИБОРОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН* 33
11. *Болобин И.А., Антоненков В.И., Амелин С.А. ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ИСТОЧНИК НАПРЯЖЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПРОБОЯ МДП-ТРАНЗИСТОРОВ* 36
12. *Бондарев Е.А., Хайрутдинов И.И., Селихов А.В. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ* 39
13. *Гноевой А.С., Иванов Д.Н. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА СШП СИГНАЛОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ* 43
14. *Головачев Е.А., Жбанова В.Л. СХЕМА КОНТРОЛЛЕРА ОТОБРАЖЕНИЯ ТЕРМОМЕТРА* 46
15. *Головачев Е.А., Жбанова В.Л. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СХЕМЫ АДРЕСАЦИИ ДЛЯ СЕМИСЕГМЕНТНЫХ ИНДИКАТОРОВ* 49
16. *Гондоров Д.А., Образцов С.А. РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МИКРОСХЕМЫ 1310НМ025* 52

17. *Демьянова Ю.А., Иванов В.А., Строев Н.Н. МОДУЛЬ КОНТРОЛЛЕРА ЗАРЯДА ДЛЯ СИСТЕМЫ ЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ* 55
18. *Денисов А.О., Беляков М.В. РАСЧЕТ МНОГОСЛОЙНОГО ПРОСВЕТЛЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ИГОЛЬЧАТЫХ ВАРИАЦИЙ* 58
19. *Дымникова А.Г., Беляков М.В. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ СПЕЛОСТИ СЕМЯН* 62
20. *Захаров В.П., Фатов А.В., Сухотин В.В. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОГЕРЕНТНЫХ ПОМЕХ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ МОНОИМПУЛЬСНЫХ ПЕЛЕНГАТОРОВ* 65
21. *Зинченко К.А., Амелин С.А. ОПТИЧЕСКИЕ И ИНДУКТИВНЫЕ ДАТЧИКИ ПОЛОЖЕНИЯ. ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ* 69
22. *Зинченко К.А., Амелин С.А. ДАТЧИКИ ПОЛОЖЕНИЯ. ВИДЫ. ПРИНЦИП РАБОТЫ* 73
23. *Иванов В.А., Демьянова Ю.А., Строев Н.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДУСИЛИТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ АНАЛИЗА ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ* 76
24. *Иванова И.А.,. Клауга В.А, Амелина М.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПУЛЬСОКСИМЕТРА MAX30102 ДЛЯ КАРДИОМОНИТОРИНГА* 79
25. *Иванова И.А., Клауга В.А., Амелина М.А. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ ПРИ ПОМОЩИ АНАЛОГОВОГО ДАТЧИКА ПУЛЬСА PULSESENSOR* 82
26. *Калинушкин Д.О., Амелин С.А. ОЦЕНКА МЕТОДИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАЗИТНЫХ ЕМКОСТЕЙ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ* 85
27. *Капралов А.Д., Беляков М.В., Шумилин А.А. К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА СВЕТОДИОДНОЙ ТРУБЧАТОЙ ЛАМПЫ В ФОТОМЕТРИЧЕСКОМ ШАРЕ* 89
28. *Капралов А.Д., Беляков М.В., Шумилин А.А. ЗАВИСИМОСТЬ ЗНАЧЕНИЙ СВЕТОВОГО ПОТОКА ОТ НАПРАВЛЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ИСТОЧНИКА ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ В ФОТОМЕТРИЧЕСКОМ ШАРЕ* 93
29. *Клямеров К.П., Матыченков Е.В., Рассказа Д.С. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ Г-ОБРАЗНОГО ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА В РАМКАХ ТЕОРИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА* 97
30. *Клямеров К.П., Терехина А.А., Астахов С.П. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТИПА АККУМУЛЯТОРА ДЛЯ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ* 100
31. *Ковалев А.А., Навродский А.В., Клюев А.В. ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ИЗБЫТОЧНОСТИ* 104

