

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

# МАВЛЮТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

*XV Всероссийская молодежная научная конференция*

Том 3



Уфа 2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

# **МАВЛЮТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ**

*XV Всероссийская молодежная научная конференция*

Том 3

Научное электронное издание сетевого доступа

© УГАТУ  
**ISBN 978-5-4221-1529-7**  
**ISBN 978-5-4221-1532-7 (Т. 3)**

Уфа 2021

Мавлютовские чтения : материалы XV Всероссийской молодежной научной конференции : в 7 томах [Электронный ресурс] / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа : УГАТУ, 2021.

Том 3. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – URL: [https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/El\\_izd/2021-125.pdf](https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/El_izd/2021-125.pdf)

Содержатся статьи, включенные в программу XV Всероссийской молодежной научной конференции, состоявшейся в УГАТУ 26–28 октября 2021 г.

### **Организационный комитет конференции:**

#### **Председатель оргкомитета:**

Новиков С. В. – ректор ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ), канд. экон. наук, доцент (г. Уфа, Россия).

#### **Зам. председателя оргкомитета:**

Еникеев Р. Д. – первый проректор по науке УГАТУ, д-р техн. наук, профессор (г. Уфа, Россия);

Агеев Г. К. – проректор по инновационной деятельности УГАТУ, канд. техн. наук, доцент (г. Уфа, Россия).

#### **Члены оргкомитета:**

Вдовина И. В. – и. о. декана ФЗЧС, канд. хим. наук, доцент (г. Уфа, Россия);

Ахмедзянов Д. А. – декан ФАДЭТ, д-р техн. наук, профессор (г. Уфа, Россия);

Зуева М. С. – и. о. декана ОНФ, канд. экон. наук, доцент (г. Уфа, Россия);

Ларцева С. А. – директор ИНЭК, канд. экон. наук, доцент (г. Уфа, Россия);

Хусаинов Ю. Г. – директор ИАТМ, канд. техн. наук, доцент (г. Уфа, Россия);

Уразбахтина Ю. О. – декан АВИАЭТ, канд. техн. наук, доцент (г. Уфа, Россия);

Ковтуненко А. С. – и. о. декана ФИРТ, канд. техн. наук, доцент (г. Уфа, Россия);

Биглов М. М. – начальник ИВТО, канд. техн. наук, доцент (г. Уфа, Россия);

Мусин Н. Х. – директор Центра трансфера технологий (г. Уфа, Россия);

Разяпов Т. В. – начальник отдела проектных инициатив (г. Уфа, Россия);

Бикбулатова О. Ф. – начальник УИТ (г. Уфа, Россия).

#### **Отв. секретарь оргкомитета:**

Никонова А. И. – аналитик отдела проектных инициатив (г. Уфа, Россия).

При подготовке электронного издания использовались следующие программные средства:

- Adobe Acrobat – текстовый редактор;
- Microsoft Word – текстовый редактор.

*Материалы публикуются в авторской редакции*

Ответственный за выпуск *Т. В. Разяпов*

Предпечатная подготовка *Л. А. Вяземская*

Программирование и компьютерный дизайн *О. М. Толкачёва*

Подписано к использованию: 19.10.2021

Объем: 10,6 Мб.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»

450008, Уфа, ул. К. Маркса, 12.

Тел.: +7-908-35-05-007

e-mail: rik@ugatu.su

Все права на размножение, распространение в любой форме остаются за разработчиком.  
Нелегальное копирование, использование данного продукта запрещено.

**СЕКЦИЯ 3.1**  
**ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА,**  
**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И АВИОНИКА**

УДК 615.47

З. Х. БАИШЕВА

*zemfira\_baisheva@mail.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, доц. Е. В. ПАРФЕНОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

**ОБЗОР УСТРОЙСТВ ДИАГНОСТИКИ МОЗГОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**Аннотация.** Мировые тенденции в области исследований мозга направлены на выявление патологий с дальнейшим их лечением, прогнозирование тяжелых заболеваний центральной и периферической нервной системы. Системы на основе нейротехнологий необходимы для улучшения жизни людей с тяжелыми двигательными и речевыми нарушениями, для разработки приложений в области нейрореабилитации, мультимедийных коммуникаций, реальности и развлечений, а также в военном деле. Для практического внедрения систем необходимо проведение исследований, практических занятий по изучению деятельности мозга и процессов, протекающих в нем. В этой статье раскрываются основные методы изучения деятельности мозга. Например, представлены и рассмотрены системы функциональной диагностики - электроэнцефалография, реоэнцефалография, магнитоэнцефалография, электрокортикография, а также методы, основанные на неинвазивном удалении параметров мозга - функциональная магнитно-резонансная томография, транскраниальная магнитная стимуляция. Кроме того, представлена классификация медицинского оборудования, затем выделены основные блоки электронного медицинского оборудования для диагностики мозговой активности, где каждый из элементов блока играет важную роль в конструкции электромедицинских технических изделий.

**Ключевые слова:** электроэнцефалография (ЭЭГ); реоэнцефалография; магнитоэнцефалография (МЭГ); электрокортикография (ЭКоГ); транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС); функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ); классификация медицинских устройств; воздействующие диагностические приборы (ВозДП); воспринимающие диагностические приборы (ВДП); терапевтические приборы (ТП).

Сфера исследования, затрагивающая проведение диагностики мозговой деятельности, является одним из самых перспективных направлений, развивающимся в современном мире на данный момент. Область разработок ориентирована на выявление патофизиологических нарушений с возможностью их дальнейшего лечения, предсказания тяжелых заболеваний центральной и периферической нервной систем. Системы медицинского характера, нацеленные на изучение характеристик мозговой деятельности, необходимы для своевременного назначения лечения, улучшения жизни людей с тяжелыми двигательными и ре-

чевыми поражениями, разработки потенциальных приложений в области нейро-реабилитации, мультимедийных коммуникаций, виртуальной реальности и развлечений, а также в военном деле [1]. Для создания таких систем необходимо проводить исследования по изучению мозговой деятельности человека, в таком случае используют специализированные медицинские электронные устройства, назначение которых могут быть разделены на следующие группы [2]:

1. системы функциональной диагностики, к которым относятся электроэнцефалография, реоэнцефалография, магнитоэнцефалография и т.д.;

2. системы оперативного слежения за состоянием пациента (мониторные системы), отслеживают изменения характеристик мозговой активности при проведении операций, затрагивающих ЦНС и головной мозг;

3. системы обработки медицинских изображений – компьютерная, магнито-резонансная томографии, предназначенные для визуализации глубинных морфологических структур головного мозга, центральной нервной системы.

Системы могут быть выполнены в виде отдельных приборов или аппаратов диагностики мозговой деятельности, которые направлены на изучение различных параметров головного мозга, характеризующих их изменения во времени.

Одним из способов изучения работы головного мозга человека является метод электроэнцефалографии, который наиболее распространен за счет своей доступности. Электроэнцефалограф – это *медицинский электронный прибор для исследования и регистрации электрических процессов, протекающих в головном мозге человека*. При исследованиях было выявлено, что во время фазы глубокого сна в нативной записи электроэнцефалограммы преобладают высокие медленные волны. Таким образом, можно сказать, что значительные группы нейронов синхронизированы в большой области головного мозга, так как мозг может работать на множестве разных уровней активности. Во время бодрствования такая медленная активность замещается маленькими, частыми электрическими колебаниями, указывающими на быстрые и пластичные механизмы

взаимодействия информационных образов. Vaars et al. [3] отметили в своей работе, что классические ЭЭГ ритмы можно выявить и в исходной или необработанной записи. В тоже время достаточно сложно локализовать электрический источник ЭЭГ сигнала, хотя временная разрешающая способность ЭЭГ имеет порядок миллисекунд, но его пространственная разрешающая способность довольно мала. Задача снятия электрической активности головного мозга становится проще, как подчеркивает Vaars, при увеличении количества электродов и использовании сложных аналитических методов. Новое усовершенствование в виде увеличения числа измерительных электродов и их плотного размещения на поверхности головного мозга позволяет ученым более детально измерять деятельность мозга. При помощи ЭЭГ можно выявить определенные сигналы, характерные для стадий сна и бодрствования, патологические паттерны заболеваний, например, эпилепсии, и даже выявить область мозга, которые активируются в ответ на прослушивание музыки. Преимущества электроэнцефалографии заключаются в том, что данный метод является неинвазивным и относительно недорогим.

Другим не менее информативным способом является реоэнцефалография (РЭГ), с помощью которого определяется кровенаполнение головного мозга человека. Реализация метода основана на регистрации изменений электрического сопротивления тканей в связи с меняющимся кровенаполнением. С увеличением притока крови к тканям происходит возрастание их проводимость [4]. Сущность РЭГ состоит в измерении и анализе реоэнцефалограммы – кривой, отражающей пульсовые колебания электрического сопротивления. Этот метод позволяет определить состояние кровеносной системы, либо ее отдельных участков. Применение данной методики позволяет выявить у пациента атеросклеротические или воспалительные поражения сосудов головного мозга и его различных участков тела на ранних стадиях.

Основными преимуществами реоэнцефалографии являются [5]:

- 1) неинвазивность;

- 2) моментальное выявление поврежденного звена гемодинамики;
- 3) стоимость, в 8–10 раз ниже, чем некоторых инвазивных функциональных аналогов;
- 4) техническая простота освоения и работы с системой;
- 5) быстрота развертывания системы, позволяющая использовать метод в экстренной работе;
- 6) неограниченная длительность использования метода у одного пациента;
- 7) удаленность электродов от зоны брюшных и грудных вмешательств, создающая возможность интраоперационного контроля гемодинамики.

Поскольку головной мозг человека и центральная нервная система обладают магнитной активностью, можно применить метод магнитоэнцефалографии (МЭГ) для изучения магнитного поля обследуемой области МЭГ – это еще один метод записи для неинвазивного измерения магнитных полей, создаваемых нейрональной активностью мозга. Когда активные нейроны генерируют электрические токи, создается маленькое магнитное поле. Это магнитное поле невозможно обнаружить при активации одного нейрона, но, когда многие нейроны срабатывают вместе, создается более крупное и легко обнаруживаемое магнитное поле [6]. Пространственная разрешающая способность магнитоэнцефалографии лучше, чем у электроэнцефалографии, поскольку пространственное разрешение этого метода для некоторых областей коры головного мозга в настоящее время достигает нескольких миллиметров, в то время как его временное разрешение составляет миллисекунды. МЭГ обладает улучшенным временным разрешением. В методе магнитоэнцефалографии используется процесс определения источника магнитных полей, позволяющий при регистрации совмещать источники магнитной активности мозга со снимками анатомических структур, полученных при помощи других методов, например, магнитно-резонансной томографии (МРТ). Таким образом, метод определения источника магнитных полей имеет высокую пространственную разрешающую способ-



ность МРТ и высокое временное разрешение МЭГ. Его используют перед операциями на головном мозге для точного определения жизненно важных областей мозга, которые нельзя затрагивать во время хирургического вмешательства [7].

Электрокортикографию (ЭКоГ) также называют внутричерепной ЭЭГ, методом регистрации электрических импульсов с помощью электродов, которые располагаются непосредственно внутри головного мозга, чтобы обходить препятствующий материал, такой как скальп и череп. Физиология ЭКоГ такая же, как и для ЭЭГ, но чувствительность ЭКоГ выше из-за близости электродов к нейронам. В методе электрокортикографии используются сетки или полосы круглых/ пластинчатых электродов, размещенных под твердой мозговой оболочкой на поверхности обычно одного полушария, не достигая таких глубоких структур, как гиппокамп, миндалевидное тело. Электродные сетки обычно содержат множество токосъемных поверхностей, или контактов, что позволяет охватить и одновременно зарегистрировать импульсы, исходящие от значительной площади поверхности коры головного мозга. Даже при быстром развитии технологий нейровизуализации наиболее прямые данные о работе живого мозга до сих пор получают во время внутричерепной регистрации электрической активности. Одной из причин является, что электрический сигнал, измеренный непосредственно от тканей мозга, значительно сильнее, чем при регистрации от поверхности головы (порядок сигнала меняется от сотен милливольт до микровольтов соответственно). Также ЭЭГ с поверхности головы изменяется благодаря прохождению сигнала через водосодержащие ткани мозга, кожу и мышцы, и сама электрическая активность оказывает влияние на сигнал. Например, при сокращении мышц над глазами тонкий мышечный слой черепа растягивается и приспособливается. Даже движения глаз оказывают значительное влияние на ЭЭГ, записанную с головы. Таким образом, поверхностная ЭЭГ несет в себе электрическую активность различного генеза, и к тому же она профильтрована многими слоями тканей. ЭКоГ имеет улучшенное соотно-

шение сигнал–шум. Самый большой недостаток метода заключается в необходимости хирургической операции. В связи с этим на людях он применим только при явных медицинских показаниях. Но несмотря на это, большая часть базовых знаний о работе мозга получены в результате многочисленных исследований на животных с помощью метода ЭКОГ или глубинных электродов [8].

Транскраниальная магнитная стимуляция – неинвазивный метод стимуляции нейронов головного мозга переменным магнитным полем с помощью магнитного стимулятора. Появление ТМС дало возможность бескровно целенаправленно стимулировать структуры коры головного мозга. В зависимости от выбранного режима, влияние на центральную нервную систему может носить либо возбуждающий, либо тормозящий характеры. Преимущество данного метода заключается в имеющейся возможности воздействовать на определенную, ограниченную область мозга. Магнитные импульсы могут быть направлены, к примеру, на локальный очаг повреждения, зону, требующую активации или ее снижения [9]. Аппарат для проведения ТМС состоит из трех основных частей: системы конденсаторов высокого напряжения и большой силы тока, катушки и блока управления. С помощью ТМС можно проводить процедуры картирования зон головного мозга за счет нейростимуляции отдельных представительств головного мозга [10].

Системы обработки изображений предназначены для визуализации, анализа и архивирования результатов томографических исследований, интерпретации полученного изображения. Такими системами являются, например, аппараты магнито-резонансной томографии. Они позволяют объективизировать и ускорить процесс обработки изображения, выявить и уточнить наличие патологических проявлений, следовательно, повысить точность диагностического процесса. Метод магнито-резонансной томографии основан на измерении электромагнитного отклика атомных ядер, находящихся в сильном постоянном магнитном поле, в ответ на возбуждение их определенным сочетанием электромагнитных волн. Другие методы нейровизуализации используют не прямое

измерение активности мозга, например, кровотока или локальный уровень кислорода. В настоящее время наиболее широко используемым методом является функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ), и в особенности тот ее вид, который позволяет измерять уровень кислорода в локальном кровотоке, — BOLD. Когда нейроны разряжаются, они поглощают кислород и глюкозу, выделяя при этом метаболические продукты обмена. Активная область мозга использует запас кислорода в локальном кровотоке, и по мере того, как кислород поглощается, датчиками регистрируется маленькое уменьшение сигнала BOLD. В течение долей секунды данное снижение локального уровня кислорода запускает приток богатой кислородом крови в эту область. В этот момент регистрируется восстановление сигнала. Однако компенсаторный механизм выходит за пределы, вызывая гораздо больший прилив кислорода, чем требуется, поэтому можно наблюдать увеличение сигнала выше начального уровня. В то время, когда неиспользованный кислород вымывается из исследуемой области, регистрируется возвращение сигнала BOLD к начальному уровню [11].

Исследование мозговой деятельности опирается на применение медицинской электронной аппаратуры. Существующие аппараты и приборы способны обеспечить качественное проведение диагностики мозговой деятельности. Совместное применение различных технических медицинских изделий дает возможность провести глубокий анализ отдельных морфологических структур, например, данные, полученные с МРТ можно соотнести с данными МЭГ, получая более развернутую информацию как о строении головного мозга человека, так и о процессах мозговой активности, протекающих в нем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.В. Немчанинов, М.А. Шеренков, Е.Д. Алексеев и А.Г. Решетников Разработка когнитивного нейроинтерфейса для управления роботизированной рукой-протезом // Сетевое научное издание «Системный анализ в науке и образовании», 2016, Вып. 4, С. 1-11.
2. В.А. Кобринский и Т.В. Зарубина Медицинская информатика: учебник для студенческих учреждений высшего образования // М.: Академия, 2013 с.192.

3. Bernard J. Baars and Nicole M. Gage, *Cognition, brain, and consciousness // Introduction to cognitive neuroscience*, Academic Press is an imprint of Elsevier, 2014, p. 552.
4. A.M. Vein and M.A. Ronkin *Rheography in the clinic of nervous diseases // Journal of Neurology and Psychiatry*, pp. 282-286.
5. Michael Bodo, *Studies in Rheoencephalography (REG) // Journal of Electrical Bioimpedance*, 2010, pp. 18-40.
6. C. Hurmmel and H. Stefan *Magnetoencephalography // Epilepsiu*, 1997, pp. 52-57.
7. A. M. Dale, A.K. Liu, B. R. Fischl, R. L. Buckner, J. W. Belliveau, J. D. Lewine, E. Halgren *Dynamic Statistical Parametric Neurotechnique Mapping: Combining fMRI and MEG for High-Resolution Imaging of Cortical Activity // Neuron*, Cell Press, 2000, pp. 55-67.
8. C. O. Binnie, M. C. McHride, C. E. Polkey, I. M. Sawhney, and I. Janota, // *Electrocorticography and stimulation /Acta Neurologica Scandinavica*, 1994, pp.74-82.
9. Masato Odagaki, Toshiyuki Taura, Yutaka Kikuchi, and Kazutomo Yunokuchi *Optimization of Eddy Current Distribution Using Magnetic Substance in TMS*, 2013, pp. 193-200.
10. Petro Julkunen, *Methods for estimating cortical motor representation size and location in navigated transcranial magnetic stimulation // Journal of Neuroscience Methods*, 2014, pp. 125-133.
11. Young-Bo Kim, Nambeom Kim, Jae Jun Lee, Seo-Eun Cho, Kyoung-Sae Na and Seung-Gul Kang *Brain reactivity using fMRI to insomnia stimuli in insomnia patients with discrepancy between subjective and objective sleep //Scientific Reports*, 2021.

УДК 3.3

А. А. БАЙБОЛДИНА, А. С. ГАНИЕВА

*bayboldinaa@mail.ru*

Науч. руковод. – ст. преп. Л. Р. ФАРХУТДИНОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АППАРАТОВ ИВЛ

**Аннотация.** В данной работе рассматриваются перспективы развития аппаратов ИВЛ и принципы, которые могут улучшить работу искусственного вентилятора. В статье показаны проблемы, с которыми сталкиваются специалисты по работе с данным аппаратом, и их решения.

**Ключевые слова:** аппарат ИВЛ; новшества; мониторинг; схема управления; режим вентиляции.

Аппарат для искусственной вентиляции легких (ИВЛ) – медицинский прибор, обеспечивающий принудительное дыхание при его отсутствии, нехватке или сложности проведения естественным путем.

Это один из наиболее быстро и интенсивно развивающихся видов медицинской техники, что объясняется высокой эффективностью ИВЛ для лечения все расширяющегося перечня заболеваний и состояний.

Области применения ИВЛ в медицинской практике в значительной степени установились. Общими показаниями к ее применению остаются необходимость поддержания оптимального газового состава крови и необходимость снижения работы, затрачиваемой пациентом на вентиляцию в условиях ненормально функционирующей дыхательной и сердечно-сосудистой систем. Отсюда следует применение ИВЛ для лечения дыхательной недостаточности, обусловленной заболеваниями различной этиологии, травмами, отравлениями, хирургическими вмешательствами на органах грудной полости, введением мышечных релаксантов и (или) седативных препаратов, а также для борьбы с асфиксией новорожденных и лечения пороков их развития. Относительно новым направлением является применение вентиляционной поддержки для борьбы с сонным апноэ. Основным местом применения ИВЛ по-прежнему являются ста-

ционные лечебные учреждения, экстремальная медицина (в более узком смысле – передвижные средства скорой помощи), родильные дома и отделения.

По мере развития технологий в области методик ИВЛ появляются многие новшества, которые можно сгруппировать следующим образом:

– Переход к менее агрессивным методикам, в которых различными способами сочетается навязываемая пациенту вентиляция с самостоятельным дыханием; при этом аппарат выполняет не всю, а только часть затрачиваемой на вентиляцию работы. Наиболее распространенная сейчас управляемая ИВЛ вытесняется режимом “вспомогательная/управляемая вентиляция”, получают распространение режимы, первичная цель которых – поддержание на входе в дыхательные пути заданного давления (“поддержка давлением”, самостоятельное дыхание с двумя чередующимися уровнями положительного давления - Vi-РАР) и т.п. Все это оправдывает замену ИВЛ на более широкое понятие “вентиляционная поддержка”.

– Интенсивное насыщение аппаратов ИВЛ мониторами, – т.е. средствами измерения и представления информации о состоянии пациента и режиме вентиляции, сопряженными с сигнализацией, в том числе “интеллектуальной” о выходе основных показателей из установленных границ.

– Обеспечение безопасности пациента в случае нарушения электроснабжения путем той же сигнализации, применения специальных схемных решений и оснащения аппаратуры аварийными источниками электропитания; сюда же можно отнести обеспечение электромагнитной совместимости, то есть защиты аппаратуры, прежде всего программно управляемой, от воздействия различных помех по сети, электромагнитных полей, разрядов статического электричества.

При реализации выше перечисленных пунктов нововведений возникает ряд проблем, с которыми сталкиваются производители аппаратов ИВЛ. Рассмотрим данные проблемы и способы их решения.

Большое количество моделей ИВЛ усложняет работу специалистов, поэтому требуется, определенное сужение номенклатуры разрабатываемых аппа-

ратов с электроприводом до двух моделей аппаратов с электроприводом, имеющих разные уровни функциональных возможностей и применимых у взрослых и у детей старше 1 года, одной модели для новорожденных и детей до 4-5 лет, одной модели для применения в аппаратах ингаляционной анестезии. Для применения в условиях экстремальной медицины можно ограничиться одним аппаратом с автономным пневмопитанием и 2-3 моделями с приводом вручную.

По принципам построения аппаратов с электроприводом перспективно применение трех основных схемных решений:

– Использование первично постоянного потока газа, преобразуемого малоинерционными электропневматическими преобразователями в нужные для дыхания порции. Достоинством такой схемы является ее постоянная готовность к началу вдувания газа и почти полное отсутствие инерционных звеньев. В то же время она требует повышенных затрат энергии на создание непрерывного и высокого расхода газа и имеет низкий КПД, что вызывает понятные затруднения. Управление потоками газа с помощью многочисленных дросселей осложняется при неизбежном использовании различных газовых смесей.

– Для реализации вспомогательной ИВЛ с переключением на вдох вследствие изменения потока газа, а также в аппаратах для новорожденных и детей находит применение разновидность указанного выше приема, отличающаяся пропусканием постоянного потока газа через весь дыхательный контур во всех режимах работы. От предыдущей схема отличается большей простотой, возможностью измерять постоянный поток газовой смеси обычными расходомерами, но она не допускает прямого измерения дыхательного объема в линии выдоха.

– Другое техническое решение заключается в применении генератора вдоха переменного потока в виде меха, цилиндра с поршнем и т.п., приводимых в движение специализированным электроприводом, который позволяет гибко управлять программными методами, всеми характеристиками вентиляции. Ста-

новится возможным обойтись как без внешнего пневмопитания, так и без встроенного компрессора. Снижение размеров и массы таких аппаратов определяется еще и тем, что потребляемая в каждый момент мощность зависит только от режима вентиляции, а максимальная нагрузка на привод нужна очень редко. Однако режимы, связанные с использованием постоянного потока, реализовать в этом приводе трудно, а неизбежная последовательность фаз сжатия и растяжения мехов затрудняет реализацию режимов, требующих начать вдвигание газа в произвольный момент времени.

Вторая по значимости проблема – это мониторинг. Из всех его возможностей перспективным и неизбежным после введения в действие в России ГОСТ Р ИСО 10651-99 является оснащение аппаратов ИВЛ с электроприводом, за исключением применяемых во время анестезии, на дому и в транспортных средствах, мониторингом согласно таблице 1.

Таблица 1

Требования к мониторингу по ГОСТ Р ИСО 10651-99

Характеристика	Измерение	Сигнализация
Максимальное давление в дыхательном контуре	Нормирована предельная погрешность	О повышении давления, с переключением на выдох
Дыхательный объем	Нормирована предельная погрешность	О снижении дыхательного или минутного объема
Концентрация кислорода во вдыхаемом газе	По стандарту ИСО 7767	С регулируемыми верхним и нижним пределами
Целостность дыхательного контура	–	Об отсоединении пациента или падении дыхательного объема
Температура вдыхаемого газа	–	О превышении температуры
Обструкция линии выдоха или слишком высокий уровень ПДКВ/СДППД	–	О постоянном давлении в дыхательном контуре
Нарушение электро- или пневмопитания	–	По условиям, определяемым изготовителем

Отметим, что требований к индикации характерных кривых, расчету характеристик органов дыхания, формированию тренда и т.п. данный стандарт не содержит.



Серийно выпускаемая аппаратура обеспечивает большинство из этих требований. Имеются трудности измерения дыхательного объема (и сигнализации), вызванные как принципиальными затруднениями для аппаратов с постоянным потоком газа в линии вдоха, так и низким качеством разработанного электронного волюметра. Эти проблемы и рациональное “разделение труда” между встроенными и комплектующими средствами мониторинга должны быть разрешены в новых разработках аппаратов ИВЛ.

Острая проблема, выходящая за рамки указанного стандарта, – обеспечение электромагнитной совместимости, то есть защиты программно управляемых аппаратов от различных помех по цепям питания и по эфиру. Как показал анализ технических требований потребителя для проводящихся тендеров (конкурсов) на поставку аппаратов ИВЛ в различные регионы и лечебные учреждения России, все чаще выдвигается требование продолжения работы аппарата в случае аварийного отключения электропитания. Но проработано перспективное решение обеих данных проблем путем установки на входе в аппарат блока бесперебойного питания. Использование такого блока позволяет сохранить работоспособность аппарата не менее 30 мин после отключения электроэнергии с формированием соответствующей сигнализации, а также обеспечить хорошую фильтрацию помех, поступающих в аппарат по сети и проникающих из аппарата в сеть. Испытания подтвердили, что блоки бесперебойного питания соответствуют требованиям стандартов безопасности при минимальной доделке блоков – фиксации электрических сетевых разъемов на их корпусах. Ясно, что подобное решение исключает необходимость изменения устройства самого аппарата, более того, можно исключить из аппарата некоторые цепи – разветвители и сигнализаторы, которые имеются в блоке бесперебойного питания.

С целью увеличения надежности работы электронной части аппарата намечается перспектива применения программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) фирмы “Altera”. При этом достигается снижение числа печатных плат с 7 до 1, резкое уменьшение (примерно в 5 раз) общего числа элек-

тронных компонентов, снижение объема блока управления более чем в 4 раза и применение только одного питающего напряжения. Значительное уменьшение потребляемой мощности делает возможным отказаться от принудительного охлаждения блока, применить импульсный блок питания, обеспечить аварийное аккумуляторное питание. Тем самым создаются предпосылки для снижения трудоемкости изготовления и, что особенно важно, для повышения надежности работы аппарата.

Исходя из перечисленных принципов, можно получить краткую характеристику разрабатываемой и намечаемой к разработке аппаратуры.

Новые аппараты будут отличаться дальнейшим расширением возможностей – реализацией режимов “вспомогательная/управляемая вентиляция”, “поддержка давлением”, “самостоятельное дыхание с двумя уровнями постоянного давления”, “управление по давлению”, “апнойная вентиляция” и т.д. Будут продолжаться расширяться функциональные возможности аппаратов наиболее высокого класса. К режимам управляемой, вспомогательной и периодической вентиляции и самостоятельного дыхания с постоянно положительным уровнем давления будут добавлены те новые режимы, показания к применению и реализация которых уже установлены и которые не требуют значительного технического усложнения, а именно, поддержки давления и вентиляции с двумя фазами положительного давления.

Будут продолжаться обеспечиваться работа аппаратов без подачи извне сжатого воздуха и использование сжатого кислорода только для оксигенации вдыхаемого воздуха. Для аппаратов наиболее высокого класса будет преимущественно использоваться более гибкая схема с управляемыми клапанами в линиях вдоха и выдоха. В ней найдут применение электромагнитные устройства, позволяющие управлять не только временными характеристиками, но и расходом газа.

Будут улучшены возможности встроенного монитора давления и обеспечено аварийное электропитание, что увеличит надежность работы. Особенно

быстро будет развиваться оснащение аппаратов встроенными и придаваемыми мониторами с измерением показателей давления и объемных характеристик ИВЛ и с сигнализацией о выходе основных характеристик вентиляции из заданного диапазона. В аппаратах высокого класса, по-видимому, станет обязательным вывод информации, в том числе функциональных кривых на экран.

Эту же цель преследует значительное упрощение электронного управления за счет использования ПЛИС. Последнее также обеспечит снижение числа блоков аппарата.

В более простых аппаратах будет преимущественно применяться схема с управляемым электродвигателем и мехом, а также схема с накопительной емкостью. В этих моделях перспективно применение встроенного аккумулятора для обеспечения 20–30 мин работы аппарата после нарушения электропитания.

По-прежнему будет применяться микропроцессорное управление с использованием современной элементной базы. Еще большее внимание будет уделено упрощению управления аппаратами, в том числе путем использования автоматической стабилизации заданных оператором характеристик.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев, В.Г. Методы и технические средства для медико-биологических исследований: [учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 190500-Биотехнические и медицинские аппараты и системы] / В.Г. Гусев; УГАТУ.— Уфа: УГАТУ, 2001/ Ч. 1.— 2001.— 227 с.
2. Медицинская аппаратура: справочное пособие / под ред. С.А.Попова, Т.Д.Селезневой, М.Ю.Ишманова, С.А.Попович – М.: ЭКСМО, 2007. - 608 с. – Допущено М-вом образования и науки РФ. – ISBN 978-5-699-24312-9.
3. Мирина, Т.В. Функциональные электронные узлы измерительных и диагностических систем: [учеб.пос. для студентов, обучающихся по направлению подготовки "Техническая физика" приборостроительных специальностей вузов] / Т.В. Мирина, Н.В. Мирин; ГОУ ВПО УГАТУ; науч. ред. В.Г. Гусев. — Изд. 2-е, стер. - Уфа: УГАТУ, 2011 .- 301 с.
4. А.С.Горячев, И.А.Савин. Основы ИВЛ: руководство для врачей, издание восьмое, Москва, 2019. – 289 с.
5. <https://moluch.ru/young/archive/42/2237/> - Аппараты ИВЛ и три закона Ньютона – 07.09.2021.
6. <https://www.tiamed.ru/catalog/tsvetnye-uzi-skanery/mindray-m7-uzi-apparat/> - Описание УЗИ аппарата, дата посещения – 06.09.2021.
7. [http://idmarketing.ru/goods/rynok\\_apparatov\\_ivl\\_v\\_uslovijah\\_pandemii\\_2020/#description-tab](http://idmarketing.ru/goods/rynok_apparatov_ivl_v_uslovijah_pandemii_2020/#description-tab) – Рынок аппаратов ИВЛ в условиях пандемии 2020 – 07.09.2021.