32. *Ковалев А.А., Навродский А.В., Клюев А.В. ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ* 108
33. *Кондратович Д.П., Жбанова В.Л. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ* 111
34. *Кондрашова М.Е., Беляков М.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГОКРАТНОЙ СКАРИФИКАЦИИ НА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕМЯН ЛЮЦЕРНЫ* 114
35. *Короткевич Д.В., Образцов С.А. СРЕДСТВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ЗАГРУЗКИ И ОТЛАДКИ КОНФИГУРАЦИИ XILINX FPGA* 117
36. *Курдумяков И.С. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОВЕРКИ НАПОЛНЕННОСТИ ГЕЛИЕМ КОЛБЫ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ФИЛАМЕНТНЫХ ЛАМП* 120
37. *Левинцов Д.Р., Лямец Л.Л. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА НИЗКИХ ЧАСТОТ ПО АНАЛОГОВОМУ ПРОТОТИПУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИЛИНЕЙНОГО Z-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ* 122
38. *Логинов К.А., Конаков А.Н. ПОВЕРХНОСТНО-ИЗЛУЧАЮЩИЕ ИНЖЕКЦИОННЫЕ МИКРОЛАЗЕРЫ* 127
39. *Ляпин М.С., Зиенко С.И. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ПОДПАЛУБНЫХ АВАРИЙНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ* 130
40. *Мартынов Д.Д., Образцов С.А. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ НА ОСНОВЕ СЕТИ WI-FI* 133
41. *Маслова К.С., Красовская К.А., Беляков М.В., Куликова М.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СПИРТОВЫХ НАСТОЕВ КЕДРОВЫХ ОРЕХОВ* 135
42. *Матыченков Е.В., Рассказа Д.С. РАЗРАБОТКА КОНТЕЙНЕРА-ДОЗАТОРА ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ* 138
43. *Митичкин С.О., Образцов С.А. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ ПРОПУСКА ЗВЕНЬЕВ В ЦЕПОЧКЕ ЖАЛЮЗИ* 141
44. *Михейченко Д.А., Зиенко С.И. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СВЕТОСИГНАЛЬНЫХ АЭРОДРОМНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ* 144
45. *Мищенко А.М., Якименко И.В., Иванов Д.Н., Бужлаков С.Н., Федоров И.А. СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗЛУЧЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ФОНА В БЛИЖНЕМ ИК ДИАПАЗОНЕ* 147
46. *Мищенко А.М., Якименко И.В., Иванов Д.Н., Криштопов Д.А., Фадеичев А.А., Фадеичева П.А. НОВЫЕ ПОДХОДЫ В ПОСТРОЕНИИ МОДЕЛИ ИЗЛУЧЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В БЛИЖНЕМ ИК ДИАПАЗОНЕ* 152
47. *Навродский А.В., Сеньков М.А. ОЦЕНКА РАЗВЕДЗАЩИЩЁННОСТИ ОДНОЗВЕННОЙ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ОТ РАДИОПОДАВЛЕНИЯ* 157

48. *Никишов Д.Е., Жбанова В.Л. УЛУЧШЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИБОРА НОЧНОГО ВИДЕНИЯ* 162
49. *Никишов Д.Е., Кондратьев Д.Г., Жбанова В.Л. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ЦИФРОВОГО КОЛОРИМЕТРА* 165
50. *Орехов В.А., Образцов С.А. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АНАЛОГОВЫХ ПРОТОТИПОВ* 168
51. *Павловский Е.Д., Царегородцев Е.Л. ПРОЕКТ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВЕ САПР KiCad* 171
52. *Парфенов В.Р., Образцов С.А. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТИПА СЕТИ ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ* 175
53. *Пашин Д.В., Сухотин В.В., Фатов А.В. НАТУРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ОБЛАЧНОЙ АТМОСФЕРЫ В ИНФРАКРАСНОМ И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ДИАПАЗОНАХ ДЛИН ВОЛН* 278
54. *Пентелейчук А.А., Образцов С.А. СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОДИОДАМИ С ПОМОЩЬЮ БАЛЛАСТА ОТ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ЛАМПЫ* 181
55. *Петрусев О.И., Фомченков А.О., Амелин С.А. РАСЧЕТ РЕАКЦИИ НА ВЫХОДЕ ЛИНЕЙНОЙ ДИСКРЕТНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПОМОЩИ ПЕРЕХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ* 184
56. *Петрусев О.И., Фомченков А.О., Амелин С.А. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАРЯДА ЗАТВОРА ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА* 188
57. *Плюхин К.С., Гумиров Р.З., Маслов А.Д. САПР В КУРСЕ ПОДГОТОВКИ ВОЕННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ* 193
58. *Подмастерьев А.О., Каткова А.А. СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА С КОНЕЧНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ НА ПЛИС* 197
59. *Поспелов М.А., Якименко И.В., ОБЗОР РАЗНОВИДНОСТЕЙ УСТРОЙСТВ ДИНАМИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ НА ОСНОВЕ «БЕГУЩЕЙ СТРОКИ»* 200
60. *Потапов А.С., Егупов О.А., Марков В.В., Рудоманенко И.В. МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТРЁХМЕРНЫМ ДИСПЛЕЕМ* 203
61. *Прокопенков Н.А., Романов Л.Ю., Царегородцев Е.Л. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖУЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА С ПРИМЕНЕИЕМ КОМПЬЮЕТРНЫХ СРЕДСТВ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ РАЗРАБОТКИ* 206
62. *Рыбаков И.В., Кондрашова М.Е., Беляков М.В., РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СКАРИФИКАЦИИ СЕМЯН* 210
63. *Рыбакова Н.В., Марков В.В. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СТАБИЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ* 214

64. *Рябинина Е.А., Смолин В.А. РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЯРКОСТИ АТМОСФЕРЫ В УФ ДИАПАЗОНЕ* 218
65. *Саранцев В.В., Образцов С.А. ИСКРОБЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО РАСХОДОМЕРА ПРИРОДНОГО ГАЗА* 222
66. *Сидорова А.Н., Самарин М.Д., Беляков М.В., Куликова М.Г. ВЫБОР ИСТОЧНИКА И ПРИЕМНИКА ДЛЯ УСТАНОВКИ КОНТРОЛЯ РАЗМОЛА ГРЕЧНЕВОЙ КРУПЫ* 225
67. *Скачков С.А., Клюев А.В., Иванов Д.Н., Ковалев А.А., Навродский А.В. ОПТИМИЗАЦИИ СООТНОШЕНИЯ ПОЛУЧЕННОЙ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И РАСХОДА РЕСУРСА ПРИ КОНТРОЛЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ* 230
68. *Успенский А.А., Лоскутов И.А., Селихов А.В. СИСТЕМА КОСВЕННОГО АНАЛИЗА НЕРОВНОСТЕЙ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ* 234
69. *Филиппов Ф.С., Янковский Н.А., Царегородцев Е.Л. СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКТА* 239
70. *Фомченков А.О., Петрусев О.И., Амелин С.А. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАЗИТНОЙ ЁМКОСТИ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА* 241
71. *Худовец А.С., Кондратьев Д.Г., Жбанова В.Л. ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ОТРАЖАЮЩЕМУ ПОКРЫТИЮ КОЛОРИМЕТРА* 246
72. *Цыганкова Е.А., Беляков М.В., Остапец П.М., Титова Т.П. СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕЗОВ ТКАНЕЙ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ ЧЕЛОВЕКА* 249

СЕКЦИЯ 5
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ, УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИЯМИ

1. *Блинов А.О., Новикова М.А. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МЯСНОГО СЫРЬЯ* 253
2. *Гольцев И.Ю., Маслова К.С., Новикова М.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДИНАМИКУ ПРОЦЕССА БРОЖЕНИЯ* 255
3. *Ермачкова В.В.; Куликова М.Г. ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ БИОКОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ* 258
4. *Клюева А.Ю., Клюева Л.Ю., Образцов С.А. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ МАЛЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ* 261
5. *Кондратьев Д.Г., Коршунова К.П., Синявский Ю.В. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ В АППАРАТЕ С ПЕРЕМЕШИВАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОГО МЕТОДА* 265

6. *Крючков Е.М., Синявский Ю.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА МЯСНОЙ ПРОДУКЦИИ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ НА ПРИМЕРЕ ОХЛАЖДЕННОЙ ГОВЯДИНЫ ПРОИЗВОДСТВА ИП КАЛИНИН ИГОРЬ ВИКТОРОВИЧ КОЛБАСНЫЙ ЦЕХ ДСК* 268
7. *Лукьянова Т.В., Марков В.В., Козлова Л.Д. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ ЗА СЧЁТ ВНЕДРЕНИЯ ПРОЦЕДУРЫ АНАЛИЗА РИСКОВ* 272
8. *Наполова Т.С., Марков В.В., Секаева Ж.А. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕИНЖИНИРИНГА ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛОВОГО СПИРТА МЕТОДОМ «20 КЛЮЧЕЙ»* 275
9. *Николаева Н.А., Короткова Г.В. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЕЛКОВЫХ ФРАКЦИЙ БОБОВЫХ КУЛЬТУР* 278
10. *Политов Д.О., Марков В.В., Углова Н.В. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА СГУЩЕННОГО МОЛОКА МЕТОДОМ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА* 281
11. *Рогозовец Я.Н., Короткова Г.В. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА БАЗОВОГО МОТОРНОГО МАСЛА МЕТОДОМ ДИАГРАММЫ ПАРЕТО* 284
12. *Рогозовец Я.Н., Короткова Г.В. ОДНОКРАТНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СМЕСИ ФЕНОЛОМ НА УСТАНОВКЕ СЕЛЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ МАСЛЯНЫХ ДИСТИЛЛЯТОВ* 287
13. *Сасковец К.В., Лебедев М.В., Капитонов А.В. УМЕНЬШЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЕРЕДАЧАХ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ И УВЕЛИЧЕНИЕ ПЕРЕДАВАЕМЫХ МОМЕНТОВ* 290
14. *Семкович Е.Т., Фомченкова Л.В. ОПТИМИЗАЦИЯ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ ВЫБОРА ВЗАИМНО НЕ ДОМИНИРУЕМЫХ АЛЬТЕРНАТИВ* 293
15. *Сидорова А.И., Куликова М.Г., Беляков М.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЭКТРАКЦИИ КЕДРОВОГО ОРЕХА ВОДНО-СПИРТОВОЙ ЖИДКОСТЬЮ* 296
16. *Тищенко А.И., Короткова Г.В. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ГИДРОДЕПАРАФИНИЗАЦИИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА МЕТОДОМ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ* 301
17. *Шанин В.А., Кончина Л.В. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦЕНТА ТРЕНИЯ ВЫСОКОАДГЕЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ* 304

Научное издание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА
(микроэлектроника и оптотехника, инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями)
Сб. трудов XVI Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов
Сборник трудов в 3-х томах
Том 2

Подписано в печать 15.04.2019 г.
Формат 60x84$^{1}/_{16}$. Тираж 100 экз. Печ. л. 19,75 Усл. печ. л. 18,37.

Издательство «Универсум»
Отпечатано в издательском секторе филиала МЭИ в г. Смоленске
214013 г. Смоленск, Энергетический проезд, 1

ISBN 978-5-91412-413-4