УДК 629.7.05:629.735.7

В. С. БЕКАСОВ, В. С. ФЕТИСОВ

*Vlaserbek@gmail.com*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. В. С. ФЕТИСОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С АЭРОСТАТИЧЕСКОЙ РАЗГРУЗКОЙ**

*Аннотация.* В работе рассматриваются различные виды беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с аэростатической разгрузкой. Приводятся различные конструкции, анализируются их преимущества и недостатки. Перечисляются особенности подходов к проектированию подобных ЛА. Демонстрируется применение описанных подходов на примере разработанного автором беспилотного аппарата «Sky Baby».

*Ключевые слова:* БПЛА; аэростат; БПЛА с аэростатической разгрузкой; дрон.

### *1. Введение*

На сегодняшний день, уже нет необходимости доказывать важность роли беспилотных летательных аппаратов в современном мире. Аэрофотосъемка, доставка грузов, мониторинг промышленных объектов, ретрансляция сигналов, сельхозработы, развлечения — это лишь вершина списка возможных применений БПЛА [1].

В зависимости от задач, могут применяться различные конструкции летательных аппаратов. Если требуется хорошая управляемость (например, при инспектировании промышленных объектов) используют сравнительно небольшие квадрокоптеры, для обеспечения большой грузоподъемности (при доставке грузов, в агропромышленности) применяют массивные мультироторы, для полетов на большие расстояния (картография, георазведка) более применимы БПЛА самолетного типа (например, конструкции «летающее крыло»).

Известны БПЛА и более узкоспециального назначения. Так, для полетов в сильнопересеченном пространстве (например, сквозь лесной массив) можно использовать коакскоптеры (рис. 1) с защищенными винтами и малыми горизонтальными габаритами [2]. В некоторых условиях может потребоваться длительное время автономного полета (мониторинг удаленных объектов, передача сигналов). Для этих задач могут хорошо подойти БПЛА с аэростатической раз-

грузкой или БПЛА аэростатического типа. Каждая из конструкций имеет свои особенности, которые следует учесть при проектировании и эксплуатации.



Рис. 1. Перспективная компоновка БПЛА для полетов в лесу

В рамках данной работы будут рассмотрены некоторые особенности проектирования БПЛА с аэростатической разгрузкой. Ниже дан краткий обзор конструкций таких БПЛА, описаны особенности проектирования силовых установок и приводов для БПЛА с аэростатической разгрузкой.

## *2. Типы БПЛА с аэростатической разгрузкой*

БПЛА с аэростатической разгрузкой – это особый класс БПЛА, в котором некоторая часть подъемной силы создается за счет архимедовой силы, действующей на баллон, заполненный легким газом (как правило, гелием) [3].

Среди БПЛА с аэростатической разгрузкой можно выделить подкласс - БПЛА аэростатического типа, в котором аэростатическая подъемная сила является доминирующей, а силовая установка служит в основном для руления и маневрирования. Этот подкласс представлен, в основном, беспилотными дирижаблями. Однако такое деление весьма условное.

Одним из самых простых примеров БПЛА с аэростатической разгрузкой может служить классический квадрокоптер с привязанным или закрепленным шарнирно баллоном с легким газом (рис 2). Подобные конструкции, как правило, носят скорее развлекательный, демонстрационный или экспериментальный характер. Несмотря на то, что за счет архимедовой силы можно ощутимо снизить расход энергии на поддержание высоты и, следовательно, продлить время полета, большая парусность привязанного баллона и тот факт, что система управления и стабилизации обычного квадрокоптера не рассчитаны на такой тип полета, делают такие БПЛА непригодными для использования за пределами помещений.

Наиболее известным видом аэростатических БПЛА, на данный момент, является беспилотный дирижабль. В рамках данной работы мы не будем рассматривать три общепринятых типа дирижаблей (мягкий, полужесткий и жесткий), так как нюансы их проектирования и эксплуатации не отличаются от таких же для пилотируемых дирижаблей. В качестве исключения можно отметить, что среди беспилотных дирижаблей в основном используются мягкие аэростаты. Это связано с тем, что беспилотными, как правило, делают ЛА сравнительно небольших размеров, а создание жестких дирижаблей малых размеров нецелесообразно из-за невыгодного соотношения массы жесткой оболочки и создаваемой ею подъемной силы. Тем не менее конструкции, которые можно считать полужесткими, в беспилотных дирижаблях иногда встречаются.

Беспилотные дирижабли, как правило, выполнены в виде каплевидной оболочки, заполненной гелием, на которой закреплена гондола. Аккумуляторы (или топливные баки), передатчик и другая электроника заключены в корпусе гондолы. К ней же крепятся двигатели силовой установки. Руление осуществляется за счет хвостового оперения, подъемная сила создается за счет архимедовой силы. Управление высотой полета, осуществляется рулями высоты. Таким образом, беспилотные дирижабли практически ничем не отличаются от своих пилотируемых аналогов со всеми присущими им преимуществами и не-

достатками. К преимуществам можно отнести высокую эффективность расхода энергии на горизонтальное перемещение, т.к. энергия практически не тратится на поддержание высоты. Недостатки связаны с большой боковой парусностью таких ЛА, что делает управление ими крайне затруднительной, а иногда и вовсе невозможной задачей.



Рис. 2. Простейший БПЛА с аэростатической разгрузкой команды Horizon Vertical, компании Vendée

Чтобы нивелировать или полностью исключить недостатки беспилотных дирижаблей классической конструкции, разрабатываются и испытываются большое количество новых подходов к разработке БПЛА с аэростатической разгрузкой.

Одним из направлений таких разработок являются гибридные беспилотные дирижабли (рис. 3). Это может быть гибрид самолета и дирижабля, в котором подъемная сила создается не только за счет архимедовой подъемной силы, но и за счет придания оболочке формы крыла, чтобы создавать дополнительную подъемную силу при горизонтальном перемещении. Такой подход позволяет уменьшить парусность судна и повысить его управляемость. Но есть и недостатки – как правило, такие конструкции требуют наличия взлетной полосы и теряют возможность зависать в воздухе.



Рис. 3. Гибридные БПЛА: Nimbus EosXi – гибрид дельтаплана и дирижабля (слева) и дрон из NSS College of Engineering – гибрид квадрокоптера и дирижабля (справа)

Встречаются и более необычные гибриды. Например, было предпринято немало попыток создать гибриды аэростата и квадрокоптера, в которых оболочка с легким газом встраивается в корпус или даже выполняет несущую функцию (рис. 3, справа). Однако и в этом направлении есть свои сложности. Аэростатическая разгрузка становится целесообразной лишь при достаточно больших габаритах (от нескольких кубических метров). В то же время квадрокоптеру для перемещения в горизонтальной плоскости требуется отклоняться от горизонтального положения, что, при наличии объемной аэростатической оболочки, сильно затрудняет управление аппаратом даже при небольшом ветре.

Существует еще некоторое количество концепций и прототипов беспилотных ЛА с аэростатической разгрузкой, рассмотрение которых выходит за рамки данной работы, т.к. особенности их проектирования либо аналогичны одной из указанных групп, либо наоборот, слишком нестандартны и требуют индивидуального рассмотрения. Далее будут рассмотрены особенности и вытекающие из них методы проектирования БПЛА с аэростатической разгрузкой.

### *3. Особенности проектирования БПЛА с аэростатической разгрузкой*

При проектировании БПЛА с аэростатической разгрузкой, как правило, пользуются такими же принципами, как и при проектировании обычных аэростатов и дирижаблей. Однако можно выделить несколько особенностей.

*Особенности масштаба.* Часто размеры БПЛА стремятся сделать как можно меньше, что обуславливается экономической целесообразностью и



удобством эксплуатации. При этом, создавая ЛА, подходящих под описание беспилотных дирижаблей, многие разработчики сталкиваются с проблемой масштабирования. Соотношение между весом аэростатической оболочки и создаваемой ею подъемной силой подчиняется закону квадрата-куба. Учитывая тот факт, что в большинстве случаев в качестве заполняющего оболочку газа используют один из самых текучих газов – гелий, мы получаем некоторые минимальные требования к толщине аэростатической оболочки, и, следовательно, к ее весу, который, как правило, не может быть меньше  $100 \text{ г/м}^2$ . Таким образом, мы получаем некоторое ограничение на минимальный размер оболочки, и, следовательно, ЛА в целом. Если пренебрегать этой особенностью, то аэростатическая оболочка либо дает исчезающе маленький выигрыш по подъемной силе, но заметно ухудшает остальные летные характеристики. Попытки использовать более тонкие и легкие оболочки позволяют немного ослабить этот эффект, но за счет быстрого истечения из них гелия и слабых прочностных характеристик делают полученные таким образом БПЛА непригодными для массового использования.

*Особенности формы.* Большинство известных дирижаблей имеет сигарообразную или каплевидную форму [4,5]. Это обусловлено стремлением к наименьшему лобовому сопротивлению и, как следствие, к экономии топлива (энергии) и увеличению горизонтальной скорости полета. Вероятно поэтому большинство разработчиков современных беспилотных дирижаблей идет по такому же пути. При этом дирижабли начала 20-го века, и большинство существующих сегодня, имеют ряд трудностей, вызванных подобной формой. Из-за сильной боковой парусности для взлета и приземления большим дирижаблям требовалась причальная мачта и наземная команда. Это не является серьезной проблемой, если речь идет о ЛА, предназначенном для перевозки людей или габаритных грузов – погрузка и разгрузка все равно требуют наличия специальной техники и условий. Боковая парусность особенно сильно проявляет себя при порывистом ветре, а уменьшение габаритов дирижабля только усиливает

это влияние, ведь боковая площадь растет пропорционально квадрату линейных размеров, а взлетная масса растет по кубическому закону, как уже упоминалось выше. Таким образом, при уменьшении размеров аэростата, его инертность убывает быстрее, чем сила бокового сопротивления при заданной скорости ветра.

Для преодоления указанных трудностей производители как пилотируемых, так и беспилотных аэростатов постепенно начали менять форму аэростатических оболочек. Сохраняя каплевидную форму в боковом сечении, разработчики увеличивают оболочку в ширину, что при сохранении объема позволяет уменьшить площадь боковой поверхности и ее парусность. Разумеется, при этом несколько растет лобовое сопротивление и площадь горизонтальной поверхности, это создает некоторые новые сложности, но практический опыт показывает, что полученные преимущества их оправдывают.

*Особенности управления.* Если для беспилотных дирижаблей управление полетом мало отличается от пилотируемых ЛА, то для других типов БПЛА с аэростатической разгрузкой могут возникать ситуации, когда особенности управления должны вносить значительный эффект в конструкцию аппарата и методику пилотирования.

В качестве примера рассмотрим гибридный беспилотный аэростат, на основе мультироторной конструкции с аэростатическим баллоном дискообразной формы. Такая форма позволяет уменьшить боковое сопротивление по всем горизонтальным направлениям и призвана упростить управление дроном. Аэростатическая разгрузка уменьшает затраты энергии на поддержание высоты, а мультироторная конструкция проста в изготовлении и управлении. Однако разработчики, пошедшие по такому пути, неизбежно сталкиваются со следующей проблемой. Классический мультироторный БПЛА для горизонтального перемещения вынужден отклоняться от вертикали на некоторый угол. Для небольшого дрона с маленькой парусностью такое отклонение мало влияет на аэродинамические свойства. Однако легкий БПЛА с протяженной в горизонтальной

плоскости оболочкой при наклоне становится крайне уязвим для порывистого бокового ветра, который, в зависимости от направления может придать аппарату значительное ускорение в верхнем или нижнем направлении, что сильно затрудняет управление, а вблизи земной поверхности может представлять опасность как для БПЛА, так и для находящихся на земле людей.

Эту проблему пытаются решить размещением на корпусе ЛА не только вертикально направленных винтомоторных групп (ВМГ), но и горизонтальных. Другим вариантом решения, более перспективным по мнению автора, является использование поворотных ВМГ. Пример БПЛА с реализацией такого решения представлен на рис. 4.

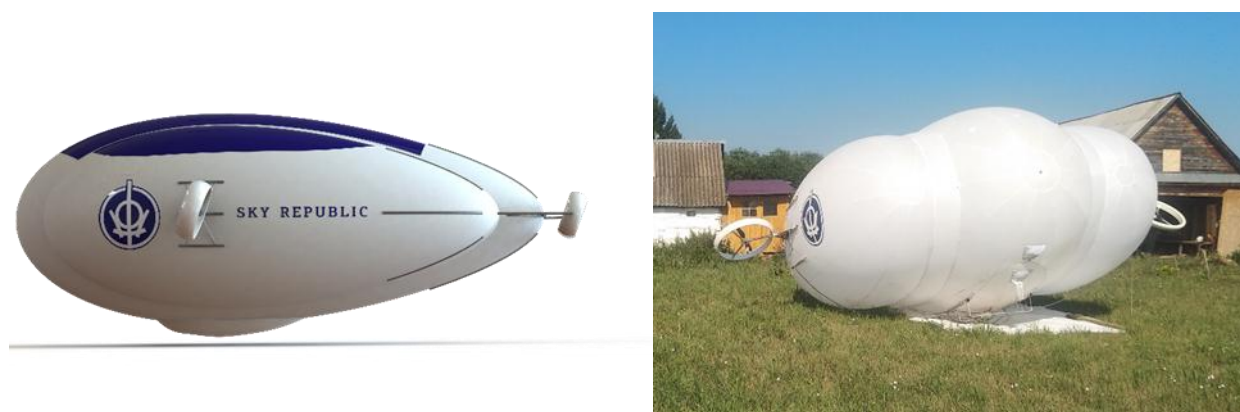


Рис. 4. Гибридный БПЛА «Sky Baby» разработанный автором в рамках проекта «Sky Republic». Компьютерная модель (слева) и реальный прототип (справа)

#### *4. Итоги*

В работе рассмотрены основные типы и конструкции БПЛА с аэростатической разгрузкой. Перечислены их преимущества и недостатки. Сформулированы особенности проектирования подобных ЛА. Перечисленные особенности были учтены автором в процессе разработки беспилотного ЛА. Форма аппарата обусловлена уменьшением бокового сопротивления, а связанные с этим проблемы большой площади горизонтальной поверхности решены путем использования поворотных ВМГ, позволяющих перемещать ЛА в горизонтальной плоскости без наклона корпуса управлять его вертикальным перемещением. Габариты (объем оболочки составляет  $60 \text{ м}^3$ ) выбраны из соображений удобства

эксплуатации и хранения, но при этом позволяют БПЛА совершать длительные полеты в погодных условиях, допустимых для малой авиации.

Дальнейшие летные испытания позволят более подробно прояснить перспективы предложенного подхода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Arjomandi M. et al. Classification of unmanned aerial vehicles //Report for Mechanical Engineering class, University of Adelaide, Adelaide, Australia. – 2006.
2. Фетисов В. С. и др. Поиск оптимального маршрута движения малого беспилотного летательного аппарата внутри лесного массива //Авиакосмическое приборостроение. – 2019. – №. 6. – С. 20-26.
3. Фетисов В. С. и др. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние //Уфа: Фотон. – 2014. – №. 217с. – С. ил.
4. Кирилин А.Н. Дирижабли // М.: МАИ, 2013. — 405 с.
5. Арие М. Я. Дирижабли. – Рипол Классик, 1986.

УДК 53.084.6

А. В. БУТОРИН, И. Ф. МАВЛЮТОВА, В. Ф. МИАЗОВ

*akim-butorin@mail.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. В. Х. ЯСОВЕЕВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **КОНСТРУКЦИЯ МАГНИТООПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА УГЛА НАКЛОНА ЛОПАСТИ ВОЗДУШНОГО ВИНТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

**Аннотация.** В статье рассматривается конструкция и схема магнитооптического датчика угла наклона лопасти воздушного винта летательного аппарата, расчеты ее основных блоков.

**Ключевые слова:** магнитооптический датчик; оптоволокно; угол наклона; воздушный винт.

На сегодняшний день существует множество принципов измерения угла наклона лопасти воздушного винта летательного аппарата. В таких системах используются волоконно-оптические датчики-преобразователи, различающиеся принципами действия [1], [2], которые являются наиболее востребованными на сегодняшний день, в частности, методы измерения частотный способ, механический способ и др.

При этом датчики должны удовлетворять ряду требований, таких как: неэлектрический способ измерения (взрывоопасная рабочая среда); герметичность (без доступа во внутреннюю среду рабочего элемента (РЭ) и без нарушения его целостности); использование закрытого измерительного канала (защита измерительного канала датчика от загрязнения внешней средой).

В ряде случаев оптические методы основаны на использовании магнитооптического эффекта, который представляет собой изменение оптических свойств вещества в зависимости от его намагниченности или от силы приложенного к нему внешнего магнитного поля.

Предлагаемое измерительное устройство состоит из магнитооптического датчика (МД), волоконно-оптической линии связи (ВОЛС), оптического приемного устройства, усилителя (У) и блока питания (БП) (рис. 1).

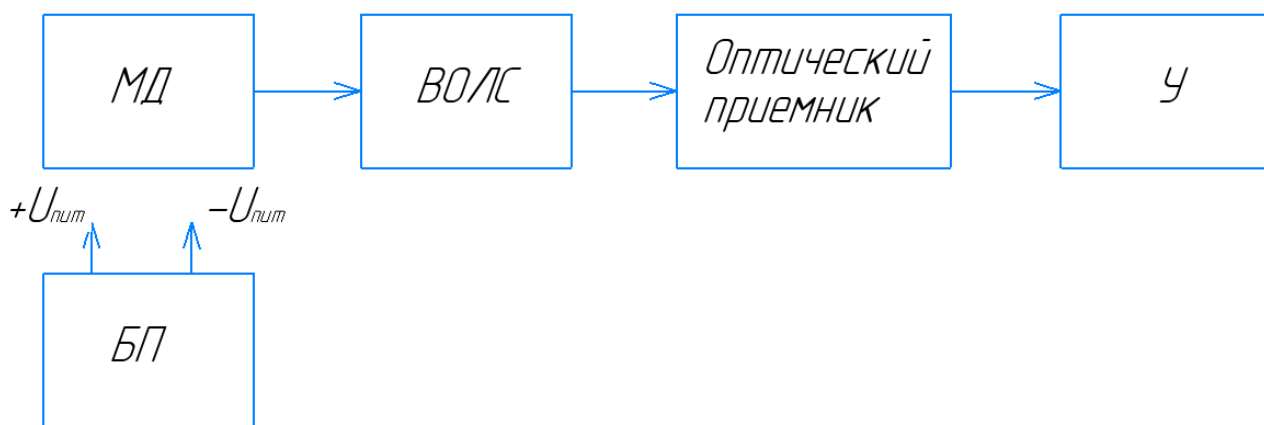


Рис. 1. Структурная схема

В свою очередь МД состоит из:

- источника излучения (лазерный светодиод);
- магнитооптического элемента [3] (пленка железо-иттриевого граната (ЖИГ)).

По оптической линии связи сигнал поступает на оптический приемник, состоящий из фотоприемника, соединенного с операционным усилителем, преобразующим фототок в напряжение.

Для создания магнитного поля, регистрируемого МД используется неодимовый магнитный диск [4] (рис. 2).



Рис. 2. Неодимовый магнитный диск

Диапазон освещенности используемого приемника излучения находится в пределах от 10 лк до  $7 \cdot 10^4$  лк, которой соответствует диапазон фототока в пределах от  $10^{-1} \cdot 10^{-6}$  А до  $6,5 \cdot 10^{-5}$  А соответственно (рис. 3). В нашем случае датчик будет расположен так, что минимальный фототок будет составлять  $10^{-6}$  А.

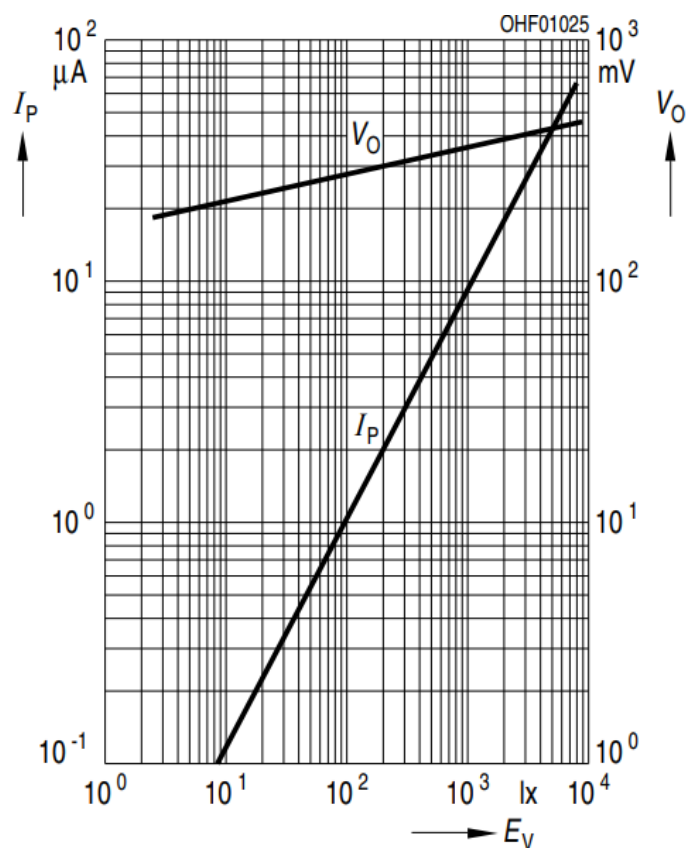


Рис. 3. График зависимости фототока и напряжения от освещенности

В качестве оптической линии связи используем одномодовый волоконно-оптический кабель, представленный на рис. 4.

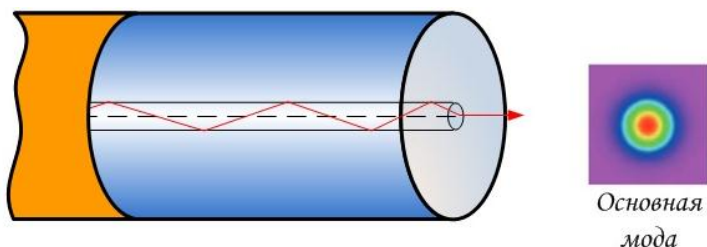


Рис. 4. Одномодовый волоконно-оптический кабель

Волоконно-оптический одномодовый кабель, имеет однотрубчатую модульную конструкцию. Световоды расположены в центральной трубке. Наполнитель надежно защищает волокна от разного рода механических воздействий, кроме того, он исключает воздействие температурных изменений внешней среды. Для защиты от грызунов и других подобных воздействий используется дополнительная оплетка из стеклоткани.

Далее согласно схеме включения операционного усилителя (ОУ) (рис. 5) были рассчитаны выходные напряжения  $U_1$  и  $U_2$  [5].

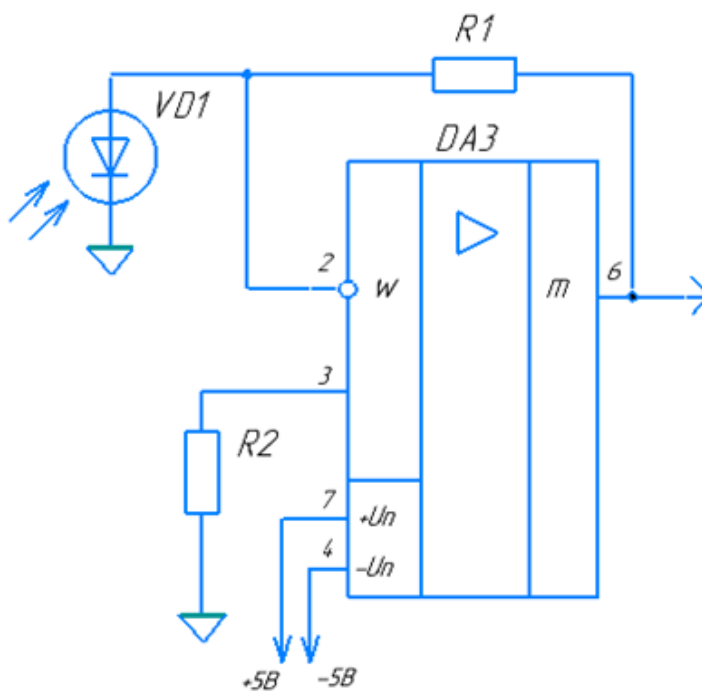


Рис. 5. Схема усилителя-преобразователя

Выходной сигнал данной схемы включения, преобразователя ток-напряжение определяется по формуле:

$$U_{\text{вых}} = R_1 \cdot I_p.$$

Примем сопротивление  $R_1=74$  кОм.

Для минимального значения фототока выходной сигнал будет составлять:

$$U_{\text{вых.min}} = R_1 \cdot I_{p\text{min}} = 74000 \cdot 10^{-6} = 74 \text{ мВ.}$$

Для максимального значения фототока выходной сигнал будет составлять:

$$U_{\text{вых,max}} = R_1 \cdot I_{p\text{max}} = 74000 \cdot 6,5 \cdot 10^{-5} = 4,8 \text{ В.}$$

На рис. 6 представлена зависимость выходного сигнала усилителя-преобразователя в зависимости от фототока оптического приемника. Наблюдаем линейную зависимость напряжения от тока.



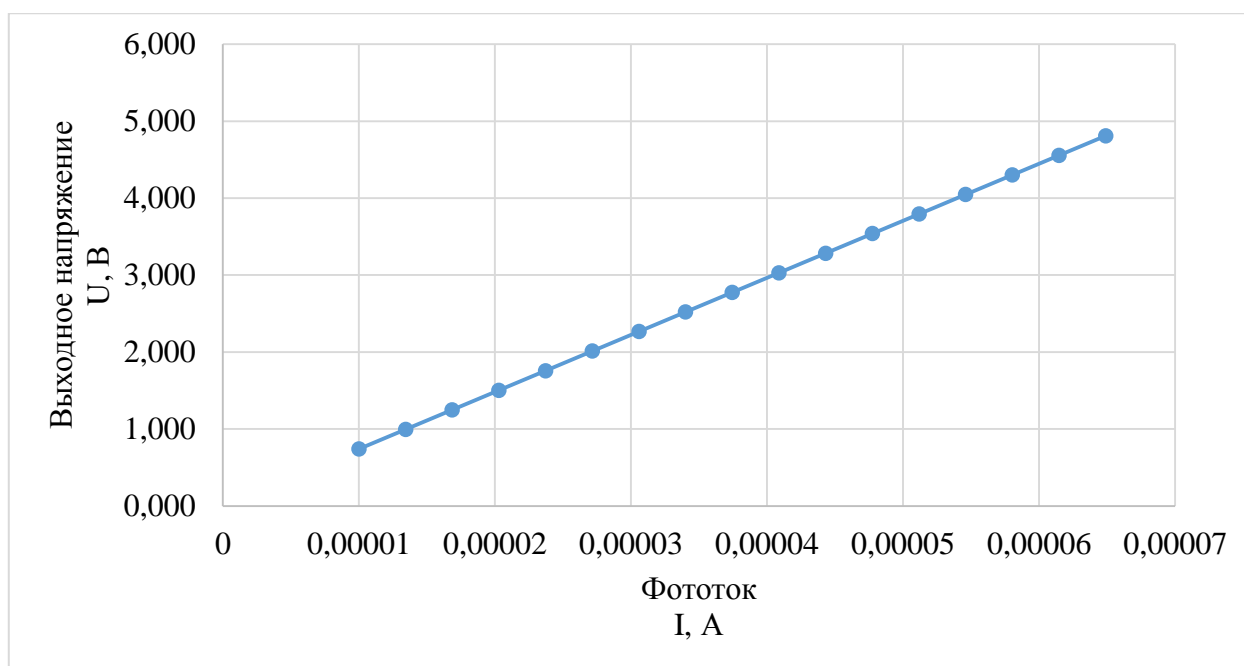


Рис. 6. Зависимость выходного напряжения от фототока

Таким образом, представлена предлагаемая конструкция, рассмотрены основные блоки измерительного устройства и рассчитаны выходные данные, построена графическая зависимость выходного напряжения от фототока приемного устройства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конюхов, Н.Е. Оптоэлектронные контрольно-измерительные устройства / Н.Е. Конюхов, А.А. Плют, П.И. Марков. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – С. 150.
2. Окоси Т. и др. Волоконно-оптические датчики. Пер. с яп. Л. // Энергоатомиздат, 1990, С. 312.
3. Матюнин С.А., Федотов Ю.А., Бабаев О.Г., Вирченко М.К., Неустроев Н.С. Волоконно-оптические сенсоры на монокристаллических пленках феррит-гранатов для мехатронных систем // Труды второй МНТК "Динамика и виброакустика машин 2014", Самара, СГАУ, 2014 г. С.737-743.
4. Арнольд Р.Р. Расчет и проектирование магнитных систем с постоянными магнитами, М., "Энергия", 1969 г.
5. Вендлэнд П. Х. Светочувствительный датчик в виде пары кремниевый фотодиод – операционный усилитель, ж. «Электроника», 1971, №11, С. 30.

УДК 621.357:544:653:23

А. В. БУТОРИН, А. Е. ШАРИПОВ

*akim-butorin@mail.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. Р. Г. ФАРРАХОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ОКСИДИРОВАНИЯ ТИТАНА GRADE 4

**Аннотация.** Представлены влияния электрических характеристик на плазменно-электролитическое оксидирование (ПЭО) на образцах из ультрамелкозернистого и крупнозернистого титана Grade 4, подобраны режим работы, электролит для проведения испытаний. **Ключевые слова:** плазменно-электролитическое оксидирование; крупнозернистый титан; ультрамелкозернистый титан; покрытие; имплантат; биосовместимость.

В настоящее время большинство имплантатов в стоматологии, остеосинтезе, хирургические инструменты производят из титана и его сплавов, применение которых обусловлено хорошими механическими свойствами и биосовместимостью. В медицине наиболее распространены, обладающие устойчивостью к коррозии, титановые сплавы. Титан обладает такими преимуществами, как легкость, прочность, высокая коррозионная стойкость, не токсичность. В ряде случаев использованию чистого титана препятствует его недостаточная прочность [1]. Для улучшения приживаемости имплантатов перспективно направление формирования пористого покрытия. Существуют следующие варианты покрытия поверхности титана: плазменное напыление, шликерное (керамическое) формирование покрытия, электрохимический способ покрытия (анодное оксидирование) [2]. Наиболее подходящим является анодное оксидирование, поскольку для создания имплантатов необходимо максимально имитировать поверхность кости, что достигается путем оксидирования. Такое покрытие может быть получено экологичным и производительным методом плазменно-электролитического оксидирования (ПЭО) [3].

Данный метод подразумевает под собой анодный процесс, проводимый под воздействием высоких напряжений, достигающих значений 400-600 В, что

способствует развитию микроразрядов, которые содействуют интенсивному росту покрытия. ПЭО покрытия обладают пористой поверхностью и предоставляют возможность включать в состав матрицы из титанового оксида такие элементы, как кальций и фосфор, способствующие улучшению биосовместимости имплантат.

Известно, что свойства оксидных покрытий, по-разному проявляют себя по истечению различных промежутков времени. Для разных марок титана и электролитов влияние начальной стадии ПЭО на свойства покрытия может быть разным. Целью работы является изучение характеристик, полученных на начальном этапе данного метода, анализ наиболее эффективного сочетания входных данных и электролита.

Для исследования процесса ПЭО использовалась автоматизированная технологическая установка, разработанная [4] в научной лаборатории исследования электролитно-плазменных процессов кафедры ЭЛИ УГАТУ технические характеристики которой показаны в табл. 1. В качестве материала образцов был использован титан марки Grade 4 двух состояний ультрамелкозернистого (УМЗ) и крупнозернистого (КЗ) титана.

Таблица 1

Технические характеристики установки для исследования ПЭО

Ток, А	до 30
Напряжение, В	-200...+600
Температура электролита, °С	1-95
Точность поддержания температуры электролита, °С	1
Точность стабилизации напряжения, В	1
Импульсные режимы	положительный униполярный, отрицательный униполярный, биполярный
Режимы постоянного напряжения	положительный, отрицательный
Частота импульсов напряжения, кГц	0-15
Скважность импульсов напряжения, %	0-100

Для более качественного оксидирования есть необходимость произвести обработку поверхности, а именно полировку, путем механического воздействия

на станке, а именно последовательная обработка на шлифовальной бумаге зернистостью P500, P1200 и P2000 для более качественной поверхности, которая позволила достичь шероховатости – до 0,15 Ra.

Образец титана крепится к титановой проволоке, которые совместно являются анодом и опускаются в электролит (2%  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ). Катодом является сама ванна-электролизер, которая заземлена.

С помощью программного обеспечения на базе среды графического программирования LabVIEW осуществляется контроль, измерение и запись электрических параметров при ПЭО. Все данные выводятся в качестве графиков и сохраняются в виде текстового документа. Согласно [5] был подобран режим обработки титановых образцов. Для задания параметров оператор вводит все значения во вкладке «Работа», а именно оксидирование производится в биполярном импульсном режиме при напряжении положительных импульсов  $U_p = 470$  В со скважностью 51% и отрицательных импульсов  $U_n = -40$  В со скважностью 26%, при частоте 300 Гц и при температуре электролита 20°C в течение 5 минут.

На рис. 1 и рис. 2 показаны графики зависимости среднего значения напряжения и плотности тока обрабатываемого титана соответственно при оксидировании от времени для двух типов образцов УМЗ (синий) и КЗ (оранжевый). В табл. 2 приведены среднее арифметические отклонения профиля и высота неровностей профиля по 10 точкам для каждого образца, данные измерения проводились с помощью профилометра TR-220.

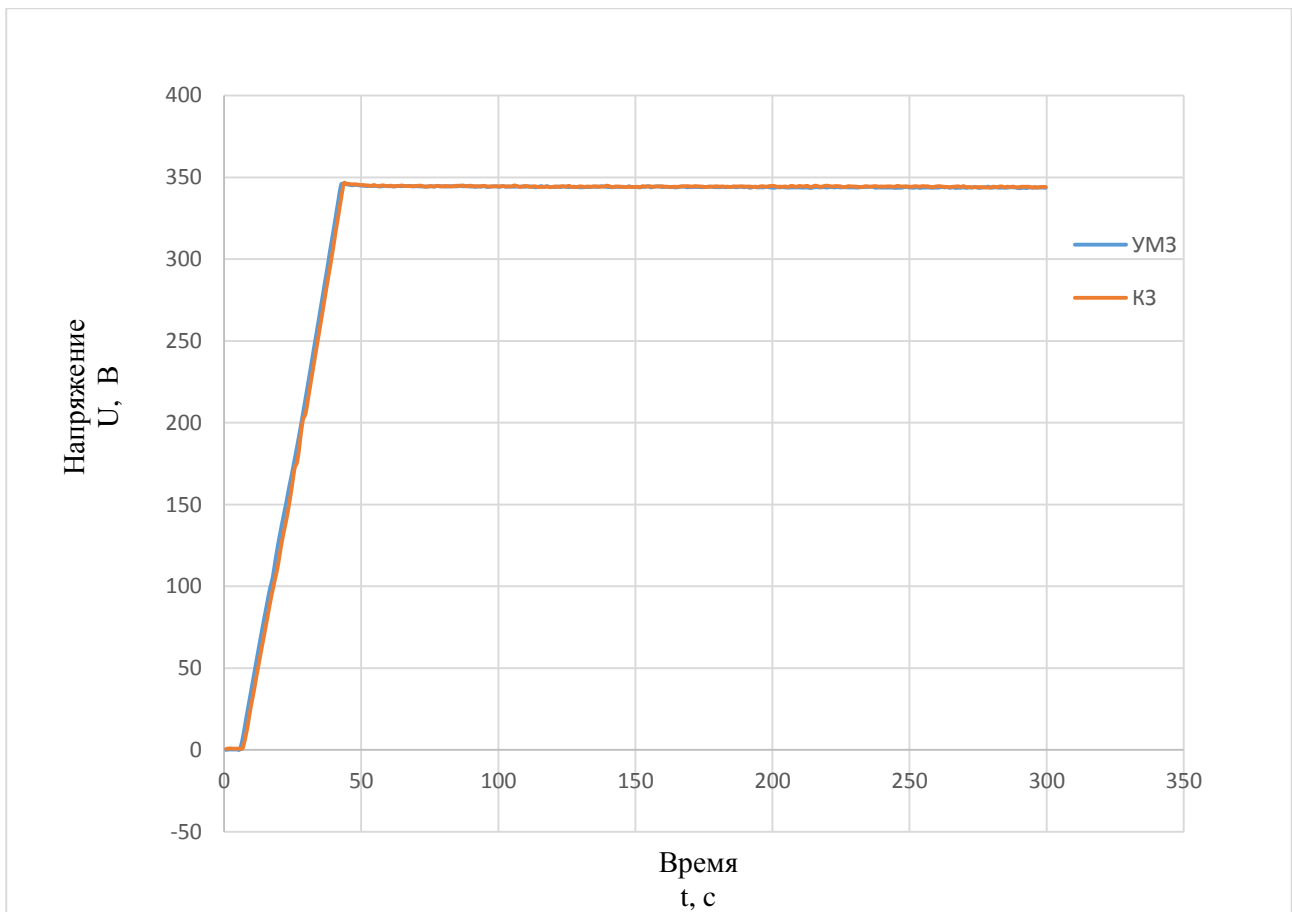


Рис. 1. График зависимости среднего значения напряжения

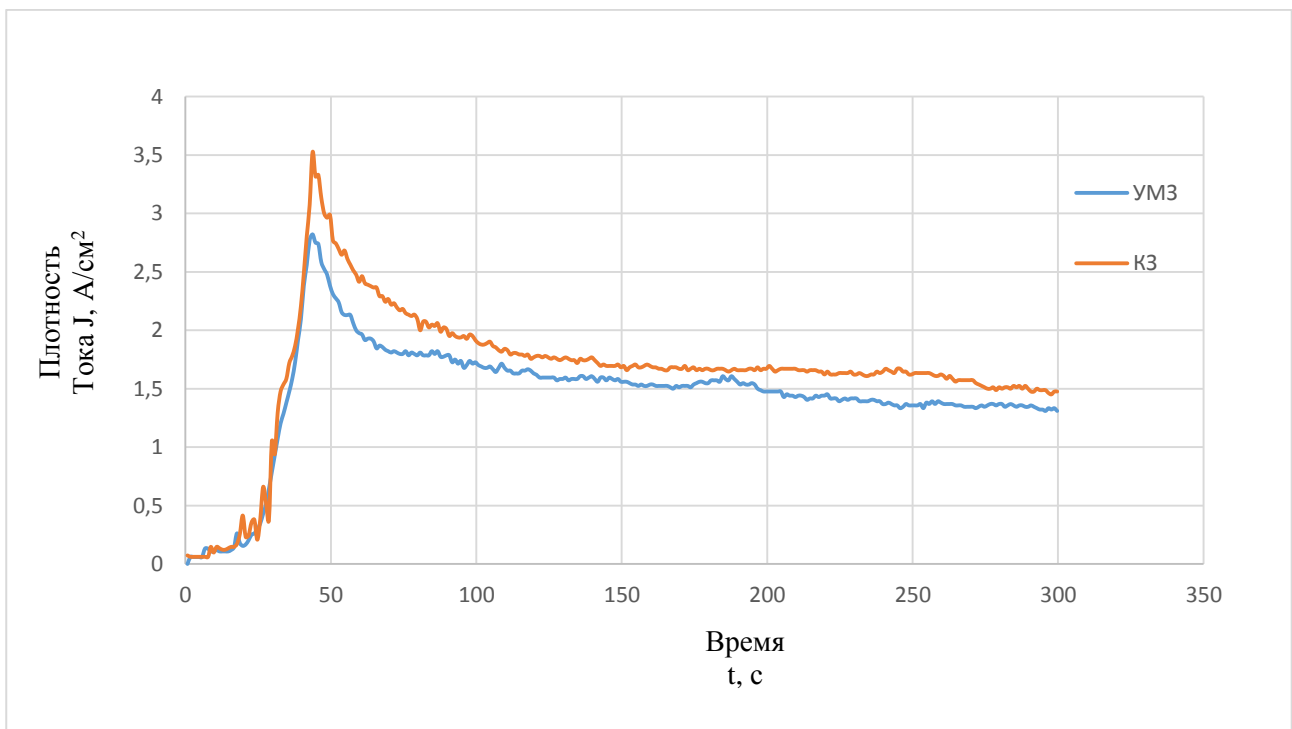


Рис. 2. График зависимости среднего значения плотности тока

Значения шероховатостей образцов после обработки

	<b>Rz</b>	<b>Ra</b>
<b>КЗ</b>	15,6±0,54	2,6±0,13
<b>УМЗ</b>	17,3±2,54	2,5±0,05

Во временном интервале от 45 до 300 с происходит нелинейное уменьшение плотности тока так как система достигает нового стационарного состояния при постоянном среднеквадратическом напряжении, а рост оксидной пленки уменьшает плотность тока. Более низкая плотность тока также приводит к более высокой шероховатости образца, что согласуется с данными, полученными в других исследованиях [6].

Таким образом, были получены экспериментальные данные, а именно, среднее значение напряжения, среднее значения плотности тока и шероховатость поверхности исследуемых образцов при плазменно-электролитическом оксидировании в экологически безопасном биосовместимом электролите.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Figueiredo R. B., Langdon T. G. Fabricating ultrafine-grained materials through the application of severe plastic deformation: A review of developments in Brazil // *Journal of Materials Research and Technology*. 2009. Vol. 1 (1). Pp. 55-62.
2. Петровская Т. С. Физико-химические основы и технологии получения биосовместимых покрытий на титановых имплантатах и регулирование их биологических свойств: автореферат дис. доктора технических наук: 05.17.11 / Петровская Татьяна Семеновна; [Место защиты: Нац. исслед. Том. политехн. ун-т]. - Томск, 2013. 44 с.
3. Plasma electrolytic oxidation (PEO) for production of anodised coatings on lightweight metal (Al, Mg, Ti) alloys / F.C. Walsh, et al. // *Transactions of the Institute of Metal Finishing*. 2009. Vol. 87 (3). Pp. 122-135.
4. Автоматизированная технологическая установка для исследования электролитно-плазменных процессов / Парфенов Е. В [и др.] // *Вестник УГАТУ*. – 2016. – Т.20, №4 (74). – С. 23-31.
5. Исследование режимов формирования покрытий методом плазменно-электролитического оксидирования на титане Grade 4 / А. Г. Стоцкий [и др.] // *Вестник УГАТУ*. – 2019. – Т. 23, № 4 (86). С. 57–64.
6. Shin, K. R.; Kim, Y. S.; Yang, H. W.; Ko, Y. G.; Shin, D.H. In vitro biological response to the oxide layer in pure titanium formed at different current densities by plasma electrolytic oxidation. *Appl. Surf. Sci.* 2014, 314, 221–227, doi:10.1016/j.apsusc.2014.06.121.

УДК 629.7.05:629.735.7

С. С. ВОЛОЩУК

*castelian150p@gmail.com*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. В. С. ФЕТИСОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ СТЕНДЫ ДЛЯ РЕГУЛИРОВКИ РЕАКЦИИ ВИНТОМОТОРНЫХ ГРУПП БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

*Аннотация.* В данной статье выполнен обзор основных подходов при регулировке реакции винтомоторных групп (ВМГ) беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) мультикоптерного типа и настройке ПИД-коэффициентов для управления ВМГ. Рассмотрены их достоинства и недостатки. Рассмотрены различные конструкции соответствующих испытательных стендов.

*Ключевые слова:* БПЛА; мультикоптер; испытательный стенд; ПИД-коэффициент; ВМГ.

В последнее время разработка и производство БПЛА различных типов является динамично развивающимся направлением техники. Особый интерес представляют небольшие БПЛА мультироторного типа – мультикоптеры благодаря их техническим особенностям и возможностям применения. Основной областью применения аппаратов данного типа является проведение аэрофото съемки, а также мониторинг различных параметров окружающей среды с использованием дополнительного оборудования на борту. Имея небольшой размер, мультикоптеры могут выполнять полет в условиях ограниченного пространства, а также в местах, нахождение в которых представляет угрозу для жизни человека.

### *Автоматизация испытаний винтомоторных групп*

Энергоэффективность мультикоптера (а также связанные с этим грузоподъемность и время полета) зависят от того, насколько правильно подобраны его ВМГ. Другими словами, для определенной задачи должны быть правильно выбраны тип двигателя, диаметр и шаг винта, а также регулятор скорости вращения двигателя (Electronic Speed Control - ESC) и источник питания (которым является, как правило, аккумуляторная батарея со свойственными ей параметрами - напряжением, емкостью и предельным током).

Большую помощь при разработке мультикоптеров оказывают различные устройства для испытания ВМГ. В простейшем случае это динамометры для измерения тяги, развиваемой ВМГ (как правило, до 5 кгс). Несколько фирм выпускают различные испытательные стенды для измерения тяги и других параметров ВМГ. На этом рынке известны бренды Turnigy, Racerstar и др.

Часто индикация измеренных результатов осуществляется на жидкокристаллическом индикаторе, размещенном непосредственно на самом стенде. Для небольших ВМГ это оправдано. Так, на испытательном стенде Thrust Stand V3 от компании Racerstar есть два индикатора, на одном из которых индицируется тяга в выбранных единицах (в граммах, унциях и др.), а на другом другие результаты измерений и вычислений: ток, напряжение, мощность, частота вращения, КПД, коэффициент KV (отношение частоты вращения к напряжению).

Однако для того, чтобы предоставить разработчику больше свободы в организации испытаний, такие стенды, конечно, необходимо подключать к компьютеру с соответствующим сервисным программным обеспечением [1].

#### *НПЛ-системы для исследования управляющих контроллеров ВМГ*

Hardware In the Loop (НПЛ) - это метод, который используется при разработке и тестировании сложных встраиваемых систем реального времени. Делается это с помощью специализированных стендов, на которых математическая модель объекта управления работает в реальном времени, а испытываемый блок управления (Device Under Test или DUT) подключается к этому стенду и управляет моделью объекта. Объектом интереса является сам контроллер или блок управления. В нашем случае для испытаний отдельно взятой ВМГ в контур управления необходимо включить математическую модель ВМГ, а испытываемыми объектами могут быть реальный регулятор скорости вращения двигателя (Electronic Speed Control) и алгоритм поддержания тяги на заданном уровне.

НПЛ-эмуляция отличается от чисто компьютерного моделирования, т.к. она включает в себя реальное аппаратное обеспечение и не ограничивается программным представлением полного контура управления [2, 3].

Удобство применения НПЛ-метода при разработке алгоритмов управления ВМГ или мультикоптером в целом заключается в том, что реальные ВМГ или



мультикоптер заменены их моделями, что позволяет выяснить все особенности управления еще до этапа натурных испытаний.

### *ПИД-регуляторы*

Пропорционально-интегрально-дифференцирующий (ПИД) регулятор — устройство в управляющем контуре с обратной связью. Используется в САУ для формирования управляющего сигнала с целью получения необходимых точности и качества переходного процесса. ПИД-регулятор формирует управляющий сигнал, являющийся суммой трех слагаемых, первое из которых пропорционально разности входного сигнала и сигнала обратной связи (сигнал рассогласования), второе — интегралу сигнала рассогласования, третье — производной сигнала рассогласования.

Пропорциональная составляющая вырабатывает выходной сигнал, противодействующий отклонению регулируемой величины от заданного значения. Оно тем больше, чем больше это отклонение. В случае, когда входной сигнал равен заданному значению, выходной равен нулю.

Однако при использовании только пропорционального регулятора значение регулируемой величины никогда не стабилизируется на заданном значении. Существует так называемая статическая ошибка, которая равна такому отклонению регулируемой величины, которое обеспечивает выходной сигнал, стабилизирующий выходную величину именно на этом значении.

Чем больше коэффициент пропорциональности между входным и выходным сигналом (коэффициент усиления), тем меньше статическая ошибка, однако при слишком большом коэффициенте усиления при наличии задержек (запаздывания) в системе могут начаться автоколебания, а при дальнейшем увеличении коэффициента система может потерять устойчивость.

Интегрирующая составляющая пропорциональна интегралу по времени от отклонения регулируемой величины. Ее используют для устранения статической ошибки. Если система не испытывает внешних возмущений, то через некоторое время регулируемая величина стабилизируется на заданном значении, сигнал пропорциональной составляющей будет равен нулю, а выходной сигнал будет полностью обеспечиваться интегрирующей составляющей. Однако, инте-

грирующая составляющая также может приводить к автоколебаниям при неправильном выборе ее коэффициента.

Дифференцирующая составляющая пропорциональна темпу изменения отклонения регулируемой величины и предназначена для противодействия отклонениям от целевого значения, которые прогнозируются в будущем. Отклонения могут быть вызваны внешними возмущениями или запаздыванием воздействия регулятора на систему.

На рисунках 1-4 показаны последовательные стадии настройки ПИД-коэффициентов в контуре регулирования. В итоге достигается приемлемое качество переходного процесса с минимальной временной задержкой.

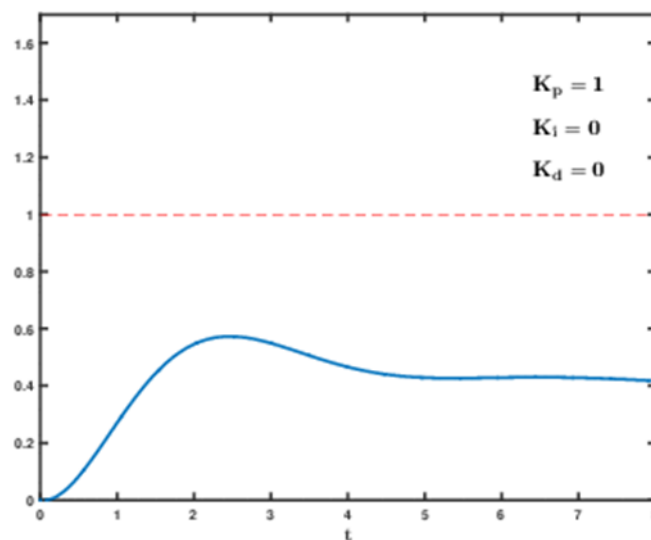


Рис. 1. Пример сигнала до настройки коэффициентов регулирования

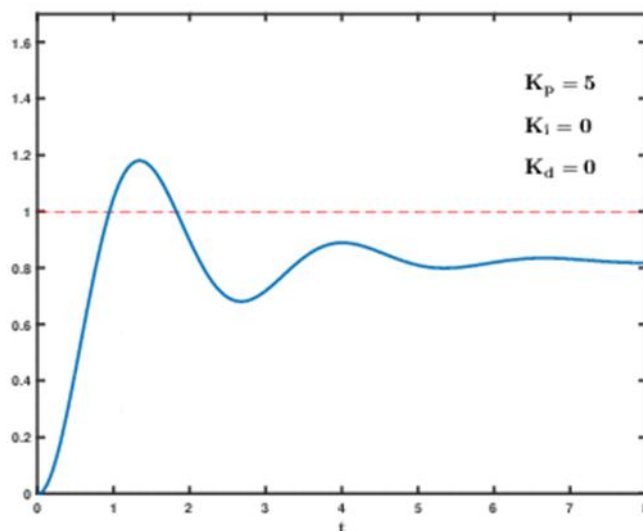


Рис. 2. Вид сигнала после настройки пропорционального коэффициента

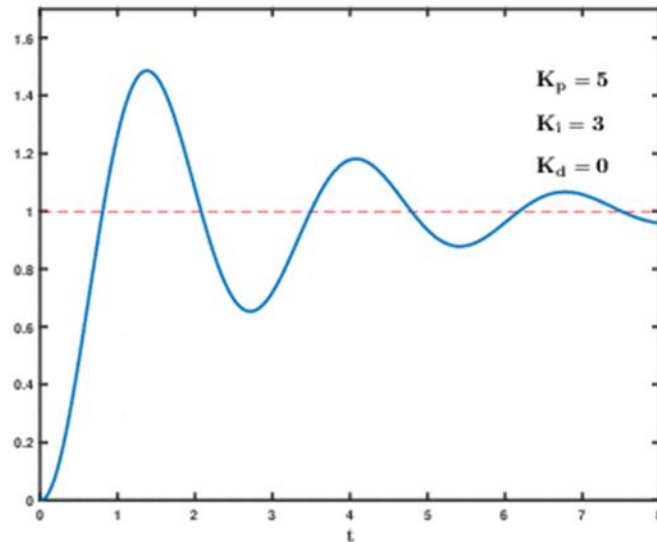


Рис. 3. Вид сигнала после настройки интегрального коэффициента

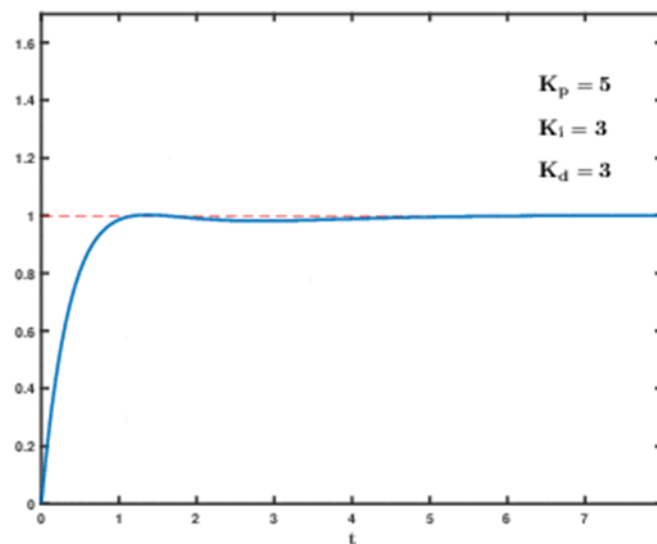


Рис. 4. Вид сигнала после настройки дифференциального коэффициента

Назначение ПИД-регулятора — в поддержании заданного значения  $r$  некоторой величины  $y$  с помощью изменения другой величины  $u$ . Значение  $r$  называется *заданным значением* (или *уставкой*, в технике), а разность  $e=(r-y)$  — *невязкой* (или *ошибкой [регулирования]*, в технике), рассогласованием или отклонением величины от заданной.

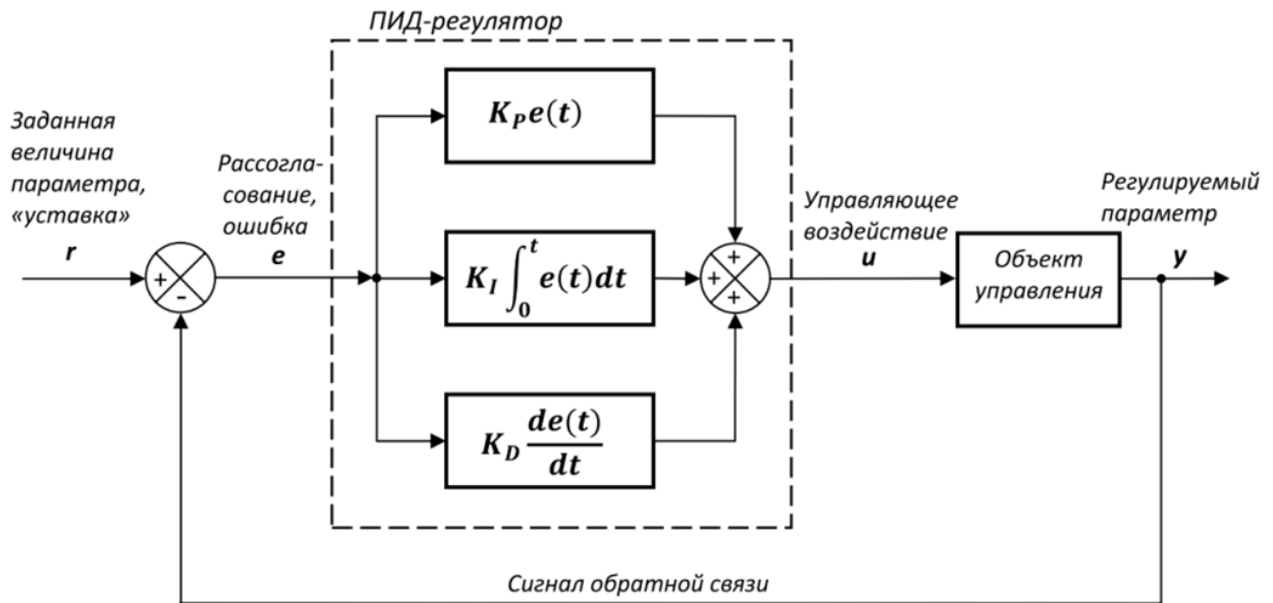


Рис. 5. Структурная схема ПИД-регулятора

Передаточная функция в обобщенном виде будет иметь следующий вид:

$$u(t) = k_n e(t) + \frac{1}{T_u} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (1)$$

где  $u(t)$  – величина рассогласования между заданным значением регулируемой величины и ее фактическим значением, снимаемым с датчика обратной связи:  $e(t)$  – управляющее воздействие, подаваемой на вход объекта управления [4, 5, 6].

#### *Типы креплений БПЛА на испытательных стендах*

*Шарнирное крепление.* На таком стенде мультикоптер закреплен сверху на шаровом шарнире (рисунок 6, а) или подвешен на нем (рисунок 6, б) и имеет возможность изменять крен и тангаж. Однако, очевидным минусом подобных испытательных установок является то, что высота постоянна. Естественно, можно установить шарнирное крепление с регулируемой высотой и достаточно точно настроить коэффициенты, отвечающие за крен, тангаж и рыскание, но для свободного полета потребуется некоторое уточнение этих коэффициентов.

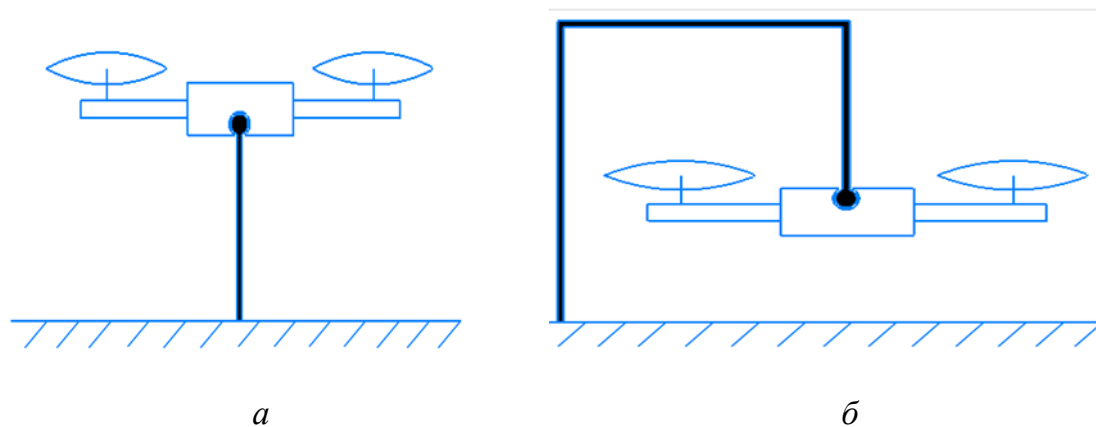


Рис. 6. Крепление БПЛА на шарнирах

*Пружинное крепление.* Представляет собой крепление амортизирующих тросов от земли к днищу, боковым панелям, находящимся между двигателями, или к самим двигателям (рисунок 7). Данный тип крепления БПЛА на испытательной установке является более предпочтительным, нежели предыдущий, так как дает больше степеней свободы при тестовых подъемах. Теперь у мультикоптера имеется возможность за счет тяги изменять высоту, однако, этот способ установки тоже имеет недостаток: ограниченная свобода углового перемещения по рысканью.

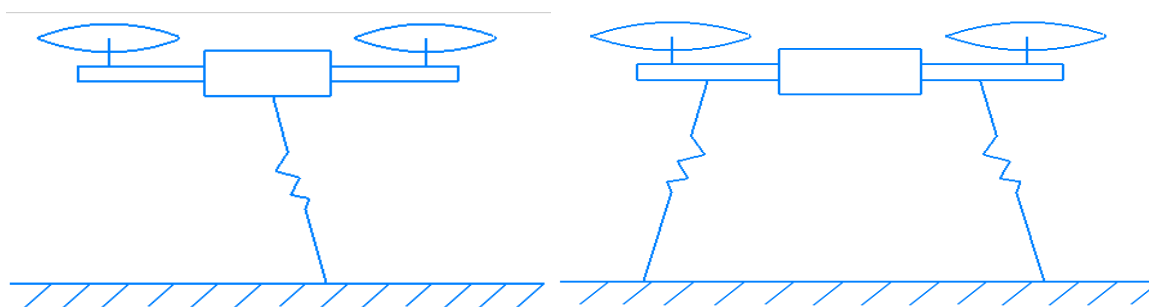


Рис. 7. Крепление БПЛА на амортизаторах

*Крепление с перемещением вдоль троса.* Этот способ является самым предпочтительным вариантом для креплений БПЛА на калибровочной установке, по причине наличия максимального количества степеней свободы для перемещения в пространстве по сравнению с рассмотренными вариантами. Это уже оговоренные крен и тангаж, к которым добавляется возможность проверить угловое перемещение по рысканью и поступательное перемещение по вертикали

без ограничений, накладываемых жестким креплением на шарнире или пружинными креплениями.

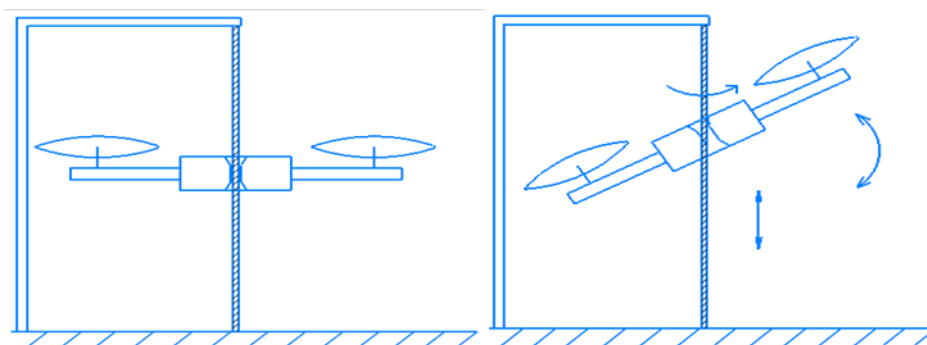


Рис. 8. Крепление с перемещением вдоль троса

Выглядит этот способ крепления следующим образом. В центре корпуса мультикоптера выполнено сквозное отверстие со вставленной в него развальцованной с обеих сторон втулкой. Втулка выполнена из антифрикционного материала, например, из оловянистой бронзы. Через это отверстие проходит трос, двигаясь вдоль которого, БПЛА может изменять свое положение по высоте, а также в широких пределах изменять угловое положение по рысканью ( $\pm 360^\circ$ ), тангажу и крену ( $\pm 30^\circ$ ). Стенд пригоден для проверки тяги ВМГ, также, как и в случае с креплением на тросы к днищу или боковым панелям, что не позволяет шарнирное крепление. В то же время доступны корректные регулировки ПИД-коэффициентов для углового (вращательного) движения вокруг всех трех осей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фетисов В.С., Мирская И.В., Кильметов Р.А., Автоматизация испытаний винтомоторных групп малых беспилотных летательных аппаратов // Перспективные информационные технологии (ПИТ-2018): труды международной научно-технической конференции, Самара: Изд-во Сам. НЦ РАН, 2018. С.217-220.
2. Kim J., Kang M., Park S., Accurate Modeling and Robust Hovering Control of a Quadrotor VTOL Aircraft // Journal Of Intelligent & Robotic Systems, vol. 57, Jan. 2010, pp. 9-26.
3. Watanabe K., Okamura K., Tanaka K., Izumi K., A discontinuous control of VTOL aerial robots with four rotors through a chained form transformation // Control, Automation and Systems, 2008. Proceedings of ICCAS 2008 International Conference, pp. 804 -809.
4. Гэн КэКэ , Чулин И.А. Алгоритмы стабилизации и управления полетом квадрокоптера // Молодежный научно-технический вестник. Изд. ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Баумана», эл.№ ФС77-51038 [Электронный ресурс]: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/741260.html>

5. Дахер С. Мехатронная система управления полетом квадрокоптера и планирование траектории методами оптической одометрии: автореферат дисс.канд.техн.наук по спец. 05.02.05 «Роботы, мехатроника и робототехнические системы», Новочеркасск, 2015.
6. Чжо Мьят Ту. Моделирование системы автоматического управления квадрокоптером на основе Л1 адаптивного управления // Интернет-журнал «Науковедение», Т.9, № 6 (2017) [Электронный ресурс]: <https://naukovedenie.ru/PDF/66TVN617.pdf>

УДК 681.21

Л. Х. ГАЛИМОВА, В. В. НЕРЕТИНА

*li.ya.08@mail.ru, neretina@bk.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. В. В. НЕРЕТИНА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ БПЛА К ЦЕЛИ В ТРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ**

**Аннотация.** Предлагается нечеткая модель формирования пространственной траектории движения БПЛА к цели, в которой входными лингвистическими переменными являются угол отклонения БПЛА от цели по горизонтали, расстояние от БПЛА до цели по вертикали и расстояние от БПЛА до цели по горизонтали. Для достижения цели выполняется изменение угла поворота в горизонтальной плоскости, высоты полета и скорости движения БПЛА.

**Ключевые слова:** нечеткая модель; БПЛА; траектория движения; лингвистическая переменная; нечеткая логика.

Анализ исследований отечественных и зарубежных научных коллективов показывает, что в настоящее время активно ведутся работы по созданию автономных мобильных роботов воздушного, наземного и подводного базирования в широком спектре габаритных размеров. При создании мобильных роботов, к которым можно отнести и БПЛА, активно применяются такие интеллектуальные технологии, как нечеткая логика, искусственные нейронные и нейро-нечеткие сети, генетические алгоритмы [1].

Одним из наиболее перспективных инструментов для реализации систем управления мобильными роботами является нечеткая логика, так как обладает возможностью представления числовых значений с помощью лингвистических переменных и формирования на их основе эффективных решений в условиях неопределенности и неполноты данных о состоянии окружающей среды.

При решении задачи достижения цели подвижным объектом примем следующие положения [2]:

– при передвижении подвижного объекта применяются две отдельные нечеткие модели «движение к цели» и «обход препятствия»;

– выбор нечеткой модели выполняется координирующим уровнем в зависимости от ситуации.



Нечеткая модель «обход препятствия» в трехмерной среде была подробно рассмотрена в статье [3]. В настоящей работе предлагается нечеткая модель «движение к цели» при формировании пространственной траектории движения БПЛА.

В качестве входных параметров будем использовать лингвистические переменные:  $\Theta h$  – угол отклонения от цели по горизонтали;  $Dv$  – расстояние от БПЛА до цели по вертикали;  $Dh$  – расстояние от БПЛА до цели по горизонтали.

Выходные параметры нечеткой модели представлены переменными:  $R$  (Rotation) – изменение угла поворота БПЛА в горизонтальной плоскости;  $H$  (Height) – изменение высоты полета;  $V$  (Velocity) – изменение скорости движения.

Терм-множества входных и выходных переменных имеют вид:

$T(\Theta h) = \{LB \text{ (Left Big), } LS \text{ (Left Small), } F(\text{Front}), RS \text{ (Right Small), } RB \text{ (Right Big)}\},$

$T(Dv) = \{BB \text{ (Below Big), } BS \text{ (Below Small), } Z(\text{Zero}), HS \text{ (Higher Small), } HB \text{ (Higher Big)}\},$

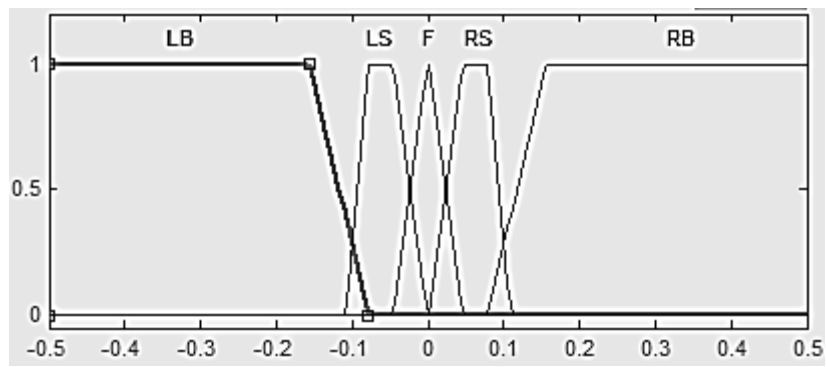
$T(Dh) = \{N \text{ (Near); } M \text{ (Middle); } F \text{ (Far)}\},$

$T(\text{Rotation}) = \{LB \text{ (Left Big), } LS \text{ (Left Small), } F(\text{Front}), RS \text{ (Right Small), } RB \text{ (Right Big)}\},$

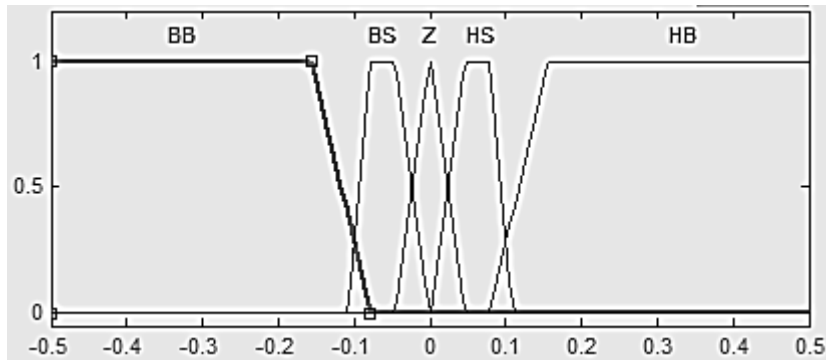
$T(\text{Height}) = \{DB \text{ (Down Big), } DS \text{ (Down Small), } Z(\text{Zero}), US \text{ (Up Small), } UB \text{ (Up Big)}\},$

$T(\text{Velocity}) = \{ZV \text{ (Zero Velocity); } SV \text{ (Slow Velocity); } FV \text{ (Full Velocity)}\}.$

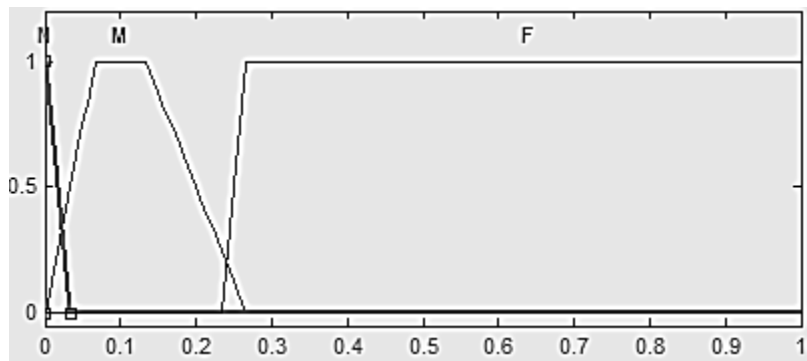
Функции принадлежности входных и выходных переменных показаны на рис. 1–2. Значения входных и выходных переменных даны в нормированном виде.



*a*

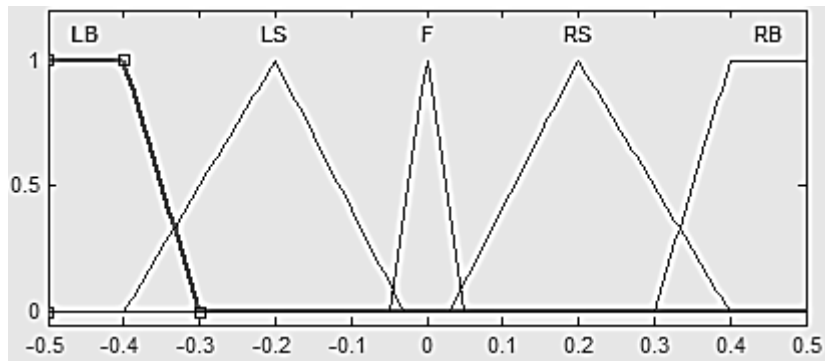


*б*

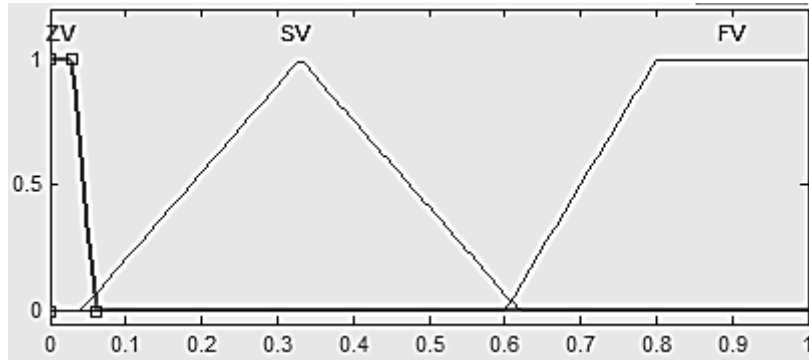


*в*

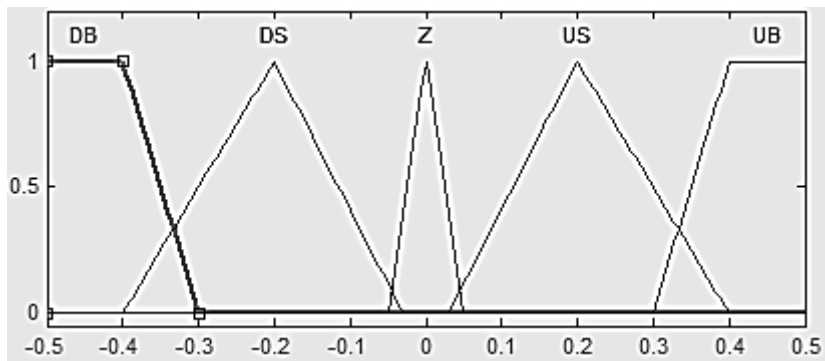
Рис. 1. Функции принадлежности входных лингвистических переменных:  
*a* –  $\Theta h$ ; *б* –  $Dv$ ; *в* –  $Dh$



*a*



*б*



*в*

Рис. 2. Функции принадлежности выходных лингвистических переменных:  
*a* – *Rotation*; *б* – *Velocity*; *в* – *Height*

Далее сформирует нечеткую базу правил вида IF–THEN [4]:

$$R^{(l)}: \text{IF } x_1 \text{ is } A_1^l \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_n^l, \text{ THEN } y_n \text{ is } B_n^l,$$

где  $l = 1, \dots, m$ ,  $l$  – номер правила в данной нечеткой базе правил;  $x_1, \dots, x_n$  – входные переменные, которые являются данными от датчиков подвижного объекта;  $A_1^l, \dots, A_n^l$  – нечеткие входные множества;  $B_n^l$  – нечеткие выходные множества;  $y_n$  – выходные переменные.

Так как общее число сочетаний всех термов входных переменных равно  $5 \times 5 \times 3 = 75$ , то и количество нечетких правил в модели также должно быть равно 75. Такое большое число правил существенно усложняет создание нечеткой модели и анализ результатов ее работы.

Для упрощения модели примем некоторые допущения. Предположим, что сначала БПЛА движется в горизонтальной плоскости до проекции точки цели на эту плоскость, а затем меняет свою высоту. В этом случае база правил будет иметь вид, показанный в табл. 1. Прочерк в ячейке табл. 1 означает, что значение этой переменной не учитывается в нечетком правиле. Во всех правилах в качестве логической связки для подусловий применяется только нечеткая конъюнкция (операция "И").

Таблица 1

Правила продукций для нечеткой модели «Движение к цели»

№ правила	Входные переменные			Выходные переменные		
	<i>Oh</i>	<i>Dh</i>	<i>Dv</i>	<i>Rotation</i>	<i>Velocity</i>	<i>Height</i>
1	LB	F	–	LB	FV	Z
2	LS	F	–	LS	FV	Z
3	F	F	–	F	FV	Z
4	RS	F	–	RS	FV	Z
5	RB	F	–	RB	FV	Z
6	LB	M	–	LB	SV	Z
7	LS	M	–	LS	SV	Z
8	F	M	–	F	SV	Z
9	RS	M	–	RS	SV	Z
10	RB	M	–	RB	SV	Z
11	LB	N	–	LB	ZV	Z
12	LS	N	–	LS	ZV	Z
13	RS	N	–	RS	ZV	Z
14	RB	N	–	RB	ZV	Z
15	F	N	BB	F	ZV	DB
16	F	N	BS	F	ZV	DS
17	F	N	Z	F	ZV	Z
18	F	N	HS	F	ZV	UB
19	F	N	HB	F	ZV	US

Для реализации нечеткой модели управления движением БПЛА к цели и анализа полученных результатов поведения модели можно воспользоваться средствами пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB [4, 5].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоглазов Д.А., Косенко Е.Ю., Коберси И.С., Соловьев В.В., Шаповалов И.О. Интеллектуальное управление движением автономных подвижных объектов на основе поведенческого подхода // Инженерный вестник Дона, №3. 2015 г. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_26\\_Beloglazov .pdf\\_d870d1843d.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_26_Beloglazov.pdf_d870d1843d.pdf).
2. Интеллектуальное планирование траекторий подвижных объектов в средах с препятствиями / Под ред. В.Х. Пшихопова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. – 304 с.
3. Неретина В. В., Нафиков И. Р. Формирование траектории движения БПЛА при наземном мониторинге лесных экосистем на основе аппарата нечеткой логики [Текст] / В. В. Неретина, И. Р. Нафиков // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития научно-технологического пространства России» (11 июня 2020 г., г. Белгород). – Белгород: ООО Агентство перспективных научных исследований (АПНИ), 2020. – С.27-34.
4. Круглов В. В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 227 с.
5. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

УДК 3.3

А. С. ГАНИЕВА, А. А. БАЙБОЛДИНА

*adelina.ganieva.2000@mail.ru*

Науч. руковод. – ст. преп. Л. Р. ФАРХУТДИНОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ**

**Аннотация.** В данной статье рассматривается роль медицинских технологий в современную эпоху, а также их применение и проблемы, с которыми сталкиваются инженеры при создании оборудования, необходимого для повседневной медицинской деятельности.

**Ключевые слова:** новые технологии; медицинская техника; повышение эффективности использования медицинского оборудования.

Медицина сегодня вышла на новый уровень качества и эффективности, во многом благодаря динамичному развитию медицинских технологий. Современное медицинское оборудование открывает перед государственными и частными клиниками новые возможности для восстановления здоровья людей, prolongation активной созидательной жизни. Открытие медицинских центров с новейшим оборудованием стимулирует конкуренцию в этой сфере и способствует росту качества услуг.

Бесспорно, что опыт и квалификация врачей, их профессиональная подготовка имеют решающее значение для завоевания доверия пациентов и создания благонадежной репутации клиники. Но медицина XXI века немыслима без современного оборудования, которое превращается в руках профессионалов в совершенный инструмент борьбы за здоровье и жизнь человека. Поэтому компетентность докторов и качество диагностического и лечебного оборудования – это две составляющие единой благородной цели и главные критерии при выборе клиники.

Новые технологии – одна из обязательных составляющих подготовки студентов медицинских ВУЗов и приоритетное направление повышения квалификации докторов. Медицинское оборудование становится все более точным,

эффективным, безопасным. Рынок технологий постоянно обновляется. Для того чтобы успешно практиковать в таких условиях, необходимо системное изучение возможностей новой медицинской техники.

В наше время на службу медицине поставлены самые последние достижения науки и техники. Температуру тела больного человека врач может узнать не только с помощью градусника, но и специальных жидкокристаллических пленок, накладываемых на нужные участки тела. Жидкие кристаллы чутко реагируют на самые, казалось бы, малозначительные изменения температуры и окрашиваются в зависимости от этого в разные цвета. Температура измеряется с точностью до десятых и даже сотых долей градуса, к тому же наглядно видно ее распределение по поверхности тела. Такие же термограммы можно получить при помощи приемников инфракрасного излучения и тепловизоров. Таким образом, медицинские работники получили возможность точнее определять очаги воспалений, места образования опухолей и т. д.

Широко используется в медицине рентгеновская техника, позволяющая получать фотоснимки внутренних органов. Специальная методика рентгенологического исследования — томография — дает возможность производить снимки слоя, лежащего на определенной глубине исследуемых органов: легких, почек и др. Получение послойного снимка основано на перемещении двух из трех компонентов (рентгеновской трубки, пленки и объекта исследования). В последнее время для получения рентгеновских изображений в нужном ракурсе применяют вычислительную технику.

Применение ультразвука для диагностики болезней основано на свойстве ультразвуковых волн отражаться от границ, разделяющих среды, имеющие даже очень небольшую разницу в плотности.

Некоторые заболевания внутренних органов (пищевода, желудка и др.) удается обнаружить с помощью особого оптического прибора — эндоскопа. Тонкий гибкий пучок стеклянных волокон из специального оптического стекла

вводится внутрь органа. Такой световод освещает исследуемый участок и передает его изображение в фотокамеру или на телеэкран.

Одно из последних достижений науки и техники — биосенсоры — миниатюрные устройства, объединяющие в себе детекторы и компьютер. Такой биосенсор в течение нескольких секунд может провести анализ десятков компонентов крови. Итак, техника помогает врачам провести анализ состояния больного, поставить диагноз болезни.

В иных случаях, к сожалению, одних лекарств для излечения человека недостаточно. Необходима операция. И снова на помощь хирургу и больному приходит современная медицинская аппаратура. Световой луч лазера останавливает кровотечение, устраняет дефекты кожи, проводит рассечение тканей намного быстрее и точнее обычного скальпеля. Во время сложнейших операций, проводимых на сердце, легких или почках, неоценимую помощь врачам оказывают аппараты, которые так и называются: «искусственное сердце», «искусственные легкие», «искусственная почка». Они принимают на себя функции оперируемых органов, позволяют на время приостановить их работу.

Современная медицинская техника позволяет даже заменить частично или полностью больные органы человека. Электронный водитель сердечного ритма, усилитель звука для глухих, хрусталик из специальной пластмассы — вот только некоторые примеры использования техники в медицине. Все большее распространение получают также биопротезы, приводимые в действие миниатюрными блоками, которые реагируют на биотоки в организме человека.

Конструирование медицинской техники — многокомпонентный, сложный и затратный процесс. Это создание различных изделий медицинского назначения с составлением их проектов (графических изображений, технических и экономических расчетов и т. п.), проработкой и сопоставлением возможных различных вариантов конструкций и способов изготовления деталей, изготовлением образцов, исследованием их соответствия техническому заданию и оценкой качества. Мыслительная и практическая деятельность здесь



направлена на то, чтобы сделать вещь, предметы, которые несут в себе элемент новизны, не повторяют и не дублируют, в отличие от моделирования, действительные объекты. Обычно конструирование начинают со зрительного представления изделия, составления его эскизов, технических рисунков, чертежей. Затем подбирают необходимые материалы. Далее изготавливают опытный образец изделия или само изделие, испытывают его на прочность и работоспособность, дорабатывают с учетом недостатков, и так повторяют многократно, от одного варианта к другому, до создания наилучшего изделия согласно его назначению.

Неэффективное использование медицинского оборудования является результатом совокупности причин, таких как:

- отсутствие квалифицированного медицинского персонала, прошедшего курсы обучения или повышения квалификации и допущенного к работе с конкретной медицинской техникой;
- отсутствие должной и своевременной технической поддержки медицинского оборудования;
- отсутствие русифицированной инструкции к иностранной медицинской технике;
- отсутствие автоматизированных информационных систем по учету медицинского оборудования;
- дорогостоящий ремонт медицинского оборудования.

Полагаем, для эффективного использования медицинского оборудования необходима своевременная квалификация медицинского персонала, прохождение обучения для работы на высокотехнологичном дорогостоящем оборудовании. Целесообразно внедрять специальные автоматизированные информационные системы по учету медицинского оборудования. Социальный эффект от внедрения базы данных обусловлен автоматизацией учета оборудования. Использование разработанной базы данных позволит сократить время на написание перечня и исключить ошибки в расчетах. Достоинствами разработанной ба-

зы данных являются минимальные трудовые затраты на обслуживание, которое заключается лишь в добавлении или удалении поступившего или списанного оборудования.

Именно устранение данных проблем и является правильным путем повышения эффективности использования медицинского оборудования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медицинская аппаратура: справочное пособие / под ред. С.А. Попова, Т.Д. Селезневой, М.Ю. Ишманова, С.А. Попович – М.: ЭКСМО, 2007. - 608 с. – Допущено М-вом образования и науки РФ. – ISBN 978-5-699-24312-9.
2. Алексеев Л. П. «Утки»-убийцы, или Социальные аспекты биотехнологии// Экология и жизнь. — 2005. — № 5. — С. 64–66.
3. Антипова Л. В. Прикладная биотехнология. — СПб.: ГИОРД, 2003. — 288 с.
4. Амоян Э.Ф., Калинина В.А. Оптимизация использования медицинского оборудования в лечебно-профилактических учреждениях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 11-4. – С. 590-591.
5. <http://medbuy.ru/articles/sovremennoe-medicinskoe-oborudovanie--budushhee-mediciny> - Роль современного медицинского оборудования (дата посещения – 27.09.2021).

УДК 53.087.62

Э. И. ИДИЯТОВА, В. В. НИКОЛАЕВА, А. Ю. ДЕМИН

*Nikolaeva.valeriya0505@gmail.com*

Науч. руковод. – д-р. техн. наук, проф. А. Ю. ДЕМИН

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА

**Аннотация.** В статье показан вариант прибора для регистрации мышечного биопотенциала в области глаз, а также постоянного биопотенциала глаза. Приведен вариант технического решения данного прибора.

**Ключевые слова:** постоянный потенциал глаза; моделирование; испытание; сборка.

Изучение электрических параметров биологических объектов является активно развиваемым направлением в Уфимском государственном авиационном техническом университете [4-8]. Одним из методов ранней диагностики нарушений процессов в сетчатке является регистрация изменений биоэлектрической активности – электроокулография, которая используется для регистрации значений постоянного потенциала (ПП) человеческого глаза. ПП является одним из параметров, который характеризует здоровье глаза. Измерения проводятся при продолжительной световой стимуляции сетчатой оболочки. Такой метод используется как в клинических, так и в научно-исследовательских целях [3,9]. Имеющиеся стандартные медицинские устройства для регистрации биопотенциала глаза могут обеспечить только несколько стандартных режимов измерений и с их помощью невозможно провести длительный мониторинг (десятки минут и более). Перед нами стояла задача разработать портативное устройство для долговременной регистрации биопотенциала глаза в покое, с возможностью подключения к осциллографу, при разработке основных технических решений использовалась литература [1,2].

Начальный вариант устройства был смоделирован в программе Multisim (рис.1).

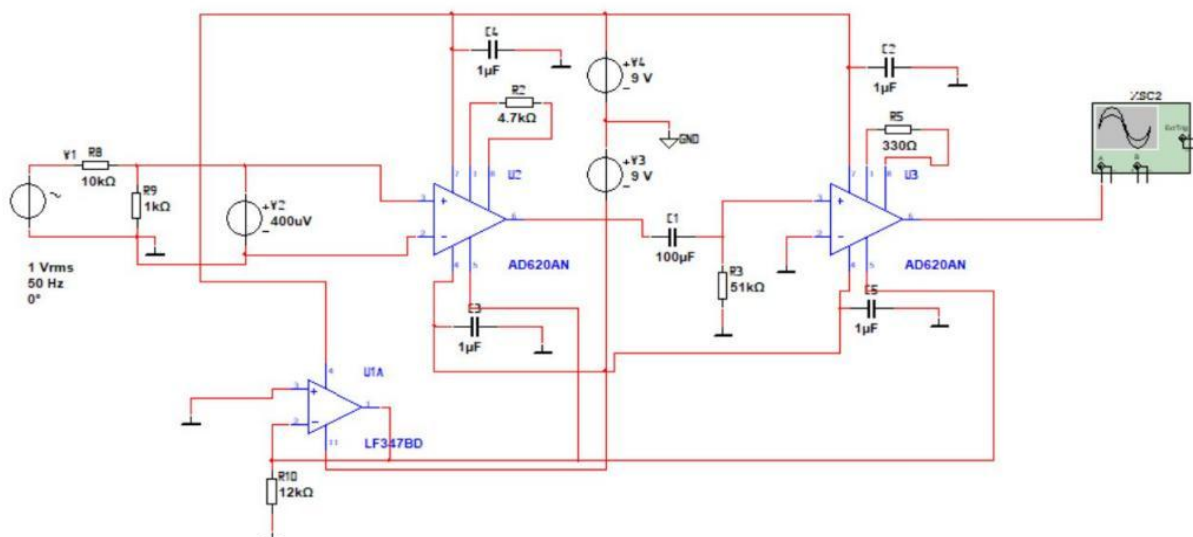


Рис. 1. Модель устройства

Для усиления использовались два операционных усилителя (ОУ) AD620 с коэффициентом усиления 10 и 150, на которые подавалось стабилизированное параметрическими стабилизаторами электропитание  $\pm 9$  В (от четырех элементов 6F22 «Крона»). Чтобы получить сигнал в нужном диапазоне частот использовался ФНЧ с граничной частотой 50 Гц. Так как усилители добавляют к выходному сигналу сдвиг на определенную постоянную величину, на опорный пятый вход «REF» был подан нулевой потенциал, для этого использовался ОУ LF347, включенный по схеме повторителя напряжения с коэффициентом усиления 1.

При тестировании собранного варианта устройства выходной сигнал уходил в зону насыщения. В связи с этим была пересмотрена структура устройства, а именно был изменен коэффициент усиления с 1500 до 1000, а пассивный фильтр был заменен на активный на основе ОУ LF347.

В ходе тестирования было принято решение подавать питающие напряжение через DC/DC преобразователь для стабилизации напряжения, а также использовать литиевые аккумуляторные батареи, поскольку элементы 6F22 быстро разряжались.

В ходе дальнейших испытаний выяснилось, что выходной сигнал содержит сетевые помехи и наводки, для устранения которых был использован пас-

сивный режекторный фильтр настроенный на частоту питающей сети и активный низкочастотный фильтр с полосой пропускания 50 Гц на основе ОУ. Конечный вариант схемы приведен на рисунке 2.

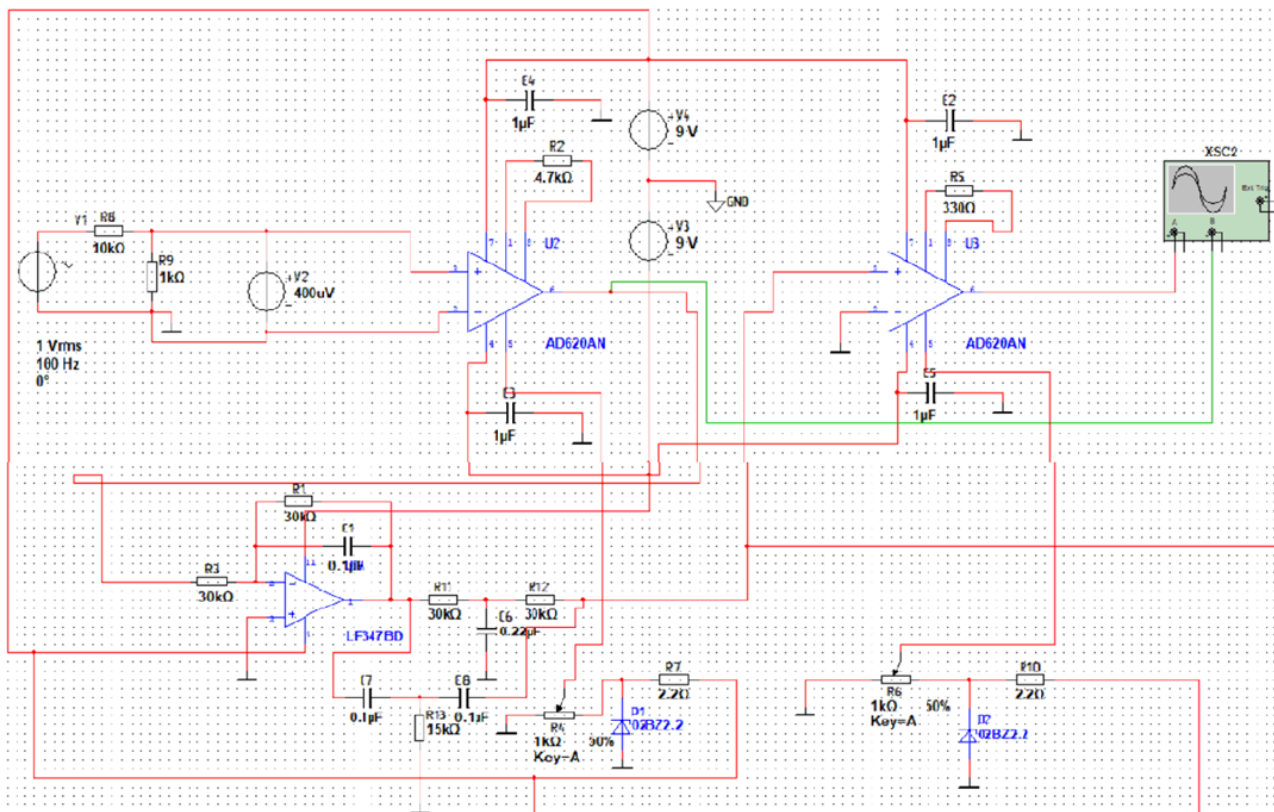


Рис. 2. Конечный вариант схемы устройства

### Заключение

В результате был собран опытный образец устройства для регистрации постоянного потенциала. Была проведена проверка его эффективности в лаборатории и получена зависимость постоянного потенциала глаза от времени при различных уровнях освещенности (рис.3).

Основные характеристики устройства: питание осуществляется от двух Li-Ion аккумуляторов 3,7 В 2200 мА\*ч, коэффициент усиления 1000. Граничная частота фильтра низких частот 50 Гц.

В дальнейшем наше устройство будет использоваться в научных целях в офтальмологическом центре OPTIMED в г. Уфа.



Рис. 3. Зависимость постоянного потенциала глаза от времени

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев В.Г., Мулик А.В. Аналоговые измерительные устройства: Учебное пособие УГАТУ, Уфа, 1996. 147 с.
2. Мирина Т. В., Мирин Н.В. Функциональные электронные узлы измерительных и диагностических систем: учебное пособие / Т.В. Мирина, Н.В. Мирин; Уфимск. гос. авиац. техн. Ун-т. – Уфа, 2009, 2011. – 303 с.
3. Crystal Wang, Elizabeth Mittman. Final Project Extended Sight with EOG. [ Электронный ре-сурс [https://web.mit.edu/6.111/www/f2016/projects/cyqwang\\_Project\\_Final\\_Report.pdf](https://web.mit.edu/6.111/www/f2016/projects/cyqwang_Project_Final_Report.pdf)]
4. A. Demin, D. Pashali and O. Yushkova, "Methods for rapid diagnosis of responsible units operators state," 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS), 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICOECS46375.2019.8950006.
5. Денисенко А.В., Демин А.Ю. Исследования динамики изменения электрического сопротивления точек акупунктуры //Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы - Биомедсистемы-2019. Сборник трудов XXXII Всероссийской НТК студентов, молодых ученых и специалистов. Под общей редакцией В.И. Жулева. 2019. С. 275-277.
6. Петрова И.Р., Демин А.Ю. Неинвазивные методы измерения сердечного выброса //Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы - 2016. материалы конференции. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2016. С. 402-405.
7. Мац Д.Д., Демин А.Ю. Электрическая активность кожи и области ее применения //Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы - 2016. материалы конференции. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2016. С. 95-97.
8. Гусев В.Г., Мирина Т.В., Тырнова Т.П., Дёмин А.Ю. Электрические свойства кожного покрова человека: новые данные //Биофизика. 2014. Т. 59. № 1. С. 191-195.
9. Mukhamadeev TR, Yamgutdinov RR, Vafiev AS, Kalmetyev AKh, Yamlikhanov AG, Tumashinov VN. Autonomous device for registration of direct current potential of eye in experiment and clinic. Saratov Journal of Medical Scientific Research 2018; 14 (4): 910-913.

УДК 681.5.08

АЙДАР Д. ИШЕМБЕТОВ, АЙРАТ Д. ИШЕМБЕТОВ

*aydar.ishem@bk.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. В. Х. ЯСОВЕЕВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ РАДИАЛЬНЫХ ЗАЗОРОВ

**Аннотация.** В статье предложен и проанализирован метод измерения радиальных зазоров с применением волоконно-оптического коллектора. Приведено описание схемы, предложена конструкция системы контроля радиальных зазоров.

**Ключевые слова:** радиальный зазор; измерение перемещений; рабочая лопатка.

### *Введение*

В промышленности круг задач автоматического контроля малых аксиальных перемещений необычайно широк. Проблема повышения точности и производительности процессов контроля объектов, расположенных в труднодоступных местах, в условиях экстремальной эксплуатации (повышенные давления, температуры, воздействия агрессивных сред и т.д.) [1] ставит задачу построения новых измерительных систем.

Анализ методов измерения малых аксиальных перемещений при экстремальной эксплуатации [2-4] и по аспекту метрологического обеспечения показывает, что одним из наиболее предпочтительным является триангуляционный метод измерений. Этот метод позволит уменьшить погрешности связанные с изменением оптических свойств оптических компонентов, контролируемого объекта, а также нестабильность излучателя первичного преобразователя.

Целью настоящей работы является описание схемы и выбор оптимальной конструкции триангуляционного метода измерения радиальных зазоров

### *Описание предложенной схемы измерения*

Для проведения измерения была разработана структурная схема, представленная на рис.1. Основным узлом является волоконно-оптический коллектор (ВОК). ВОК представляет собой одноканальную структуру, скомплектованную из одномодового оптического волокна с малой апертурой.

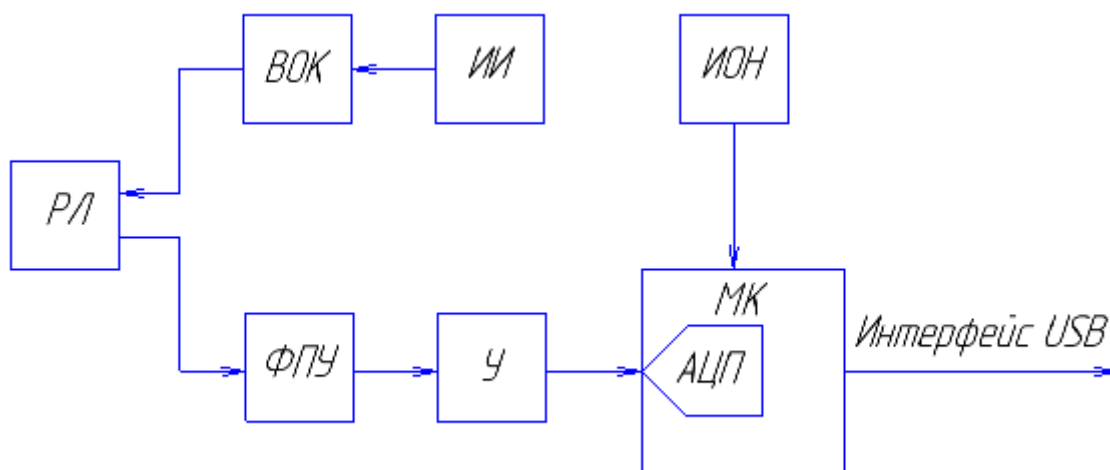


Рис. 1. Структурная схема системы измерения

Структурную схему (рис.1) условно можно разделить на три части: излучательный (или осветительный) канал, контролируемая поверхность, приемный канал.

Источник излучения (ИИ) формирует зондирующий пучок на торец рабочей лопатки (РЛ). В качестве источника излучения, как правило, используется лазерный диод. Луч отражается от торца РЛ и фокусируется на приемном канале, который состоит из фотоприемного устройства (ФПУ). В качестве фотоприемника используются фотодиодная линейка, который преобразует падающее на чувствительный элемент излучение в электрический сигнал. Этот сигнал усиливается в усилителе (У) и передается в микроконтроллер (МК), который преобразует показания и передает полученные значения по интерфейсу USB. При изменении РЗ на величину  $\delta$ , световое пятно в плоскости фотоприемника смещается на величину  $\Delta x$ .

#### *Конструкция системы контроля РЗ*

Оптимальной конструкцией для триангуляционного метода измерения радиальных зазоров является схема, показанная на рисунке 2.



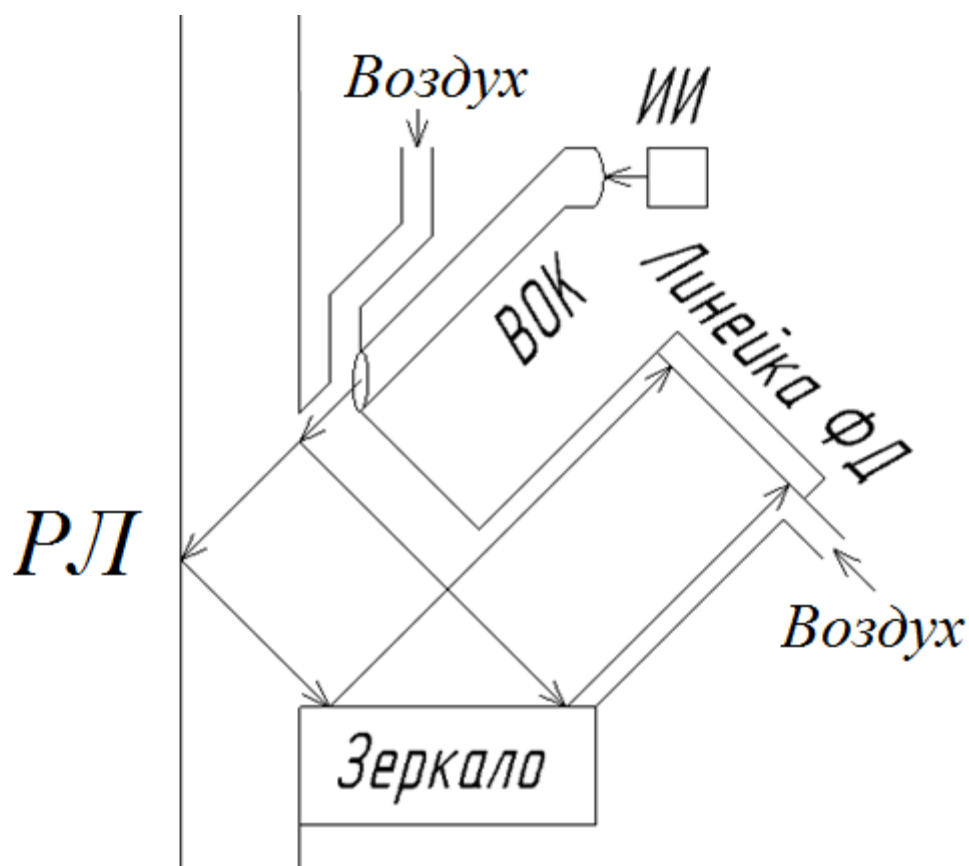


Рис. 2. Конструкция для триангуляционного способа измерения

Система контроля РЗ триангуляционным способом содержит источник излучения (ИИ), ВОК, линейку фотодиодов и зеркало.

Поскольку ИИ не может находиться рядом с РЛ из-за температурных ограничений, ВОК будет переносить излучение от ИИ. Так же система имеет два отверстия для обдува воздухом, для того, чтобы чувствительный элемент и выход ВОК не забивался продуктами горения и не ухудшал характеристики системы.

#### *Достоинства и недостатки триангуляционного способа измерения РЗ*

К недостаткам триангуляционного способа измерения РЗ следует отнести:

- необходимость двух установочных отверстий на поверхности корпуса в зоне измерений, что несколько снижает надежность конструкции двигателя;
- влияние осевых перемещений ротора.

К общим достоинствам рассмотренных оптических методов измерения РЗ следует отнести:

- бесконтактность способа измерения;
- дистанционность измерения;
- высокая точность измерения, около 0,1%;
- возможность производить измерения как в статическом так и в динамическом режимах работы ГТД.

### *Вывод*

1. Приведена и рассмотрена схема триангуляционного метода измерения радиальных зазоров. Анализ опыта применения СИРЗ показывает, что вопрос создания и промышленного серийного производства СИРЗ с требуемым ресурсом и техническими характеристиками остается актуальным.

2. Приведена конструкция для триангуляционного метода измерения радиальных зазоров, описаны используемые элементы и расположение их в статорной оболочке двигателя. Из проведенного анализа следует, что создание конструкций, позволяющих уменьшить размеры отверстий на статорной оболочке является актуальной.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.Ю. Боровик, Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев. Проблемы измерения радиальных зазоров в экстремальных условиях проточной части газотурбинного двигателя и их решение на основе применения одновитковых вихретоковых датчиков // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ – 2014. – С. 6928-6937.
2. А.В. Минеев, В.Х. Ясовеев, Анализ средств измерения радиальных зазоров по аспекту метрологического обеспечения // САПР и моделирование в современной электронике. – Брянск, 2018. С. 183 – 189.
3. Минеев А.В., Ясовеев В.Х., Вопросы измерений радиальных зазоров авиационных двигателей // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации: Материалы Международной научно-технической конференции «Шлядинские чтения -2018» / - Пенза: Издательство ПГУ, 2018. С. 55-58.
4. Минеев А.В., Ясовеев В.Х., Классификация способов измерения радиальных зазоров // Проблемы получения, обработки и передачи измерительной информации: материалы I Международной научно-технической конференции / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: РИК УГАТУ, 2017. С. 119-125.
5. А.А. Иноземцев. Вопросы оптимизации радиальных зазоров ТВД авиационного ГТД / А.А. Иноземцев, С.В. Бажин, М.А. Снитко // Вестник двигателестроения. 2012. -№2. –С.149-154.

УДК 629.1.05.

В. И. КАЛАЧЕВ, В. П. ТОКАРЕВ

*vadim.kalachev.1998@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. В. П. ТОКАРЕВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **РАСХОДОМЕР ТОПЛИВА ДЛЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

**Аннотация.** Рассмотрен способ применения ультразвуковых расходомеров для измерения расхода топлива для ГТД. Предложен вариант оценки массового расхода с учетом температурной погрешности и сортности топлива, а также рассмотрены способы защиты сигнала расходомера от влияния вибрации и перегрузок.

**Ключевые слова:** расходомер; газотурбинный двигатель; расход топлива.

На летательных аппаратах необходимо измерение расхода топлива, которое характеризует режимы работы силовой установки.

К расходомерам и счетчикам топлива предъявляются высокие требования по характеристикам измерения, удовлетворить которые сложно. Во-первых, это высокая точность, надежность, независимость измерения от температуры, изменения плотности вещества, быстродействие и значительный диапазон измерения.

Существует множество расходомеров и счетчиков количества жидкости, принцип работы которых основан на самых различных физических явлениях.

В авиации наиболее часто применяются тахометрические расходомеры, принцип действия которых основан на зависимости частоты вращения крыльчатки помещенной в поток жидкости от скорости потока. Если крыльчатка не нагружена, то ее частота вращения пропорциональна скорости потока. Частота вращения преобразуется в электрический сигнал посредством индуктивного датчика. Погрешности: частота вращения зависит не только от скорости потока, но и от температуры и от вязкости топлива. Кроме того, тахометрические расходомеры являются приборами косвенного метода измерения, поэтому им свойственны методические погрешности, которые в диапазоне температур топлива  $\pm 60^{\circ}\text{C}$  достигают 5%. Ультразвуковые расходомеры (УЗР) – это приборы

основанные на измерении скорости жидкости, от которой зависит расход. Скорость протекания определяется временем прохождения ультразвуковых колебаний через измеряемый поток. По методу измерения они подразделяются на частотные, время-импульсные, фазовые, доплеровские и другие.

Ультразвуковые расходомеры имеют некоторые преимущества относительно тахометрических расходомеров. Применение съемных датчиков позволяет их быстро менять в случае необходимости без разборки трубопровода. Отсутствие механических частей приводит к повышению надежности. Отсутствует контакт с измеряемой жидкостью. Данный тип расходомеров лишен недостатков турбинного, обладает более высокой точностью, может быть применен для измерения агрессивных сред. Недостаток – большие погрешности при работе в условиях большой вибрации, что ограничивает применение УЗР в авиации без специальных мер.

Существует большое разнообразие зарубежных и отечественных УЗР.

Они имеют высокие технические характеристики, широко применяются в различных отраслях, но не нашли применение в авиации.

В ультразвуковых расходомерах в качестве пьезоэлектрических излучателей-приемников обычно применяется полуволновая дисковая пьезокерамика с металлизированными плоскостями. Толщина пьезоэлектрического диска  $t$  связана с собственной резонансной частотой  $f$  выражением

$$t = \frac{c_n}{f},$$

где:  $c_n$  – скорость ультразвука в материале.

Частота излучения ультразвука в топливо выбирается равной 1,5–2 МГц. При разработке пьезодатчика необходим выбор материала пьезоэлектрика. Сейчас широко применяются пьезокерамики ПКВ и ЦТС. ПКВ имеет больший диэлектрический модуль, более высокую точку Кюри по сравнению с ЦТС. Пьезоэлемент для датчиков УЗР выполняют в виде диска с диаметром 5...20 мм. Для частоты 1,5 МГц рекомендуется использовать диск диаметром 10 мм.

Для определения размеров диска произведем расчет по известным формулам:

Находим толщину пьезопластинки:

$$t = \frac{3200}{1.5 \cdot 10^6} = 2.133 \cdot 10^{-3} \text{ (м)} = 2.13 \text{ (мм)}.$$

Находим длину волны в жидкости по формуле с учетом того, что скорость ультразвука в топливе  $c=1315$  (м/с):

$$\lambda = \frac{1315}{1.5 \cdot 10^6} = 876.66 \cdot 10^{-6} \text{ (м)}.$$

Определим расстояние между пьезоизлучателями:

$$L = \frac{(10 \cdot 10^{-3})^2}{876.66 \cdot 10^{-6}} = 0.114 \text{ (м)} = 114 \text{ (мм)}$$

Для выбранного диаметра трубопровода равного 50 мм, угол установки пьезодатчиков определится

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{50 \cdot 10^{-3}}{0.114}\right) = 26^\circ$$

При данных параметрах ультразвуковая волна распространяется с не расходящимся плоским фронтом.

Для устранения влияния колебаний трубопровода устанавливаем гофрированный виброкомпенсатор для гашения колебаний предполагаемой частоты 1–500 Гц. Наиболее применяемой формой компенсаторов являются сильфонные компенсаторы. Формой компенсаторов служит гофрированная оболочка сильфонного типа.

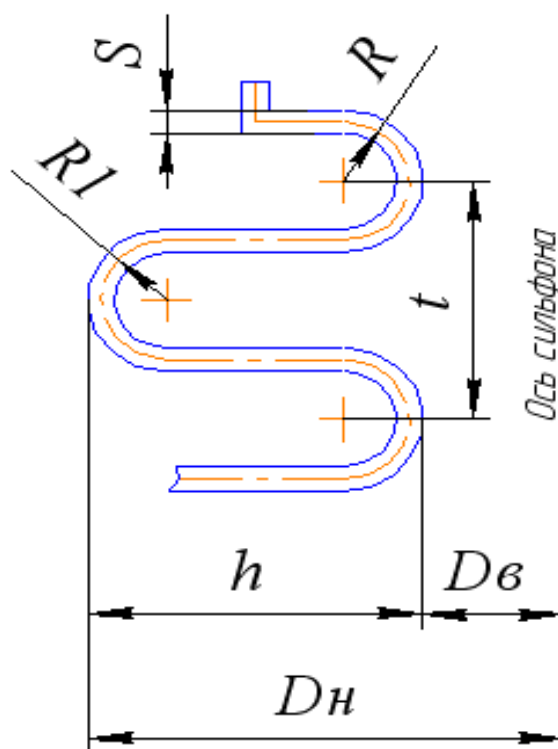


Рис. 1. Гофрированный виброкомпенсатор

Конструктивными элементами компенсатора являются: фланцевая или штуцерная концевая арматура, гибкая гофрированная оболочка, оплетка. Гибкая гофрированная оболочка сиффонного типа воспринимает давление рабочей среды, все виды перемещений и колебаний. Гофрированная оболочка компенсатора изготавливается из нержавеющей сталей.

Сиффон имеет следующие параметры: толщина гофрированной оболочки  $S$ , радиус впадины  $R$ , радиус вершины  $R1$ , шаг  $t$ , высота рукава  $h$ , наружный диаметр  $Dн$ , внутренний диаметр  $Dв$ , длина гофрированной оболочки  $L$ , длина компенсатора  $L_k$ .

Выбранный гофрированный виброкомпенсатор сиффонного типа с фланцевым креплением к трубопроводу имеет следующие параметры:

$$Dв=50 \text{ мм}, h=5 \text{ мм}, t=5.6 \text{ мм}, R=R1=1.2 \text{ мм}, S=0.2 \text{ мм}, L=135 \text{ мм}$$

Силовая проволочная оплетка является механической защитой от разрушения, а также играет роль демпфера при восприятии колебаний внутренней

оболочки в условиях воздействия на компенсатор вибрационных и пульсирующих нагрузок.

Структурная схема предлагаемого УЗР времяимпульсного метода измерения представлена на рисунке.

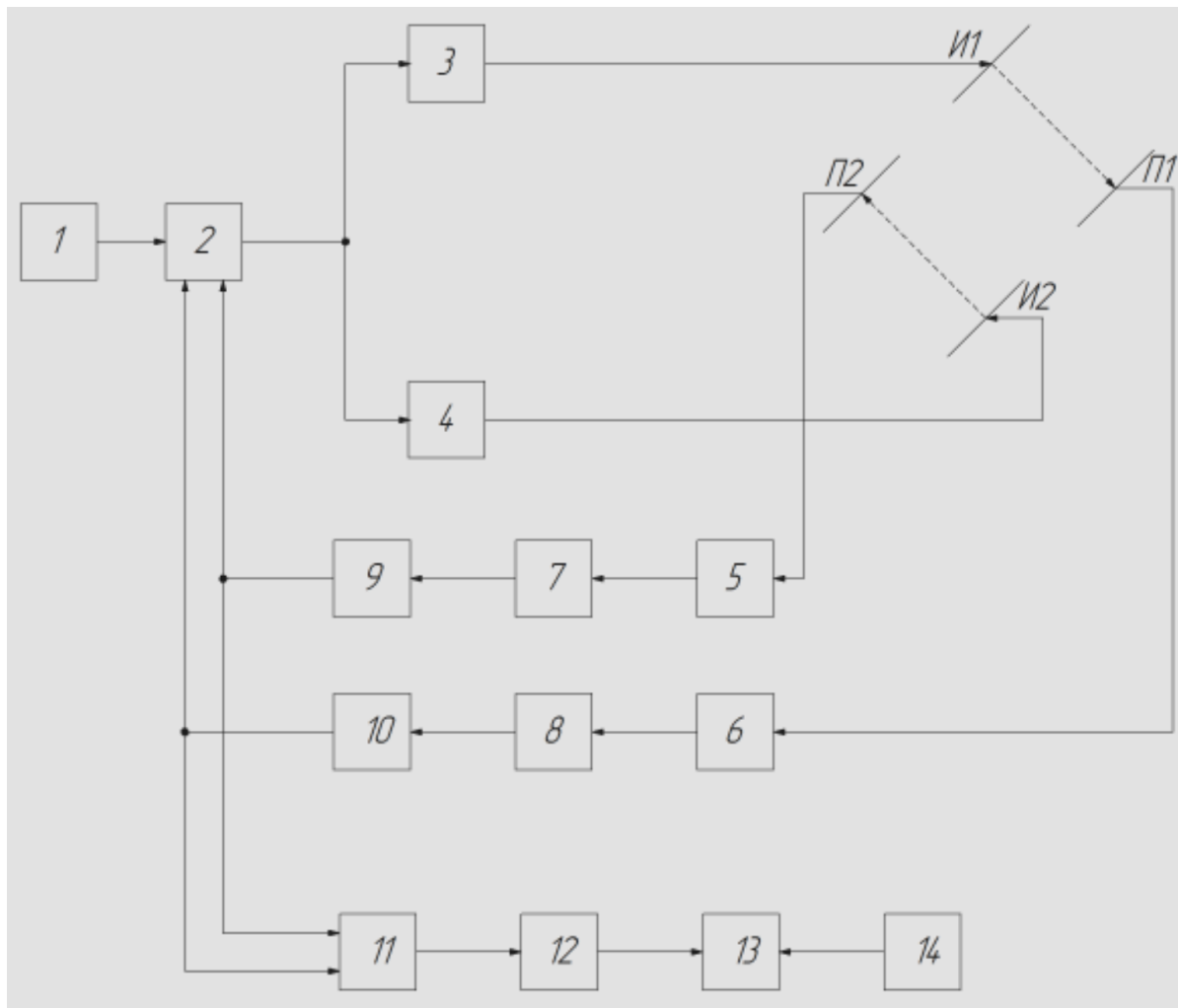


Рис. 2. Структурная схема УЗР время импульсного типа:

*1 – высокочастотный генератор; 2 – аналоговый ключ; 3, 4 – усилители мощности, И – пьезоизлучатель, П – пьезоприемник; 5, 6 – компараторы; 7, 8 – схемы преобразования сигнала; 9, 10 – схемы управления аналоговыми ключами; 11 – схема управления измерителем времени; 12 – измеритель времени; 13 – микроконтроллер; 14 – термодатчик*

В расходомере пьезоизлучателями одновременно посылаются пачки импульсов по потоку и против него. При поступлении первого импульса на приемник, происходит прерывание колебаний от генератора до тех пор, пока не придет последний посланный импульс из сформированной пачки. Так как ско-

рости распространения импульсов по потоку  $T_1$  и против  $T_2$  различны, то соответственно, измеряя разность времени  $T_1$  и  $T_2$  получим функциональную зависимость расхода от скорости потока. Вычисление разности времени  $T_1$  и  $T_2$  осуществляется с помощью микросхемы измерения (TDC) времени и микроконтроллера (МК). TDC имеет три входа на которые подаются: импульсы начала отсчета, остановки счета по первому каналу, остановки счета по второму каналу. Измеренное время в виде двоичного кода хранится в ОЗУ TDC. Микроконтроллер считывает данные из ОЗУ и производит вычисление разности времени, вводит поправку на сортность топлива и его температуру, а соответственно и плотность; определяет и выводит на устройство индикации объемный и массовый расход. Определение температуры топлива осуществляется с помощью терморезистивного датчика температуры, который выдает аналоговый сигнал в виде напряжения. Сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) МК. В микроконтроллере по полученным данным вносится поправка на плотность и сортность топлива.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефанов В.Н., Токарев В.П. Авиационные приборы и измерительно-вычислительные комплексы: учебное пособие /В.Н. Ефанов, В.П. Токарев–М.Машиностроение,2010.–783с.
2. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества: Справочник. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 701с.
3. Итбаев В.К., Крюков А. И. Некоторые вопросы динамики гофрированной оболочки. Труды УАИ. – Уфа, 1975. – Вып. 46.



УДК 616.77

К. Р. КАМАЛОВА

*kamilla.kamalova.98@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Ю. О. УРАЗБАХТИНА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОТЕЗЫ РУК

**Аннотация.** Основной идеей существования человека является взаимодействие с окружающим миром, в том числе и с другими людьми. Но всегда ли возможно в полной мере наслаждаться этим?

Всем известно, что существует множество связей человека с внешней средой, ее отдельными характеристиками. Например, услышать запах нам помогают органы обоняния, почувствовать вкус – рецепторы на языке, ощущение пространства дает недоминантная сторона теленных долей, которая комбинирует информацию, поступающую из затылочных долей головного мозга. Но, помимо описанных возможностей, человек обладает способностью осязания в том числе благодаря верхним и нижним конечностям. Важнейшим видом взаимодействия с миром является познание его с помощью рук.

**Ключевые слова:** протез руки; бионический протез верхней конечности.

К сожалению, по данным медико-социальной экспертизы (МЭС) за 2019г. причиной ампутации конечностей в 48% случаев является травма (бытовая, производственная, огнестрельные ранения), в 42%—сосудистые заболевания, в 10%—опухоли и врожденные деформации. Среди больных с ампутационными дефектами лица с ампутациями нижних конечностей составляют 92%, с ампутациями верхних конечностей — 8%. При этом вычленение в тазобедренном суставе и высокая (до 8 см) культя бедра встречается в 4% случаев, культя бедра на различных уровнях (за исключением высокой)- 33,7%, культя голени на различных уровнях — 51,3%, культя стопы — 8%; вычленение и ампутационная культя плеча на различных уровнях — в 24,5% случаев, культя предплечья — 29,4%, культя кисти — 3,9%, культя пальцев кисти — 42,2% [1].

На данный момент, экспертам МЭС надлежит опираться на документ, от 01.01.2020г. Приказ Минтруда России от 27.08.2019 № 585н., в котором прописаны степень поражения конечности и степени тяжести увечий.

Уже сегодня существует возможность протезирования верхних конечностей и отдельных ее частей. Наиболее часто встречающееся решение в России – косметические протезы и тяговые, входящие в перечень предоставляемых бес-

платно (Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 23 июля 2019 г. N 521н "Об утверждении перечня технических средств реабилитации, протезов и протезно-ортопедических изделий, в отношении которых уполномоченным органом проводится медико-техническая экспертиза для определения соответствия приобретенного инвалидом (ветераном) за собственный счет технического средства реабилитации, протеза и протезно-ортопедического изделия предоставляемым уполномоченным органом техническим средствам реабилитации, протезам и протезно-ортопедическим изделиям, а также подлежащих замене по истечении установленного срока пользования, если необходимость замены подтверждена заключением медико-технической экспертизы" с изменениями и дополнениями от: 29 апреля 2020 г.).

Они не восполняют все возможности утраченной конечности, т.к. являются средствами, оснащенными наиболее важным функционалом, например, способность взять ручку в руку, писать текст, играть в теннис, ощущать сопротивление объекта при сжатии. Существуют также протезы, оснащенные различными электронными новшествами, позволяющие не только контролировать прилагаемую силу, как это происходит в активных механических протезах, но и чувствовать тепло, давление и многое другое.

Говоря о физиологической составляющей данной темы, следует сделать небольшую историческую справку.

На данный момент самым старейшим протезом является модель, изготовленная из дерева, скрепленного ниткой из кожи, еще в Древнем Египте, ее функция – ощущение «целостности» у пострадавшего. На сегодня можно выделить несколько фирм, изготавливающих устройства, играющие косметическую роль: Novea, Scolologic (российская компания, выпускающая похожий модельный ряд).

Примером протеза станет модель 300, изготовленная из материала медицинский пластизол, имеющая 8 оттенков цвета, внутренняя полость ее заполнена вспененным полиуретаном с ориентированным металлическим каркасом [2].

Достоинства и недостатки косметических протезов:

- привлекательный внешний вид (существуют модели, проектируемые под конкретного пациента, достигающие невероятного сходства с оригиналом как по внешнему виду, так и по тактильным ощущениям)

- сниженное значение массы из-за отсутствия каких-либо технических нагрузок

- простота в изготовлении и эксплуатации (не нужно заботиться об аккумуляторе)

- не требует больших денежных затрат на техническое обслуживание

- низкая стоимость протеза (порядка 2тыс руб. на ноябрь 2020г.)

- отсутствие активного захвата, а также ощущений давления от предмета, помещаемого в протез

- ограниченная функциональность (исключительно визуальный эффект наличия конечности)

- высокая цена на персональные силиконовые оболочки, износостойкость которых оставляет желать лучшего

Возвращаясь к истории протезирования, следует сказать, что дальнейшим ноу-хау были модели, предназначенные для рыцарей темного века. Перед данными моделями стояла задача помощи человеку в осуществлении им деятельности, а именно – крюки для захвата щитов и мечей, деревянные каркасы для ног, чтобы была возможность закрепить протез за стремя и ездить верхом на лошади. Так появилась еще одна разновидность – протезы, помогающие человеку в выполнении какой-либо работы.

Первым аналогом на сегодня является тяговой протез, имеющий узкий спектр функций, которые помогают человеку выполнять основные задачи, например, взять в руку куриное яйцо и не разбить его, механический протез позволяет ощутить предмет в руке, что дает возможность выполнять некоторую «тонкую» работу.

На сегодня можно выделить несколько производителей данных моделей, а именно open source на площадках e-nable, open bionics и robohand, детский

протез с возможностью дополненной реальности «Киби» от компании «Моторика», протез BeBionic, кисть от Touch Bionics, Vincent Systems и т.д.

Принцип работы тяговых протезов основан на активности сохранившейся части руки человека, то есть если у пациента стоит протез кисти, то его работа обусловлена активностью лучезапястного сустава (сгибание руки приведет к сжатию пальцев), если требуется заменить предплечье, то его подвижность достигается с помощью подвижности локтя или другой руки, функционирование плеча – мышцами плечевого пояса.

Достоинства и недостатки тяговых протезов:

- надежная конструкция
- небольшие массогабаритные параметры
- приемлемая цена (возможность получения протеза за счет финансирования гос. структурами)
- дешевое техническое обслуживание
- устойчивость к влаге, небольшим скачкам температуры
- отсутствие задержки реакции, которую дает любое электронное устройство
- простота в уходе
- ограниченная сила захвата, обусловленная возможностью конструкции
- ограничения в степенях свободы движения
- система тяг может быть некомфортной и ограничивать движения

Еще одним видом протезов, помогающих человеку восстановить некоторые функции утраченной конечности, является бионическая модель, содержащая в себе микропроцессор и всю остальную сопутствующую техническую начинку.

В данном разделе возможно выделить несколько видов протезов, различных друг от друга по регистрации входного сигнала от пользователя:

1. Протез, копирующий движения целой конечности, что позволяет повысить естественность движений и отладить скорость реакции. Копирование

происходит с помощью исследований ЭМГ, позволяющих определить зависимость уровня возбуждения в мышцах и реакции неповрежденной руки [4].

2. Нейропротез, в основе которого лежит интеграция нейроинтерфейса и протезирования, принимая во внимание необходимость инвазивной установки датчиков на конечности и множество процедур исследований пациента и регистраций активности мозговой деятельности [5]. На данный момент ведутся активные разработки командой GalvaniBionix из МФТИ.

3. Миоэлектрические протезы, в которых однозначными плюсами являются: сила захвата, повышенный комфорт и свобода движений, возможность выполнить несколько жестов, внешний вид модельного ряда. Протезы используют сигналы электромиограммы (ЭМГ) (электрические сигналы, генерируемые во время сокращения мышц) от остаточных мышц конечностей для управления моторизованными суставами рук [6]. Примерами могут стать OPRA Osseointegration, DARPA MPL, LifeHand 2, некоторые виды разработанных моделей Российской компанией «Моторика»

Уточним, что возможно несколько вариантов программного решения у нейропротезов, так как нейроинтерфейс позволяет осуществлять распознавание образов (кодов) разными путями, например, сегментация ЭЭГ по Каплану-Шишкину [7].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. invalidnost.com [Электронный ресурс] - URL: [https://www.invalidnost.com/publ/mediko\\_socialnaja\\_ehkspertiza\\_pri\\_nekotorykh\\_zabolevanijakh/mseh\\_i\\_invalidnost\\_pri\\_amputacijakh\\_konechnostej/2-1-0-460](https://www.invalidnost.com/publ/mediko_socialnaja_ehkspertiza_pri_nekotorykh_zabolevanijakh/mseh_i_invalidnost_pri_amputacijakh_konechnostej/2-1-0-460) (дата обращения: 28.11.20)
2. Novea [Электронный ресурс] - URL: <https://novea.ru/prosthetic-hand-300-305.html> (дата обращения: 28.11.20)
3. Motorica [Электронный ресурс] - URL: <https://motorica.org/prosthetics/upper-limb/cybi-fingers> (дата обращения: 28.11.20)
4. Application of EMG signals for controlling exoskeleton robots. Fleischer C, Wege A, Kondak K, Hommel G. Biomed Tech (Berl). 2006 Dec;51(5-6):314-9
5. Müller-Putz GR, Scherer R, Pfurtscheller G, Neuper C. Front Neurosci. Temporal coding of brain patterns for direct limb control in humans. 2010 Jun 18;4: pii: 34.
6. Kuiken TA, Li G, Lock BA, Lipschutz RD, Miller LA, Stubblefield KA, Englehart KB. Targeted muscle reinnervation for real-time myoelectric control of multifunction artificial arms. JAMA. 2009 Feb 11;301(6):619-28.
7. Бродский Б.Е., Дарховский Б.С., Каплан А.Я., Шишкин С.Л. Статистическая сегментация электрических сигналов мозга: непараметрический подход // Автоматика и телемеханика. – 1997

УДК 623.746.4-519

В. Ф. МИАЗОВ, Л. Х. ГАЛИМОВА, А. В. БУТОРИН

*vildan.minazov@mail.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. В. С. ФЕТИСОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АНАЛИЗ СИСТЕМЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

*Аннотация.* Анализируется система метеорологического обеспечения полетов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Рассмотрено влияние силы и направления ветра на общее время полета БПЛА.

*Ключевые слова:* БПЛА; метеоусловия; ветер; время полета.

Беспилотные летательные аппараты в настоящее время становятся все более популярными и доступными для различных пользователей. На успех миссии БПЛА в большой степени влияют метеорологические условия.

Целью нашей исследовательской работы является создание системы, которая будет собирать всю информацию о метеорологических параметрах окружающей среды для дальнейшей ее обработки и прогнозирования влияния дестабилизирующих воздействий на беспилотник. Основными параметрами окружающей среды, влияющих на аппарат, являются:

- ветер;
- температура;
- давление;
- влажность.

Получение информации о данных параметрах будут обеспечивать определенные датчики и блоки, входящие в систему, такие как:

- наземный выносной блок измерения силы и скорости ветра;
- наземные датчики давления, температуры, влажности воздуха;
- бортовые датчики температуры, скорости и направления ветра.

Система метеорологического обеспечения полетов БПЛА должна решать проблемы влияния дестабилизирующих воздействий факторов внешней среды

природного характера на БПЛА. Рассматривая природное влияние окружающей среды на БПЛА можно выделить две подгруппы:

1. метеоявления;
2. метеовеличины.

В метеоявления входят:

1. обледенение;
2. осадки;
3. кучево-дождевые облака;
4. турбулентность.

Метеовеличинами являются:

1. скорость и направление ветра;
2. температура воздуха;
3. влажность;
4. давление воздуха.

*Анализ влияния скорости и направления ветра на общее время полета*

Для определения времени, которое беспилотник затрачивает на полет от базы до объекта и обратно, нужно знать следующие параметры:

$V_c$  – воздушная скорость БПЛА;

$V_w$  – скорость ветра;

$\alpha$  – угол между направлением ветра и направлением на объект;

$S$  – расстояние от базы до объекта.

Пусть направление оси  $X$  совпадает с направлением от базы на объект. Тогда можно ввести новые составляющие:

$V_{cx}$  – проекция скорости БПЛА (коптера) на ось  $X$ ;

$V_{wx}$  – проекция скорости ветра на ось  $X$ .

На Рис. 1 представлен график анализа направления и скоростей коптера и ветра (воздуха).

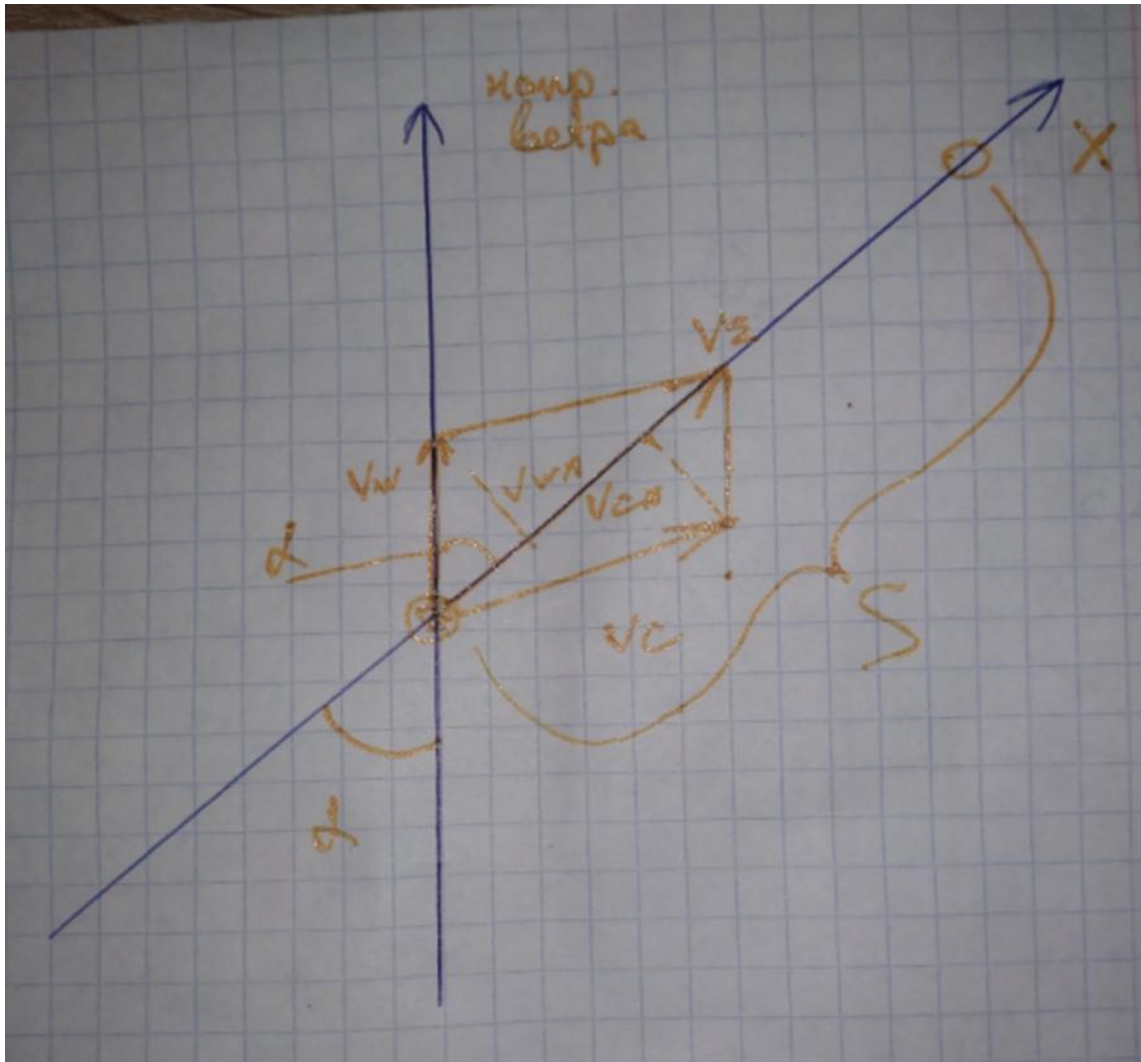


Рис. 1. График анализа направления и скоростей коптера и воздуха

Учитывая несложные геометрические соотношения, получим следующие формулы:

Проекция скорости коптера:

$$V_{cx} = \sqrt{(V_c^2 - V_w^2 * \sin^2 \alpha)}$$

Проекция скорости ветра:

$$V_{wx} = V_w * \cos^2 \alpha$$

Время полета до объекта:

$$t_1 = \frac{S}{V_{cx} + V_{wx}}$$

Время полета обратно:

$$t_2 = \frac{S}{V_{cx} - V_{wx}}$$



Суммарное время:

$$t_{\Sigma} = t_1 + t_2 = \frac{2 * S * Vc}{Vc^2 - Vw^2}$$

Построим графики зависимости суммарного времени полета коптера от скорости ветра при различных углах направления ветра. Считаем, что скорость беспилотника постоянна и равна 50 км/ч (13,85 м/с). Диапазон изменения угла установим равным от 0 до 90 градусов, с шагом в 10 градусов. Примем, что расстояние от базы до объекта во всех случаях будут равны 200 м. Диапазон изменения скорости ветра установим равным от 5 до 10 м/с, с шагом в 1 м/с.

Для удобства расчет и построение графиков проводим в программе Excel. Далее представлены таблицы с расчетами для каждой выбранной скорости ветра.

Таблица 1

$Vw = 5 \text{ м/с}$

Vcx	Vwx	t1(туда)	t2(обратно)	тобщ	Vw(ветра), м/с	Угол ветра, град	Vc(коптера), м/с (50 км/ч)	Угол в радианах, рад	S(расстояние до объекта), км	тобщ/Vw
13,85	5	10,61008	22,59887006	33,20895	5	0	13,85	0	200	6,64179
13,849725	4,99923848	10,610663	22,59762751	33,20829	5	1	13,85	0,017453293	200	6,641658
13,822759	4,92403877	10,668489	22,47514269	33,14363	5	10	13,85	0,174532925	200	6,628726
13,744019	4,6984631	10,844527	22,11030527	32,95483	5	20	13,85	0,34906585	200	6,590967
13,6225	4,33012702	11,140431	21,52302812	32,66346	5	30	13,85	0,523598776	200	6,532692
13,471938	3,83022222	11,559251	20,74319687	32,30245	5	40	13,85	0,698131701	200	6,460489
13,309842	3,21393805	12,103768	19,81001386	31,91378	5	50	13,85	0,872664626	200	6,382756
13,155702	2,5	12,774898	18,76929333	31,54419	5	60	13,85	1,047197551	200	6,308838
13,028697	1,71010072	13,569628	17,67003573	31,23966	5	70	13,85	1,221730476	200	6,247933
12,945128	0,86824089	14,478727	16,5605587	31,03929	5	80	13,85	1,396263402	200	6,207857
12,915978	3,0629E-16	15,484696	15,48469598	30,96939	5	90	13,85	1,570796327	200	6,193878

Таблица 2

$Vw = 6 \text{ м/с}$

Vcx	Vwx	t1(туда)	t2(обратно)	тобщ	Vw(ветра), м/с	Угол ветра, град	Vc(коптера), м/с (50 км/ч)	Угол в радианах, рад	S(расстояние до объекта), м	тобщ/Vw
13,85	6	10,075567	25,47770701	35,55327	6	0	13,85	0	200	5,925546
13,849604	5,99908617	10,076232	25,47602601	35,55226	6	1	13,85	0,017453293	200	5,925376
13,810755	5,90884652	10,142193	25,31033966	35,45253	6	10	13,85	0,174532925	200	5,908755
13,697127	5,63815572	10,343784	24,81706193	35,16085	6	20	13,85	0,34906585	200	5,860141
13,521187	5,19615242	10,685279	24,02392402	34,7092	6	30	13,85	0,523598776	200	5,784867
13,302187	4,59626666	11,17415	22,9728739	34,14702	6	40	13,85	0,698131701	200	5,691171
13,0651	3,85672566	11,819056	21,71936076	33,53842	6	50	13,85	0,872664626	200	5,589736
12,838322	3	12,627601	20,32867082	32,95627	6	60	13,85	1,047197551	200	5,492712
12,650443	2,05212086	13,60307	18,87091215	32,47398	6	70	13,85	1,221730476	200	5,41233
12,526294	1,04188907	14,740368	17,41492111	32,15529	6	80	13,85	1,396263402	200	5,359215
12,482888	3,6754E-16	16,021933	16,02193302	32,04387	6	90	13,85	1,570796327	200	5,340644

Таблица 3

$$V_w = 7 \text{ м/с}$$

Vcx	Vwx	t1(туда)	t2(обратно)	тобщ	Vw(ветра), м/с	Угол ветра, град	Vc(коптера), м/с (50 км/ч)	Угол в радианах, рад	S(расстояние до объекта), км	тобщ/Vw
13,85	7	9,5923261	29,19708029	38,78941	7	0	13,85	0	200	5,541344
13,849461	6,99893387	9,5930646	29,19483283	38,7879	7	1	13,85	0,017453293	200	5,541128
13,796556	6,89365427	9,6664071	28,97332101	38,63973	7	10	13,85	0,174532925	200	5,519961
13,641502	6,57784835	9,8915144	28,31395724	38,20547	7	20	13,85	0,34906585	200	5,457925
13,400466	6,06217783	10,276096	27,2543111	37,53041	7	30	13,85	0,523598776	200	5,361487
13,098736	5,3623111	10,833622	25,85173475	36,68536	7	40	13,85	0,698131701	200	5,240765
12,769813	4,49951327	11,581228	24,18292089	35,76415	7	50	13,85	0,872664626	200	5,109164
12,452811	3,5	12,536976	22,33935259	34,87633	7	60	13,85	1,047197551	200	4,982333
12,18829	2,394141	13,715134	20,42035523	34,13549	7	70	13,85	1,221730476	200	4,876499
12,012495	1,21553724	15,119407	18,52373684	33,64314	7	80	13,85	1,396263402	200	4,806163
11,950837	4,288E-16	16,73523	16,7352298	33,47046	7	90	13,85	1,570796327	200	4,781494

Таблица 4

$$V_w = 8 \text{ м/с}$$

Vcx	Vwx	t1(туда)	t2(обратно)	тобщ	Vw(ветра), м/с	Угол ветра, град	Vc(коптера), м/с (50 км/ч)	Угол в радианах, рад	S(расстояние до объекта), км	тобщ/Vw
13,85	8	9,153318	34,18803	43,34135	8	0	13,85	0	200	5,417669
13,8493	7,998782	9,154123	34,18503	43,33915	8	1	13,85	0,017453	200	5,417394
13,78015	7,878462	9,2342	33,88858	43,12278	8	10	13,85	0,174533	200	5,390348
13,57704	7,517541	9,48111	33,00605	42,48716	8	20	13,85	0,349066	200	5,310895
13,25981	6,928203	9,90687	31,58757	41,49444	8	30	13,85	0,523599	200	5,186805
12,85999	6,128356	10,53278	29,71048	40,24326	8	40	13,85	0,698132	200	5,030408
12,42038	5,142301	11,38779	27,47979	38,86758	8	50	13,85	0,872665	200	4,858447
11,9926	4	12,50578	25,02314	37,52892	8	60	13,85	1,047198	200	4,691115
11,63224	2,736161	13,91943	22,48181	36,40124	8	70	13,85	1,22173	200	4,550155
11,39089	1,389185	15,64936	19,99659	35,64596	8	80	13,85	1,396263	200	4,455745
11,30586	4,9E-16	17,68994	17,68994	35,37988	8	90	13,85	1,570796	200	4,422485

Таблица 5

$$V_w = 9 \text{ м/с}$$

Vcx	Vwx	t1(туда)	t2(обратно)	тобщ	Vw(ветра), м/с	Угол ветра, град	Vc(коптера), м/с (50 км/ч)	Угол в радианах, рад	S(расстояние до объекта), км	тобщ/Vw
13,85	9	8,752735	41,23711	49,98985	9	0	13,85	0	200	5,554428
13,84911	8,998629	8,753602	41,23303	49,98663	9	1	13,85	0,017453	200	5,55407
13,76154	8,86327	8,839852	40,83072	49,67057	9	10	13,85	0,174533	200	5,518952
13,5036	8,457234	9,107121	39,63245	48,73957	9	20	13,85	0,349066	200	5,415508
13,09857	7,794229	9,572677	37,70497	47,27765	9	30	13,85	0,523599	200	5,253072
12,58393	6,8944	10,26782	35,1523	45,42012	9	40	13,85	0,698132	200	5,04668
12,01207	5,785088	11,23775	32,11831	43,35606	9	50	13,85	0,872665	200	4,81734
11,44869	4,5	12,54021	28,7824	41,32262	9	60	13,85	1,047198	200	4,591402
10,96803	3,078181	14,23871	25,34903	39,58774	9	70	13,85	1,22173	200	4,398638
10,6426	1,562834	16,38614	22,027	38,41314	9	80	13,85	1,396263	200	4,268127
10,52723	5,51E-16	18,99836	18,99836	37,99671	9	90	13,85	1,570796	200	4,221857

$$V_w = 10 \text{ м/с}$$

$V_{cx}$	$V_{wx}$	$t_1(\text{туда})$	$t_2(\text{обратно})$	тобщ	$V_w(\text{ветра}), \text{ м/с}$	Угол ветра, град	$V_c(\text{коптера}), \text{ м/с}$ (50 км/ч)	Угол в радианах, рад	$S(\text{расстояние до объекта}), \text{ км}$	тобщ/ $V_w$
13,85	10	8,385744	51,94805	60,3338	10	0	13,85	0	200	6,03338
13,8489	9,998477	8,386666	51,94234	60,32901	10	1	13,85	0,017453	200	6,032901
13,74071	9,848078	8,478604	51,3791	59,85771	10	10	13,85	0,174533	200	5,985771
13,42106	9,396926	8,765017	49,7002	58,46521	10	20	13,85	0,349066	200	5,846521
12,91598	8,660254	9,269459	46,99552	56,26498	10	30	13,85	0,523599	200	5,626498
12,26804	7,660444	10,03588	43,40655	53,44243	10	40	13,85	0,698132	200	5,344243
11,53863	6,427876	11,13182	39,13313	50,26496	10	50	13,85	0,872665	200	5,026496
10,80845	5	12,65147	34,43262	47,08408	10	60	13,85	1,047198	200	4,708408
10,17449	3,420201	14,71162	29,61081	44,32243	10	70	13,85	1,22173	200	4,432243
9,738474	1,736482	17,42926	24,99378	42,42304	10	80	13,85	1,396263	200	4,242304
9,582406	6,13E-16	20,87159	20,87159	41,74317	10	90	13,85	1,570796	200	4,174317

Строим соответствующие графики:

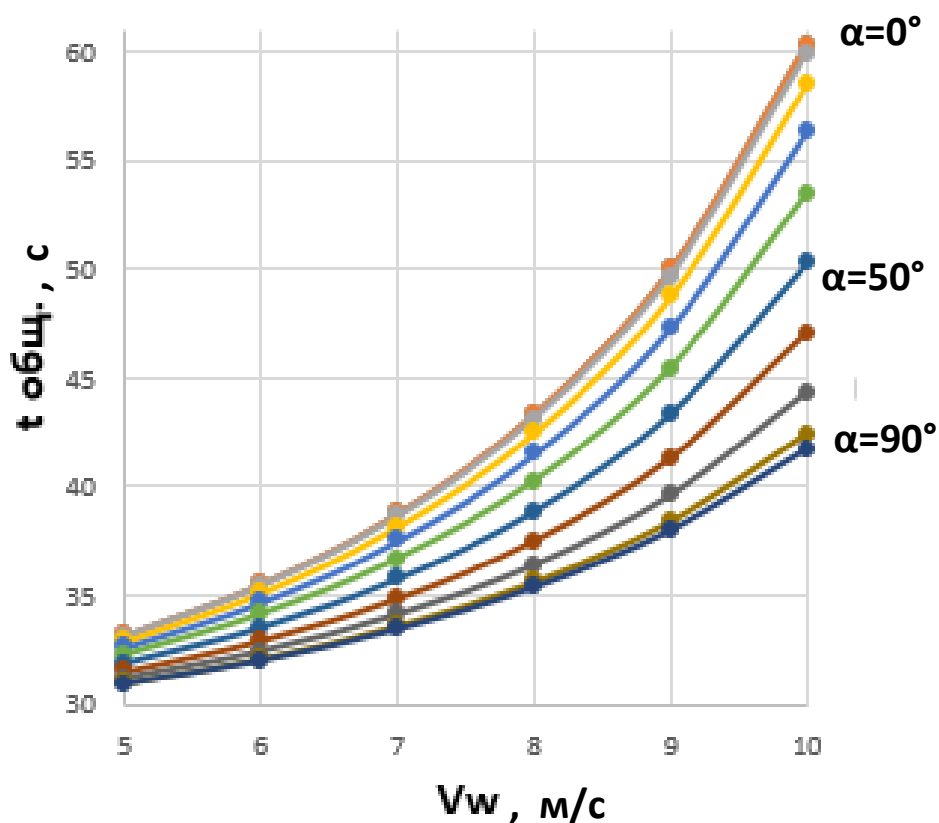


Рис. 2. Графики зависимости времени полета от скорости и направления ветра

## *Вывод*

Из анализа расчетов и графиков видна тенденция резкого увеличения общего времени полета беспилотника при увеличении скорости ветра. Это доказывает отсутствие равной компенсации времени полета при сопротивлении воздуха и попутным с ним движением. Однако графики показывают, что данное явление постепенно идет на спад при увеличении угла воздействия ветра на БПЛА.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метеостанция [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Метеостанция> (дата обращения: 15.06.2020).
2. Догерти М. Дроны. Первый иллюстрированный путеводитель по БПЛА. М.: Эксмо, 2017. - 510 с.
3. Как летать на квадрокоптере при сильном ветре: Советы [Электронный ресурс]: – <https://drongeek.ru/novichkam/kak-letat-na-kvadrokoptere-pri-silnom-vetre-sovety> (дата обращения: 19.06.2021).
4. Планирование маршрута полета легкого беспилотного летательного аппарата с учетом действия ветра [Электронный ресурс]: <https://www.dissercat.com/content/planirovanie-marshruta-poleta-legkogo-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata-s-uchetom-deistviya> (дата обращения: 19.06.2021).

УДК 621.3

Р. З. ХАМАТДИНОВ

*ren.kham.98@mail.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. В. Н. ЕФАНОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

**Аннотация.** В статье рассмотрена проблема монотонных процессов в инженерной практике, для решения которой предложена автоматизация с помощью программных средств различных типов, а также внедрение в эти средства оптимизационных подходов на основе интеллектуальных алгоритмов. Тем самым предлагается концепция автоматизации с оптимизацией, способствующая упрощению труда и росту квалификации инженеров.

**Ключевые слова:** автоматизация; интеллектуальные алгоритмы; монотонность; инженер; рутина; оптимизация.

Успехи современной электронной инженерии предоставляют разработчикам аппаратуры широкий спектр программных и аппаратных средств. В то же время постоянно растущие требования к эксплуатационным характеристикам накладывают жесткие ограничения на массогабаритные параметры и показатели надежности разрабатываемой аппаратуры. В результате задача схемотехнического проектирования информационно-вычислительных комплексов и систем становится оптимизационной. При этом отличительными особенностями такой задачи являются ее многокритериальный характер и существенная неопределенность при поиске оптимального решения. В связи с этим возникает настоятельная необходимость в разработке новых информационных и интеллектуальных технологий, направленных на решение слабоструктурированных оптимизационных задач.

Технологии, которые используются для повышения эффективности принятия решений в условиях, связанных с возникновением проблемных ситуаций, по уровню сложности делятся на две группы:

– средства поддержки принятия решений, способные эмулировать, имитировать, воспроизводить те области деятельности человека, которые требуют мышления, определенного мастерства и накопленного опыта;

– технологии, для которых обязательным является творческое участие людей – специалистов, экспертов.

Технологии первой группы широко используют программные комплексы имитационного моделирования электронных устройств. К ним можно отнести как универсальные программные средства, так и специализированные программные модули, описывающие уникальные процессы в микроэлектронных и нанoeлектронных структурах [1,2].

К универсальным средствам относятся простые эмуляторы и автокликеры, а также дополнительное профессиональное программное обеспечение. Автокликеры помогают организовать некие циклические процессы в случае, когда рассматриваются простые повторяющиеся действия без условных переходов. Профессиональное программное обеспечение позволяет решать более серьезные задачи в рамках своей среды. К ним относятся популярные программные среды – Proteus, NI Multisim, Dip Trace, КОМПАС, EasyEDA, MATLAB.

Особую группу программных ресурсов составляют средства по роботизации бизнес-процессов, которые можно адаптировать для автоматизации процессов разработки электронных устройств на персональном компьютере. Такие программные модули будут выступать в качестве надстройки к профессиональным программам. Характерным примером может служить программная платформа Lexema RPA Studio. Благодаря данному ресурсу можно эффективно автоматизировать работу с файловой системой компьютера, документами различных форматов и организовать отправку сообщений по электронной почте. Кроме того, она позволяет решить ряд задач, которые традиционно считались нерешаемыми, например, интеграции с системами, у которых нет API, или с облачными сервисами.

Использование информационных технологий позволяет создавать собственные средства автоматизации схемотехнического проектирования. На языке Python с помощью доступных библиотек можно сделать свою программу под конкретные действия, включающие также распознавание образов на экране.

Например, поиск комплектующих по всем известным интернет-ресурсам. Учебные планы в области электронной инженерии предполагают практику программирования на некоторых языках.

Технологии, для которых обязательным является творческое участие специалистов, предусматривают проведение анализа, прогнозирования, оптимизации, обоснования и выбора альтернативы из множества вариантов достижения конкретной цели проектирования. Практически любая ситуация, требующая принятия решения, может быть отнесена к одному из классов, различающихся по следующим признакам:

- по степени определенности информации о проблемной ситуации, возникающей при решении задачи проектирования;
- по степени структуризации элементов проблемной ситуации, возникающей при решении задачи проектирования;
- по количеству целей, стоящих перед проектировщиком в процессе решения задачи проектирования.

По степени определенности информации о проблемной ситуации, возникающей при решении задачи проектирования, различают задачи принятия решений в условиях определенности и задачи принятия решений в условиях неопределенности.

Задачи принятия решений в условиях определенности характеризуются наличием полной и достоверной информации о проблемной ситуации, о целях, ограничениях и последствиях принимаемых решений. В таких задачах заранее известно, к какому исходу приведет принятое решение, поскольку все внешние факторы известны и, если они учтены, то они не могут каким-либо непредвиденным образом повлиять на результат.

В свою очередь, задача принятия решений осуществляется в условиях неопределенности, если отсутствует полная и достоверная информация о факторах, влияющих на результат выбора. При этом результат зависит не только от решений, принятых проектировщиком, но и от неопределенных факторов.

Вследствие этого каждое решение может привести к неизвестному заранее множеству исходов.

По степени структуризации элементов проблемной ситуации различают:

- хорошо структурированные задачи, в которых зависимости между факторами проблемной ситуации определены количественно;
- неструктурированные задачи, в которых невозможно задать количественные зависимости между факторами, описывающими проблемную ситуацию;
- слабоструктурированные, т.е. смешанные задачи с количественно и качественно определенными факторами.

Большинство задач схемотехнического проектирования электронных устройств относятся к слабоструктурированным задачам.

Наконец, по количеству целей, стоящих перед проектировщиком в процессе принятия решения, задачи принятия решения подразделяют на задачи со скалярным и векторным критерием.

При использовании скалярного критерия предполагается, что проектировщик интересуется только одна из характеристик разрабатываемой аппаратуры.

Решение задачи значительно усложняется, если качество разрабатываемой аппаратуры оценивается с помощью векторного критерия. Это связано с тем, что отдельные компоненты векторного критерия могут быть не только согласованными, когда улучшение какого-либо показателя приводит к улучшению всех остальных, но и противоречивыми, когда улучшение одних показателей приводит к ухудшению других.

В этом случае трудно определить, какое решение более предпочтительно, не говоря уже об его оптимальности. Поэтому в задачах принятия решения по векторному критерию главное внимание уделяется выработке решающего правила, основанного на компромиссе между значениями компонент векторного критерия.



В зависимости от того, к какому из перечисленных классов относится задача проектирования, для ее решения выбирается метод, принадлежащий к одной из следующих групп:

- эвристические, формируемые на основе большого опыта работы в данной сфере деятельности;
- формально-математические, основанные на формальной модели решения задачи;
- интерактивные, вырабатываемые в результате взаимодействия проектировщика с интеллектуальной системой поддержки принятия решений.

Формально-математические оптимизационные задачи в электронике встречаются довольно часто. К ним можно отнести:

- поиск оптимального набора компонентов или их параметров для удобного подключения, экономии, повышенной надежности или производительности;
- размещение элементов на схемах, печатных платах, корпусах и электрических соединений, а также поиск новых конструкций в микро- и нанoeлектронике;
- подбор резервирования для максимальной надежности или времени наработки на отказ;
- упрощение подключения к микроконтроллеру;
- упрощение программирования;
- упрощение расчетов;
- размещение операций по временным диаграммам в схемах с жесткой логикой или в микропроцессорной технике в случаях сжатого времени;
- составление расписания и поддержка принятия решений для «умной» техники;
- поиск путей для беспилотного транспорта.

Часто задачи проектирования сложных электронных схем имеют комбинаторный характер, вследствие чего возникает необходимость искать наилучший способ решить задачу эмпирическим путем.

В таких ситуациях широко используются биоинспирированные методы оптимизации, так называемые метаэвристические или интеллектуальные алгоритмы. К ним относятся искусственные нейронные сети, эволюционные и нечеткие алгоритмы [3, 4]. Курс подготовки инженеров в области электроники знакомит студентов с ними.

Так, например, можно решать задачу размещения элементов с помощью генетического алгоритма (рисунок 1).

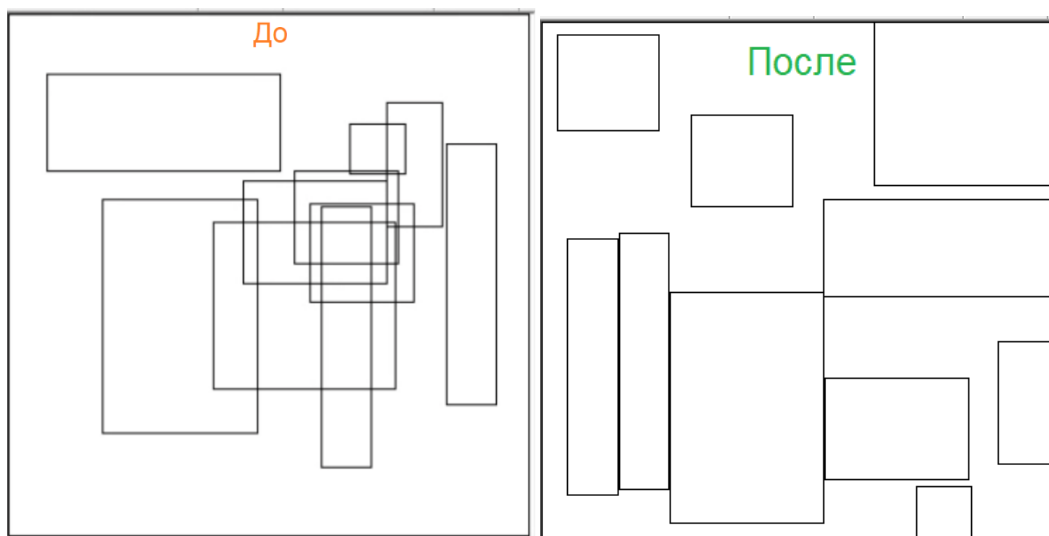


Рис. 1. Пример решения задачи размещения элементов с помощью генетического алгоритма

Тенденции по их внедрению в инженерную практику послужили основанием для формирования специального раздела электроники – эволюционной электроники. Эволюционная электроника – это область, охватывающая все прикладные задачи, которые используют эволюционные вычисления для разработки электронных систем [5].

Одной из первых работ, в которой была представлена идея использования эволюционных алгоритмов для решения комбинаторной задачи размещения элементов, была работа С.Д. Льюиса и Д.Е. Ролинса, которые в 1991 году применили данный подход к разработке интегральных схем [5].

Однако при их использовании возникает противоречие при выборе параметров, поскольку повышение скорости сходимости приводит к снижению ка-

чества найденного локального решения. Для устранения этого противоречия предпринимаются попытки ввести элементы адаптации в настройку значений параметров генетических операторов.

Применение интеллектуальных методов оптимизации не ограничивается научными исследованиями или решением сложной задачи. Можно адаптировать эволюционные подходы для решения традиционных задач схемотехнического проектирования электронных схем. Например, проводить моделирование в профессиональной программной среде, перебирая параметры генетическим алгоритмом, которого в этой среде нет. Данная концепция может существенно сократить сроки проектирования.

Целесообразность улучшения эргономики рабочего места вплоть до автоматизации монотонных рутинных задач является актуальным вопросом. При этом для реализации концепции дополнения рабочей среды алгоритмами оптимизации требуются знания и навыки в программировании. Для внедрения подходов на предприятии потребуются дополнительные ресурсы, однако инженер, который способен на это, сможет эффективнее решать задачи, повышая свою квалификацию. В области электронной инженерии данную концепцию можно активно внедрять, поскольку современный специалист должен владеть как информационными, так и интеллектуальными технологиями.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bondarev A.V., Efanov V.N. Investigation of the robustness of nanoelectronic structures based on resonant tunneling elements. Proc. of workshop 2021 International Seminar on Electron Devices Design and Production (SED), 27-28 April 2021, Prague, Czech Republic, pp. 1-6. DOI: 10.1109/SED51197.2021.9444533.
2. Бондарев А.В., Ефанов В.Н. Анализ динамических процессов в нанозлектронных структурах на базе мемрезистивных элементов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2021, т. 23, № 2 (100). С. 91-97. DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-2-84-90.
3. Алёхин Р.А. Обзор метаэвристических методов оптимизации применяемых при решении электроэнергетических задач[Текст]// Вестник самарского технического университета. – 2019. №3. – С. 6-19.
4. Саймон Д. Алгоритмы эволюционной оптимизации [Текст]/ пер. с англ. А. В. Логунова. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 1002 с
5. Шкамардин И.А. Проблемы и перспективы развития эволюционной электроники[Текст]// Известия Южного федерального ун-та. - 2009, – С. 52-56.

УДК 621.3

А. М. ЦАРАЛУНГА  
*tsaralunga95@inbox.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. О. Е. ДАНИЛИН

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **НЕЧЕТКИЙ РЕГУЛЯТОР В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

*Аннотация.* В статье рассмотрен асинхронный двигатель как объект управления со специфическими особенностями. Для их учета при регулировании и улучшения качества управления предлагается дополнительный адаптивный блок нечеткой логики, который будет перенастраивать ПИД-регулятор. Процедура разработки этого блока требует тщательного изучения объекта управления и внешней среды.

*Ключевые слова:* асинхронный двигатель; система автоматического регулирования; система автоматического управления; нечеткий регулятор; ПИД-регулятор.

Современные производственные процессы неразрывно связаны со сверхточными процессами и крайне малыми величинами. Достичь их можно при помощи станков с электроприводами, управляемыми числовым программным управлением (далее ЧПУ).

Электропривод главного движения в большинстве случаев оснащен асинхронным электродвигателем. Принцип действия трехфазного асинхронного электродвигателя основан на свойстве трехфазного тока, способного создавать в обмотках статора вращающее магнитное поле.

Для реализации заданных показателей качества управления программа должна регулировать определенным образом. В настоящее время наиболее часто используемыми являются пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) регуляторы. Однако при наличии сложных объектов, имеющих трудно формализуемый характер с множеством внутренних перекрестных связей, нелинейных элементов и звеньев запаздывания, традиционный метод ПИД-регулирования не может обеспечить приемлемое качество управления, поэтому актуальность приобретают различные интеллектуальные методы настройки.

Для регулирования скорости вращения асинхронного двигателя оптимальным является метод нечеткой логики.

Чтобы выполнить задачу моделирования системы автоматического регулирования, модель асинхронного двигателя необходимо представить в виде передаточной функции. Передаточная функция асинхронного двигателя состоит из электромагнитной и механической частей (рис. 1).

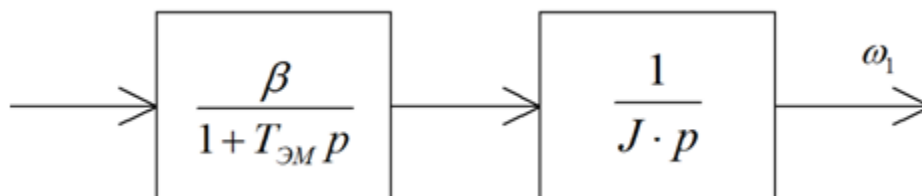


Рис. 1. Модель асинхронного двигателя

где  $T_{\text{ЭМ}}$  – электромагнитная постоянная времени;  $\beta$  – коэффициент жесткости механической характеристики;  $J$  – момент инерции.

Для возможности моделирования процесса управления асинхронным двигателем классическим ПИД-регулятором были построены структурные схемы системы в простом исполнении (рис. 2 и 3 соответственно).

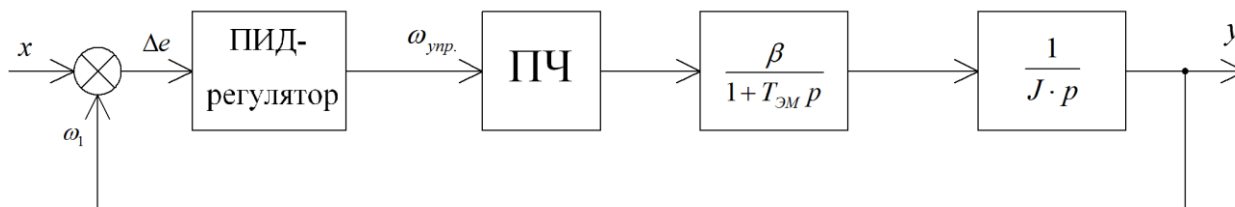


Рис. 2. Структурная схема системы автоматического регулирования с классическим ПИД-регулятором

Для моделирования процесса с внешними воздействиями была построена модель в программной среде Scilab/Xcos (рис. 3) и настроен регулятор методом Зиглера-Никольса, в результате чего была получена переходная характеристика (рис. 4).

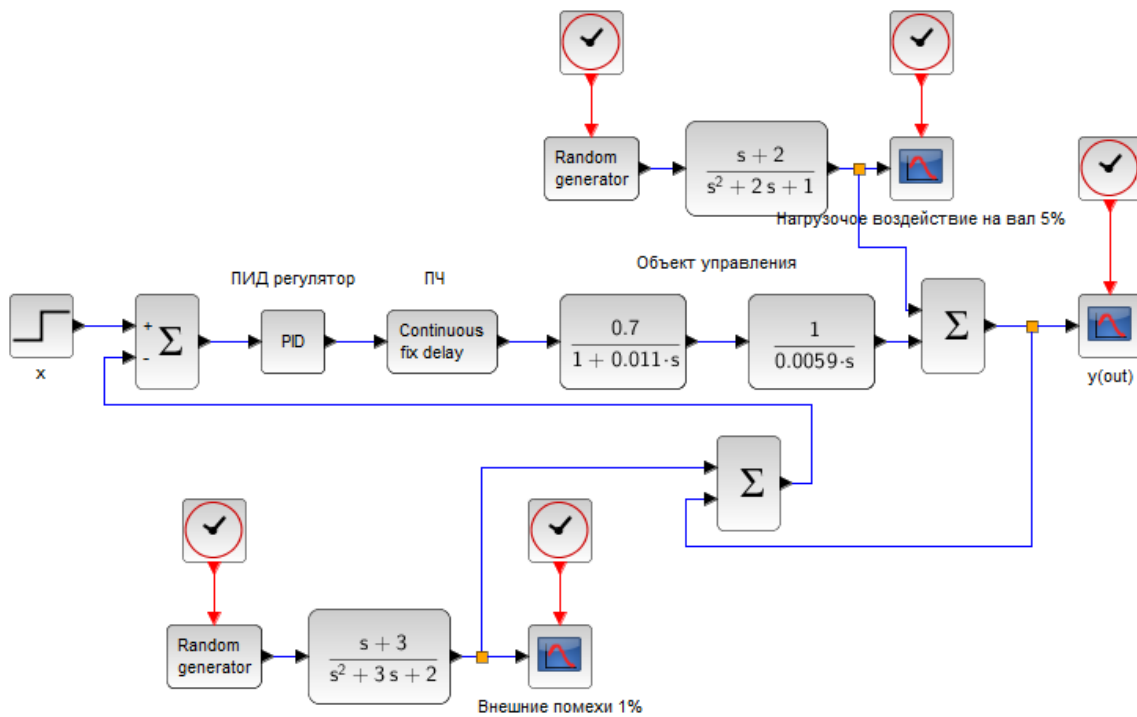


Рис. 3. ПИД-регулятор в системе с обратной связью с внешними помехами  $d$  и нагрузочным воздействием на вал  $n$

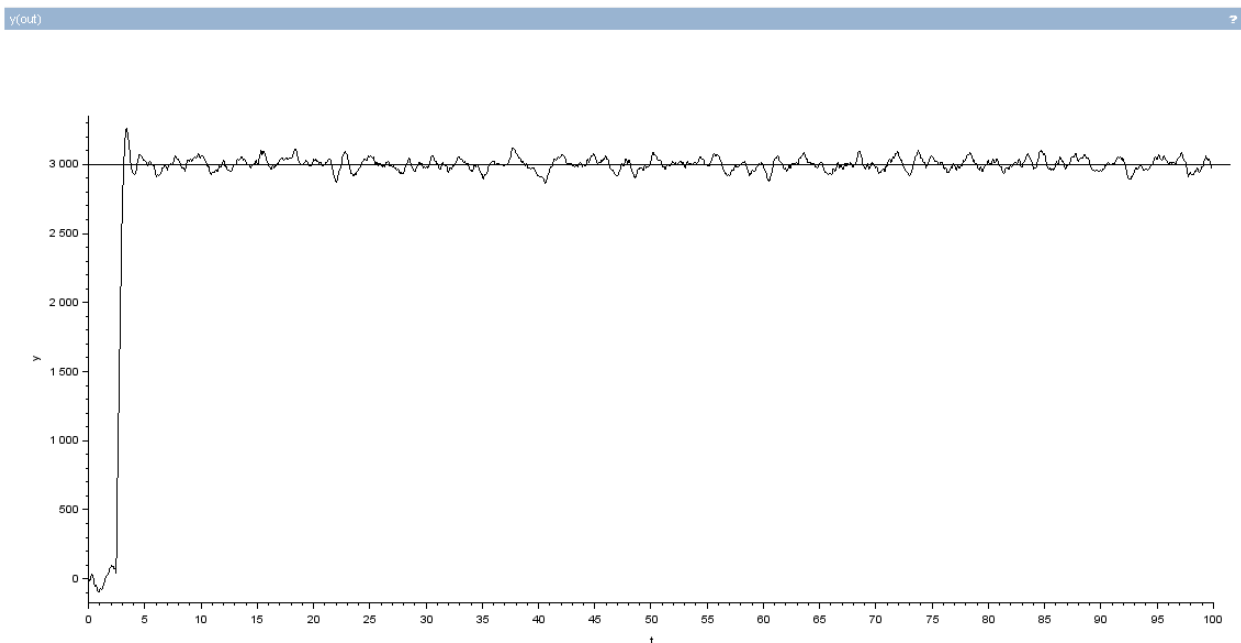


Рис. 4. Переходная характеристика САУ с ПИД-регулятором при коэффициентах:  $K_P=1,9$ ;  $K_I=1,4$ ;  $K_D=0,26$

Полученная переходная характеристика демонстрирует нестабильность системы, которая зачастую не будет укладываться в техническое задание по точности.

Для улучшения точности регулятора предлагается внедрение адаптивного блока настройки коэффициентов, построенного по принципам нечеткой логики. Структурная схема системы с дополнительным нечетким блоком настройки представлена на рис. 5.

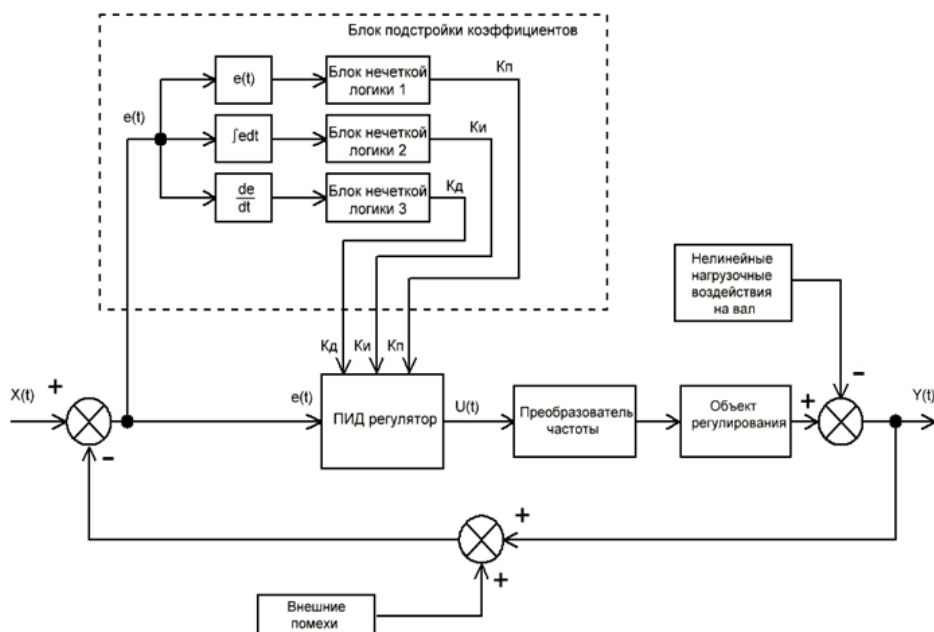


Рис. 5. Структурная схема адаптивного нечеткого регулятора в системе автоматического регулирования с внешними возмущающими воздействиями

По данной схеме блок настройки будет изменять коэффициенты в зависимости от изменения разницы требуемого значения от входного с датчиков. Тем самым система будет работать автоматически на разных режимах при разных условиях эксплуатации и среды.

После ряда исследования была построена модель системы в программном пакете MATLAB (рис. 6 и 7).

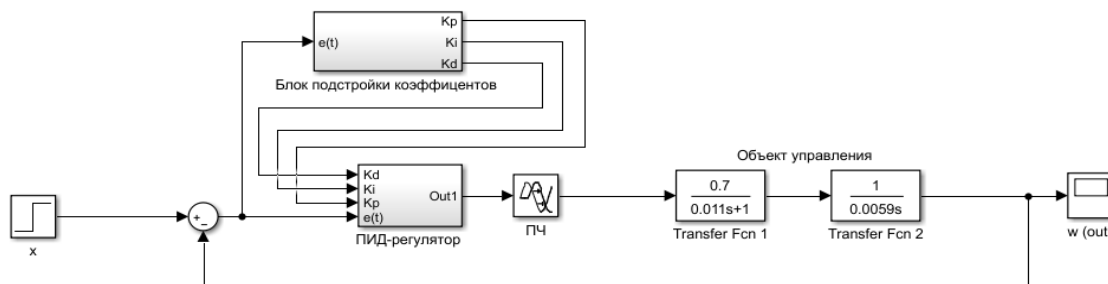


Рис. 6. Модель системы автоматического регулирования с внешними возмущающими воздействиями

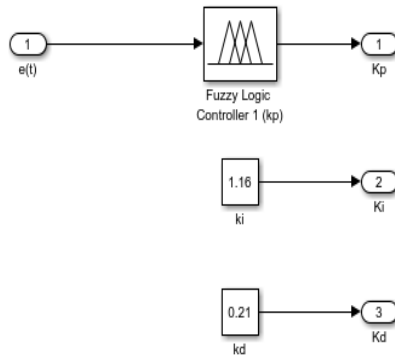
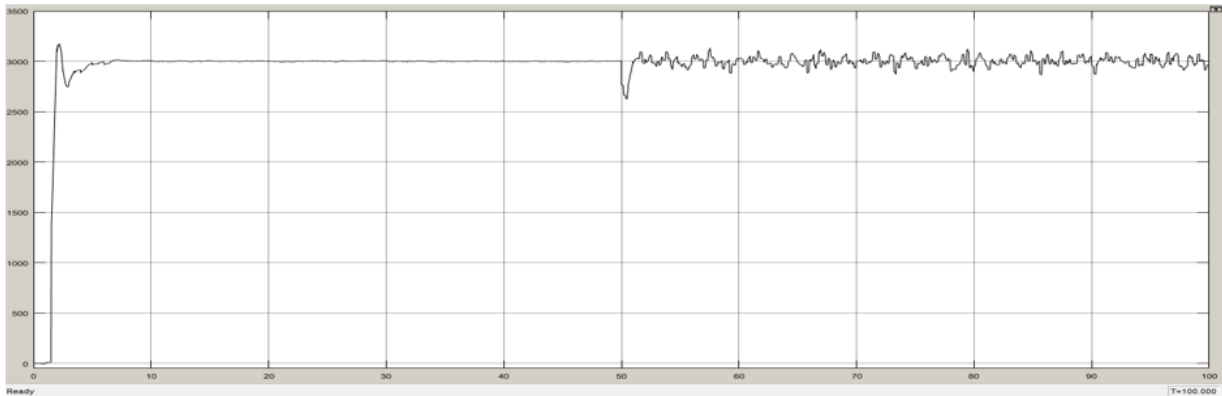
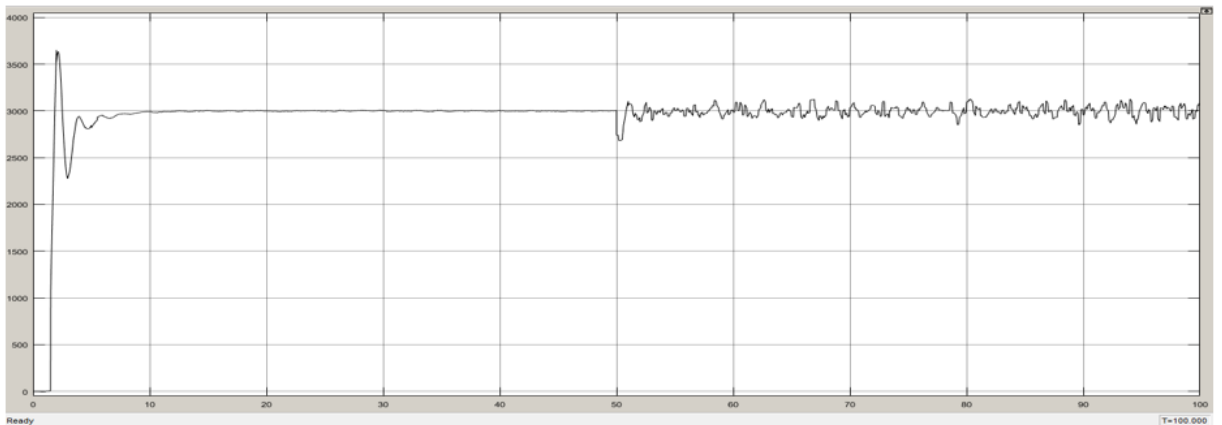


Рис. 7. Субсистема «Блок подстройки коэффициентов»

Сравнение системы, оснащенной адаптивным блоком настройки, с системой с классической настройкой представлены на рисунках 8 и 9.



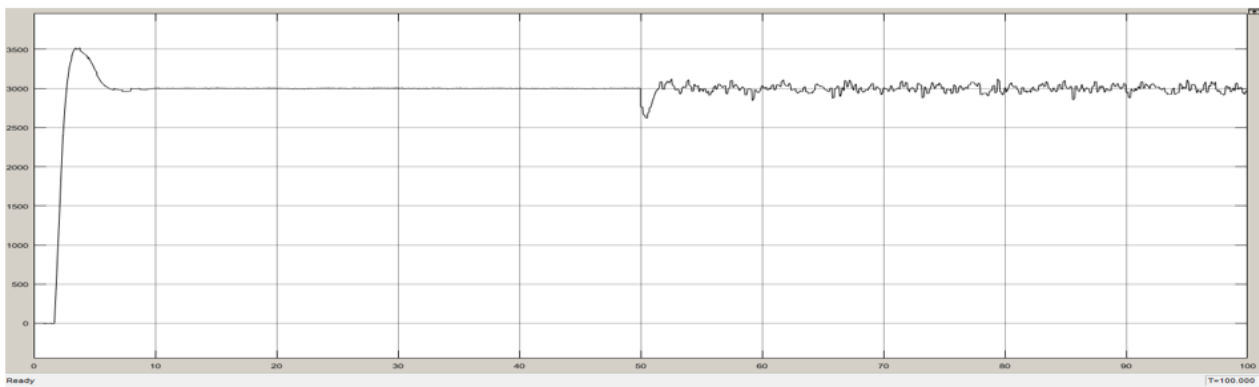
*a*



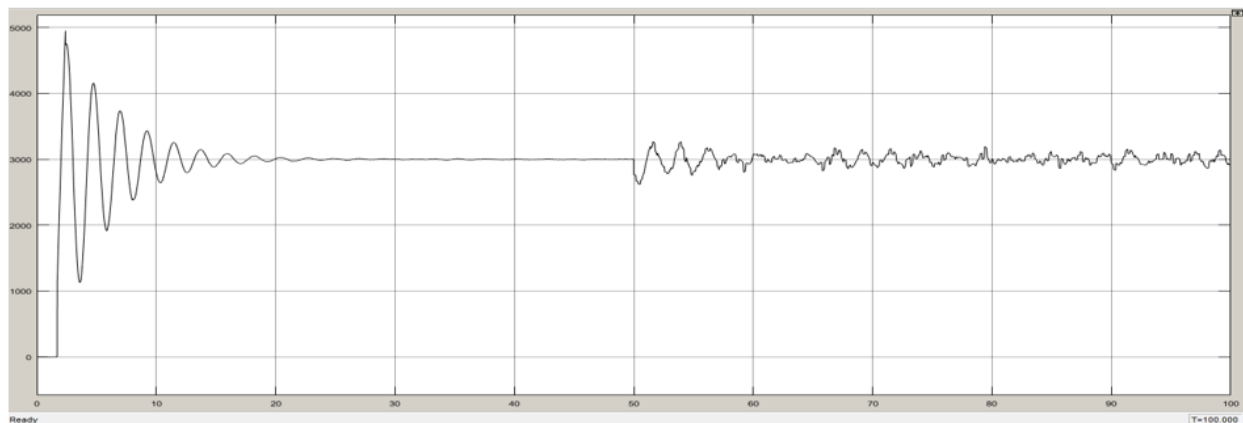
*б*

Рис. 8. Переходные процессы системы автоматического регулирования: *a* – с адаптивным нечетким ПИД-регулятором; *б* – с ПИД-регулятором





*a*



*б*

Рис. 9. Переходные процессы системы автоматического регулирования при изменении параметров ОУ:  
*a* – с адаптивным нечетким ПИД-регулятором; *б* – с ПИД-регулятором

Перерегулирование, время регулирования и число колебаний меньше для системы с применением адаптивного нечеткого ПИД-регулятора. Он явно устойчивее. По результатам проведенных исследований были сделаны выводы: адаптивный нечеткий ПИД-регулятор по качеству регулирования лучше, чем классический ПИД-регулятор, однако чтобы настроить блок нечеткой логики до оптимального функционирования потребуются провести большой объем работы в области исследования ПИД-регулятора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисенко В., ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации: Журнал «СТА», рубрика «В записную книжку инженера» – М.: "СТА-ПРЕСС", №4/2006. – 95 с.
2. Демидова Г.Л. Регуляторы на основе нечеткой логики в системах управления техническими объектами – СПб: Университет ИТМО.2017. – 81 с.

3. Дьяконов В.П., Круглов В.В., Математические пакеты расширения Matlab, М.: 2001. – 488 с.
4. Демидова Г.Л., Лукичев Д.В. Регуляторы на основе нечеткой логики в системах управления техническими объектами – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 81 с.
5. Куленко М.С., Буренин С.В., Исследование применения нечетких регуляторов в системах управления технологическими процессами // «Вестник ИГЭУ» – выпуск №2, 2010. – С.5
6. Хижняков Ю.Н. Алгоритмы нечеткого, нейронного и нейро-нечеткого управления в системах реального времени: учеб. пособие. Пермь: Изд-во ПНИПУ. 2013. – 160 с.

Е. О. ЦЕЛИЩЕВ

*ztselishchev@mail.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. В. С. ФЕТИСОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **СИСТЕМА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ КВАДРОКОПТЕРА С ПРЕПЯТСТВИЯМИ**

**Аннотация.** В статье описаны разновидности существующих систем предупреждения столкновения беспилотного летательного аппарата (БПЛА) с препятствиями и изучены их достоинства и недостатки; проведен краткий анализ используемых датчиков для таких систем; разработана схема системы предотвращения столкновений квадрокоптера с препятствиями.

**Ключевые слова:** БПЛА; квадрокоптер; система предупреждения столкновений; инфракрасный датчик.

Известно определенное количество различных систем предупреждения столкновений БПЛА с препятствиями. Рассмотрим некоторые из них:

1. Система от компании DJI
2. Система Altitude Angels
3. Система FlightHorizon PILOT

*Система от DJI* представляет собой полноценную платформу для БПЛА с системой предупреждения столкновений, а также комплектом программных средств разработки.

Основными компонентами системы являются стереокамеры и ультразвуковые датчики. С их помощью система может обнаруживать объекты на расстоянии до 20 метров вокруг объекта и автоматически стабилизировать его над землей. Система совместима с любым роботизированным устройством от компании DJI и может быть подключена через разъем USB или UART.

Важнейший недостаток описанной выше системы – это невозможность ее применения к БПЛА, произведенных другими компаниями. Также стоит упомянуть, что данная система довольно дорогостоящая, что для многих пользователей может быть довольно существенным недостатком.

*Altitude Angels*. Компания разработала двухкомпонентную систему CRS (Conflict Resolution Service) для разрешения конфликтов. Первым компонентом является «стратегический» режим, который организует планирование маршрута до взлета аппарата. При этом он предлагает изменения маршрута и времени взлета, чтобы снизить риски столкновения с другими регулярными рейсами. Как только БПЛА оказывается в небе, система переключается в «тактический» режим. Она сканирует окружение на наличие других беспилотных летательных аппаратов, коммерческих авиалайнеров и частных самолетов, оснащенных транспондерами.

Если CRS выявляет какой-либо риск столкновения, он выполнит корректировки маршрута в середине полета, которые обеспечат безопасное расстояние от других пользователей воздушного пространства или обведут БПЛА вокруг любого ограниченного воздушного пространства. Это руководство по уклонению направляется пилоту-человек, но при отсутствии реагирования CRS сам выполняет корректировку движения.

Недостатки: сложность системы, высокая стоимость.

*FlightHorizon PILOT* – это комплексное решение для полностью автономных беспилотных летательных аппаратов, позволяющее им обнаруживать, отслеживать и прогнозировать другие летательные аппараты, а также отправлять команды уклонения на бортовой автопилот для быстрого и эффективного самоотделения от конфликтов.

Устанавливается как независимый бортовой компьютер или как программный модуль на основном бортовом компьютере на борту беспилотного летательного аппарата и использует сигнал от авиационного транспондера (ADS-B) на беспилотном летательном аппарате для отслеживания в режиме реального времени всех других близлежащих летательных аппаратов.

Недостаток: использование серверной части для контроля воздушного пространства.

*Предлагаемое решение.*

Предлагается следующее: между бортовым приемником и полетным контроллером БПЛА (квадрокоптера) установить модификаторы управляющих ШИМ-сигналов, которые могли бы изменять их при срабатывании датчиков передней, задней и боковых сторонах корпуса квадрокоптера (D1-D4).

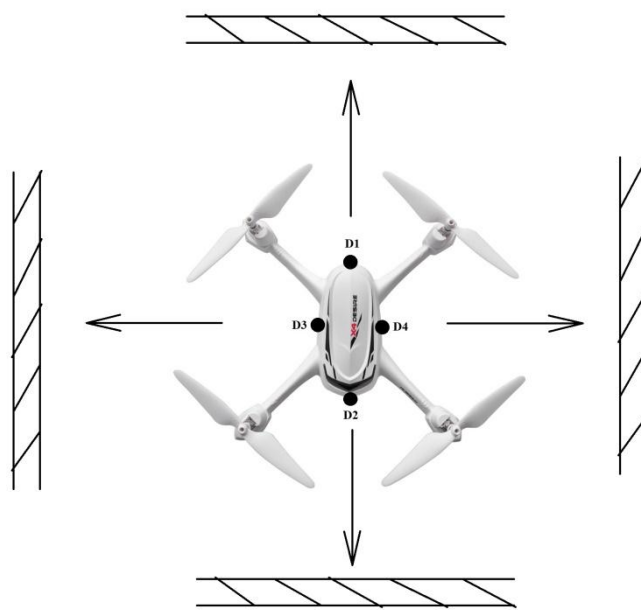


Рис. 1. Установка датчиков на корпусе квадрокоптера

Для предотвращения столкновения с препятствиями, находящимися спереди, сзади, слева и справа, достаточно модифицировать сигналы только двух каналов управления, а именно Pitch и Roll.

Например, при появлении препятствия спереди, датчик D1 будет выдавать логическую «1», и это должно быть использовано для уменьшения длительности импульсов в ШИМ-последовательности канала Pitch на 10-20%, или примерно на 50-100 мкс. Это приведет к замедлению квадрокоптера и позволит обойти препятствие. Действие будет продолжаться пока на выходе датчика D1 будет сохраняться логическая «1».

Аналогично, при появлении препятствия в поле действия датчика D2 выходной сигнал установится в логическую «1», тогда необходимо увеличить длительность текущих управляющих импульсов в канале Pitch.

Соответственно, для канала Roll, то есть для датчиков D3, D4, модификатор импульсов должен работать аналогично.

Описанному принципу действия соответствует следующая структурная схема:

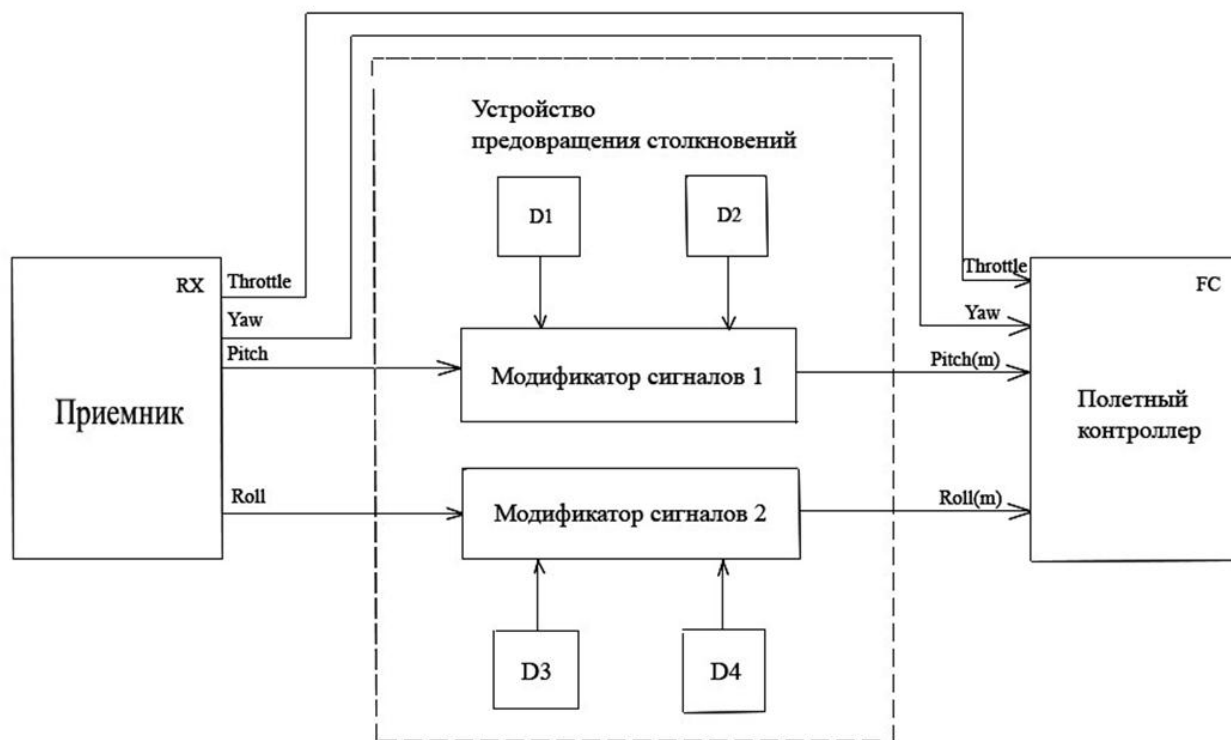


Рис. 2. Структурная схема устройства

Модификаторы сигналов 1 и 2 совершенно аналогичны и могут быть выполнены на одной плате.

В соответствии с принципом действия модификатора разработана функциональная схема (рисунок 3).

Основу схемы составляют расширитель и укоротитель импульсов, описываемые далее, и логический коммутатор, работающий в соответствии с таблицей истинности (табл.1).

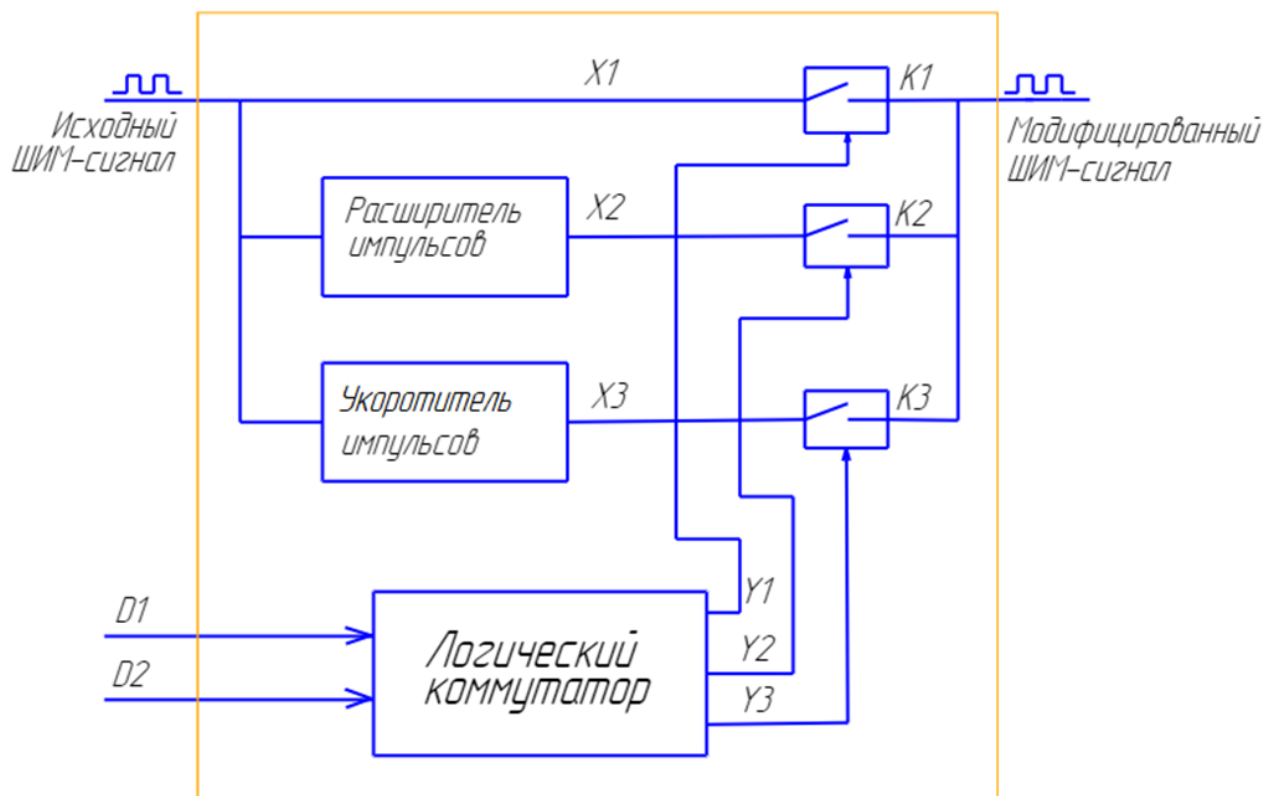


Рис. 3. Функциональная схема модификатора сигналов

Таблица 1

Таблица истинности логического коммутатора

D1	D2	Y1	Y2	Y3
0	0	1	0	0
1	1	1	0	0
0	1	0	1	0
1	0	0	0	1

Таким образом, управляющие сигналы Y1-Y3 вырабатываются в зависимости от состояния датчиков D1-D2 и коммутируют ключи K1-K3. Ключи K1-K3 показаны условно, - в реальной схеме их роль выполняют логические элементы.

Дальнейшей детализацией функциональной схемы является логическая схема модификатора (рисунок 4). В ней представлены абстрактные логические элементы, безотносительно типа логики и типов микросхем.

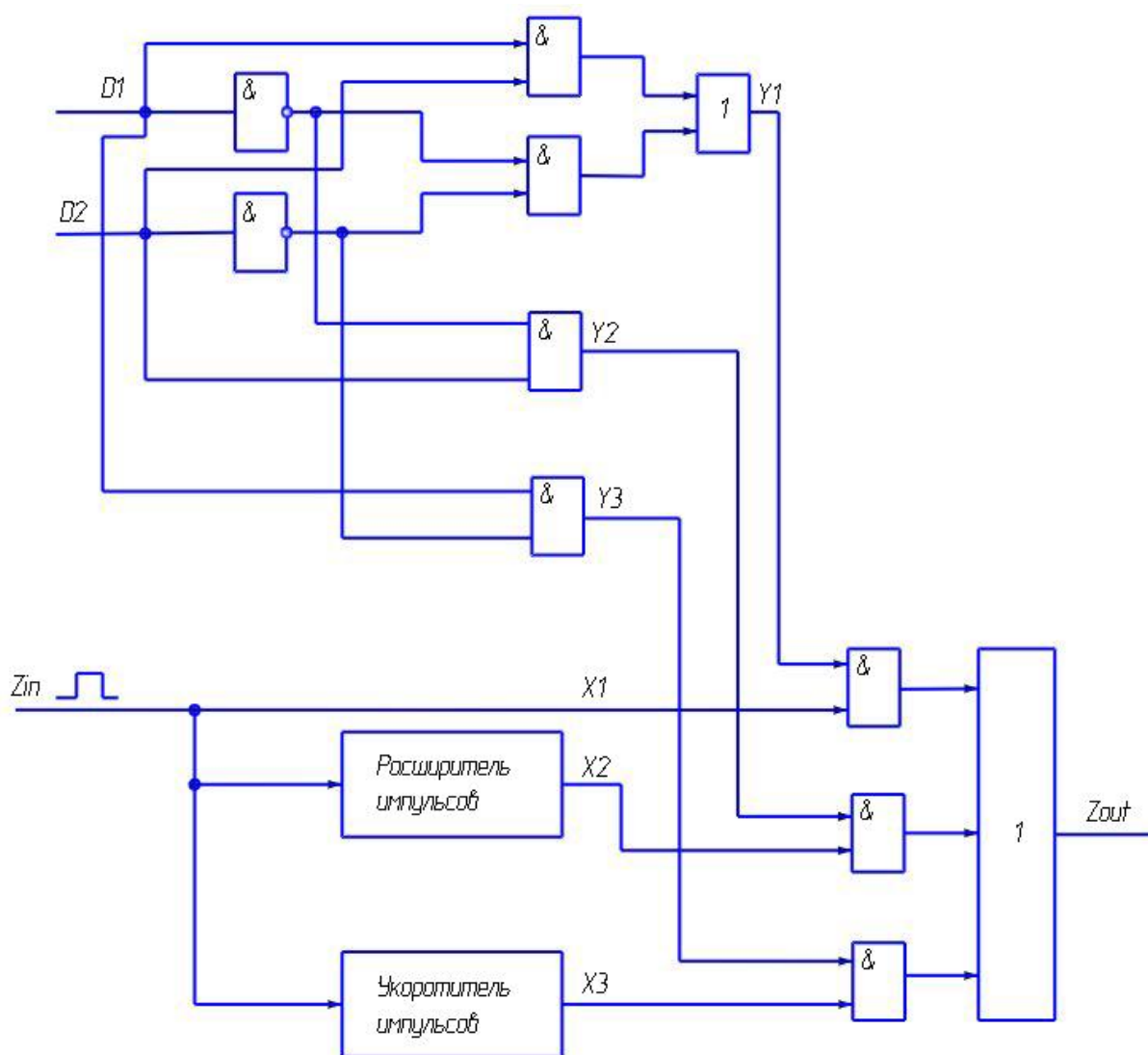


Рис. 4. Модификатор ШИМ-сигнала приемника. Логическая схема

На схеме показаны входы с датчиков D1, D2, так как схема соответствует модификатору 1 (канал Pitch). Для канала Roll схема будет идентичной, кроме входов. Вместо D1, D2 будут D3, D4.

В настоящее время для укорачивания прямоугольных импульсов по длительности широко применяются ИМС. Принцип работы укоротителя (рисунок 5) с использованием логических интегральных микросхем основан на временной задержке перепада напряжения.





торы управляющих ШИМ-сигналов, которые изменяют их при срабатывании датчиков приближения, установленных на передней, задней и боковых сторонах корпуса квадрокоптер. Основу модификаторов сигналов составляют укоротители и расширители импульсов на логических элементах. Основное достоинство предложенного решения – его универсальность, т.к. описанный блок может быть встроены в схемы большинства существующих квадрокоптеров.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расширители импульсов на ИЛЭ [Электронный ресурс] / Онлайн справочник «StudFiles» - Режим доступа: <https://www.studfile.net/preview/9726438/>.
2. Укоротители импульсов на ИЛЭ [Электронный ресурс] / Онлайн справочник «StudFiles» - Режим доступа: <https://www.studfile.net/preview/9726438/>
3. Система Guidance [Электронный ресурс]: VIDO – Режим доступа: <https://vido.com.ua/article/12354/ekspierimentalnaia-sistiema-dji-pomoghaiet-priedotvrashchat-stolknovieniia-dronov-zalogh-biezopasnogho-vozdushnogho-dvizhieniia/>
4. Клаассен К. Б. Основы измерений. Датчики и электронные приборы [Текст] пер. с англ: учебное пособие / Воронов Е. В., Ларин А. Л. – Долгопрудный: Интеллект, 2008
5. FlightHorizon: система предупреждения столкновения БПЛА [Электронный ресурс] / Онлайн журнал «ДроноМания» - Режим доступа: <https://dronomania.ru/news/9246.html>
6. Altitude Angel запускает первую в мире систему предотвращения столкновений для беспилотников [Электронный ресурс] / Онлайн-портал «Российские Беспилотники» - Режим доступа: [https://russiandrone.ru/news/altitude\\_angel\\_zapuskaet\\_pervuyu\\_v\\_mire\\_sistemu\\_predotvrashcheniya\\_stolknoveniy\\_dlya\\_bespilotnikov/](https://russiandrone.ru/news/altitude_angel_zapuskaet_pervuyu_v_mire_sistemu_predotvrashcheniya_stolknoveniy_dlya_bespilotnikov/)

## СЕКЦИЯ 3.4 ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 654.16

Т. А. ЗАКИРОВ

*ZaTagir@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. А. Р. ГИЗАТУЛИН

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

### ТЕХНОЛОГИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ КАНАЛОВ В СОВРЕМЕННЫХ СТАНДАРТАХ СВЯЗИ

**Аннотация.** В данной статье рассматривается технология пространственного разделения каналов, которая применяется для обеспечения высокой пропускной способности в современных системах связи и новейших стандартах передачи данных.

**Ключевые слова:** пространственное разделение каналов; SDM; волоконно-оптические сети; RoF; ARoF.

Физический предел пропускной способности одномодового оптического волокна и рост объема передаваемой информации способствовали созданию технологии пространственного разделения каналов, или Space Division Multiplexing (SDM). Данная технология необходима для увеличения пропускной способности сети и совместной передачи различных типов данных при высокой концентрации абонентов на относительно ограниченном пространстве (стадионы, аэропорты, торговые центры и др.).

Передача различных типов трафика с различающимися требованиями к качеству сигнала является проблематичной с точки зрения гибкости и управления сетью. Внедрение SDM делает возможным создание единой сети с общей волоконной инфраструктурой для нескольких типов данных с совершенно разными требованиями. SDM в оптической области в сочетании с WDM (уплотнением по длине волны) обеспечивает единую гибкую инфраструктуру, которая может одновременно поддерживать несколько разнородных потоков как в DRoF (digital radio over fiber), так и в ARoF (analog radio over fiber), а также позволяет управлять диаграммой направленности оптическим способом и, таким образом, идеально подходит для случаев, в которых трафик разнородного ха-

рактера должен обслуживаться скоординировано через единую инфраструктуру. Технология SDM позволяет мультиплексировать пространственные оптические каналы, что увеличивает пропускную способность ВОЛС. Данное решение позволит модернизировать ВОЛС в соответствии с требованиями к полосе пропускания, предъявляемым мобильной связью 5G. Сети с использованием SDM поддерживают работу с несколькими операторами и службами, а также повышают гибкость распределительной сети.

В настоящий момент широко применяются схемы с несколькими пересекающимися сетями радиодоступа, одновременно предоставляющими различные типы услуг через одну и ту же сеть. Основу этих схем составляет сеть с частотой ниже 6 ГГц, обеспечивающая регистрацию и аутентификацию пользователей, а также передачу данных. Второй уровень сетей миллиметрового диапазона обслуживается через ARoF с использованием оптического управления диаграммой направленности для многолучевой передачи. Сеть, использующая миллиметровые волны, осуществляет передачу данных большого объема в пространстве с помощью нескольких лучей, а также с помощью специальных, узких и высоконаправленных пучков лучей. Использование управления диаграммой направленности в сети миллиметровых волн позволяет значительно увеличить пропускную способность для охвата пользователей, поскольку уменьшение пространственной площади луча приводит к меньшей плотности пользователей, охватываемых одним лучом, а также к более высокому отношению сигнал-шум и позволяет более эффективно использовать частоты. Кроме того, высокая пропускная способность может быть достигнута с помощью фокусированных пучков, поскольку сильная фокусировка значительно увеличивает принимаемую мощность и позволяет использовать большую полосу пропускания – лучи не перекрываются и не создают помех.

Внедрение ARoF совместно с SDM позволяет увеличить объем радиотрафика избегая затрат на оцифровку сигнала и минимизируя использование полосы пропускания. Использование AROF является перспективным решением и в

последнее время является более предпочтительным решением по сравнению с DRoF по двум причинам. Первая причина связана с использованием ресурсов пропускной способности. Так, системы ARoF минимизируют использование полосы пропускания, в то время как системы DRoF, основанные на низкоуровневых функциональных разделениях, обычно требуют на два или три порядка большей полосы пропускания. Причина заключается в том, что для качественного восстановления радиосигнала он подвергается аналогово-цифровому преобразованию с высокой частотой дискретизации и разрядностью. Вторая причина предпочтительности ARoF связана со стоимостью сети. В случае использования ARoF структура удаленного узла значительно упрощается (в идеале до фотодиода и усилителя), что позволяет существенно сократить затраты на развертывание и эксплуатацию сети. Для радиодоступа заданы два разных диапазона частот: первый охватывает диапазон частот от 0,45 ГГц до 6 ГГц, в то время как второй охватывает диапазон частот от 24,25 ГГц до 52,6 ГГц. В этих двух диапазонах частот определено несколько рабочих поддиапазонов, где особый интерес представляет диапазон n258 (от 24,25 ГГц до 27,5 ГГц), который выбран для использования в Европе и в проекте blueSPACE. В рамках проекта blueSPACE разрабатывается платформа программно-определяемой сети (SDN) и виртуализации сетевых функций, что необходимо для внедрения SDM и совместного использования цифровой (DRoF) и аналоговой (ARoF) передачи радио по оптоволокну.

Технология SDM в оптическом волокне может быть реализована с помощью волокон с несколькими сердцевинами (multicore fiber, MCF) или с помощью модового мультиплексирования (mode division multiplexing – MDM) в ОВ при маломодовом режиме передачи. Волокна с несколькими сердцевинами предполагают сложное изготовление по сравнению с волокнами с осевой симметрией, поэтому системы MDM представляются экономически более эффективными.

Для более эффективного использования технологии SDM в мобильных сетях 5G необходимо интегрирование в существующие инфраструктуры, такие как пассивные оптические сети (PON) и пучки одномодовых волокон.

Таким образом, использование пространственного разделения каналов в сочетании с другими видами технологии, такими как ARoF, способствует увеличению пропускной способности оптического волокна и обеспечивает передачу различных видов информации, соответствующую требованиям современных систем связи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Idelfonso Tafur Monroy, Simon Rommel Space Division Multiplexing 5G Fronthaul with Analog and Digital Radio-over-Fiber and Optical Beamforming– the blueSPACE Concept // Eindhoven University of Technology, 2018.
2. Rommel, S., Perez-Galacho, D., Fabrega, J. M., Munoz, R., Sales, S., & Monroy, I. T. High-capacity 5G fronthaul networks based on optical space division multiplexing // IEEE Transactions on Broadcasting, 2019, 434-443, <https://doi.org/10.1109/TBC.2019.2901412>.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ОПТИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ  
ДЛЯ МЕЖСПУТНИКОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ**

**Аннотация.** В данной статье рассмотрена модель оптического канала передачи для межспутниковой связи, а также приведены результаты исследования данной модели.

**Ключевые слова:** оптическая беспроводная связь; межспутниковая связь; OWC; BER; Q-фактор.

Оптическая беспроводная связь (OWC – Optical wireless communication) – это инновационная технология, которая рассматривается как самая перспективная замена существующим радиочастотным системам. В спутниковых системах связи важное значение имеют массогабаритные показатели, и в этом плане OWC обладают явными преимуществами, так как оптические терминалы имеют меньшие размеры, работают на малых мощностях и как следствие, имеют меньшие массогабаритные показатели [1].

Для исследования эффективности OWC в межспутниковых коммуникациях в программной среде OptiSystem была смоделирована схема беспроводной оптической системы связи, которая приведена на рисунке 1.

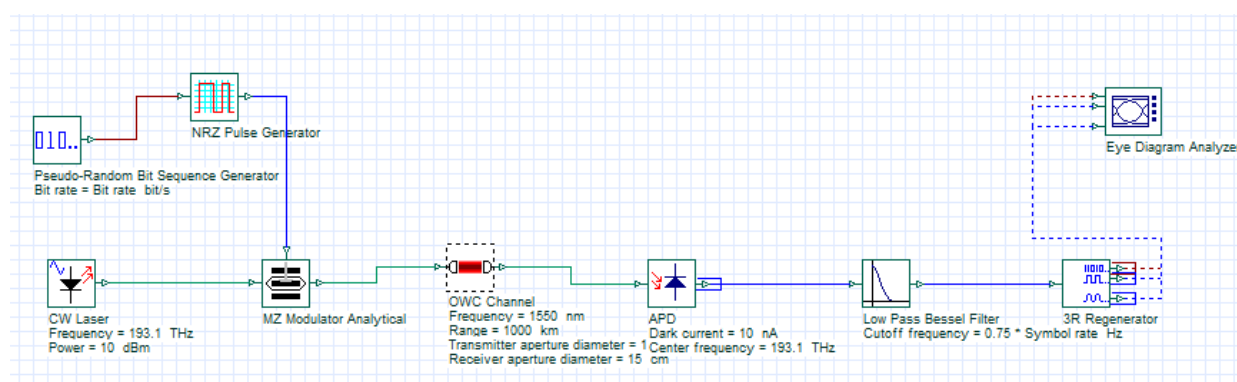


Рис. 1. Исследуемая схема

Принципиально важным является выбор фотодетектора на приемной стороне и для этого сравнивались *BER* систем с PIN и APD фотодиодами (рисунок 2). Выбор был сделан в пользу лавинного фотодиода, так как значение *BER* ока-

залося значительно ниже при прочих одинаково выставленных параметрах системы ( $BER_{APD} = 1,22 \cdot 10^{-54}$ ;  $BER_{PIN} = 6,96 \cdot 10^{-8}$ ).

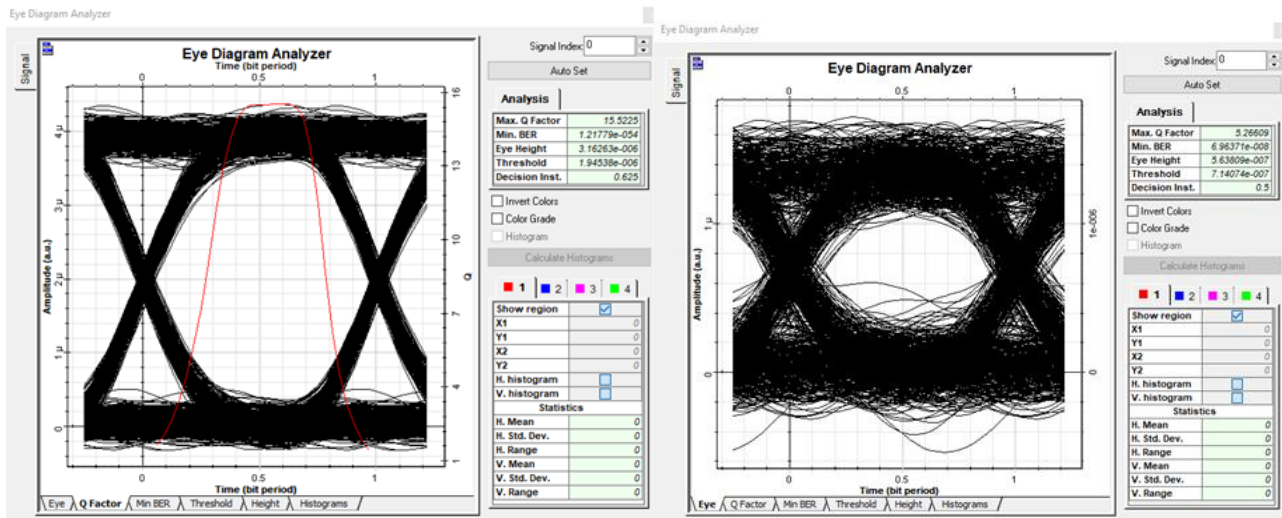


Рис. 2. Глаз-диаграммы системы с APD и PIN фотодиодами соответственно

Далее приведен график, показывающий каким образом изменяется  $Q$ -фактор системы в зависимости от длины линии при разных скоростях передачи информации.

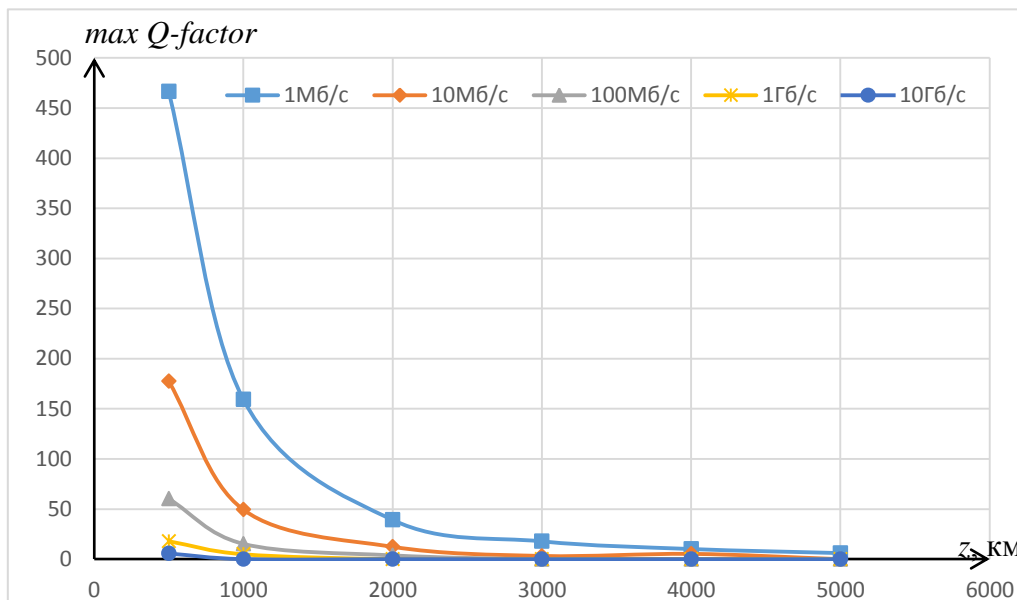


Рис. 3. График зависимости  $\max Q$ -фактора от длины линии при разных заданных скоростях передачи

По полученным данным можно сделать вывод, что с увеличением скорости передачи и/или длины линии передачи  $Q$ -фактор системы будет ухудшаться,



поэтому необходимо выбирать пороговое значение, чтобы не допускать значительного ухудшения качества системы связи. Также отметим, что дальность работы подобных систем высока и это позволит разворачивать канал межспутниковой связи не только на низкой околоземной орбите, но и на геостационарной.

Наконец, приведем график изменения мощности сигнала на приеме в зависимости от длины линии при различных диаметрах приемной антенны. Для расчета приемной мощности  $P_R$  применялась формула [2]:

$$P_R = P_T \cdot \eta_T \cdot \eta_R \cdot G_T \cdot G_R \cdot L_T \cdot L_R \cdot L_j.$$

где  $P_T$  – мощность передачи;  $\eta_T$  – КПД передающей антенны;  $\eta_R$  – КПД приемной антенны;  $G_T$  – коэффициент усиления передающей антенны;  $G_R$  – коэффициент усиления приемной антенны;  $L_T$  – коэффициент потерь наведения передатчика;  $L_G$  – коэффициент потерь наведения приемника;  $L_j$  – коэффициент пространственных потерь.

Как видно по рисунку 4, увеличение расстояния между спутниками приводит к снижению уровня принимаемой мощности, а с ростом диаметра оптической антенны возрастает и чувствительность приемника. Высокая чувствительность в свою очередь увеличивает пропускную способность системы и уменьшает частоту возникновения ошибок.

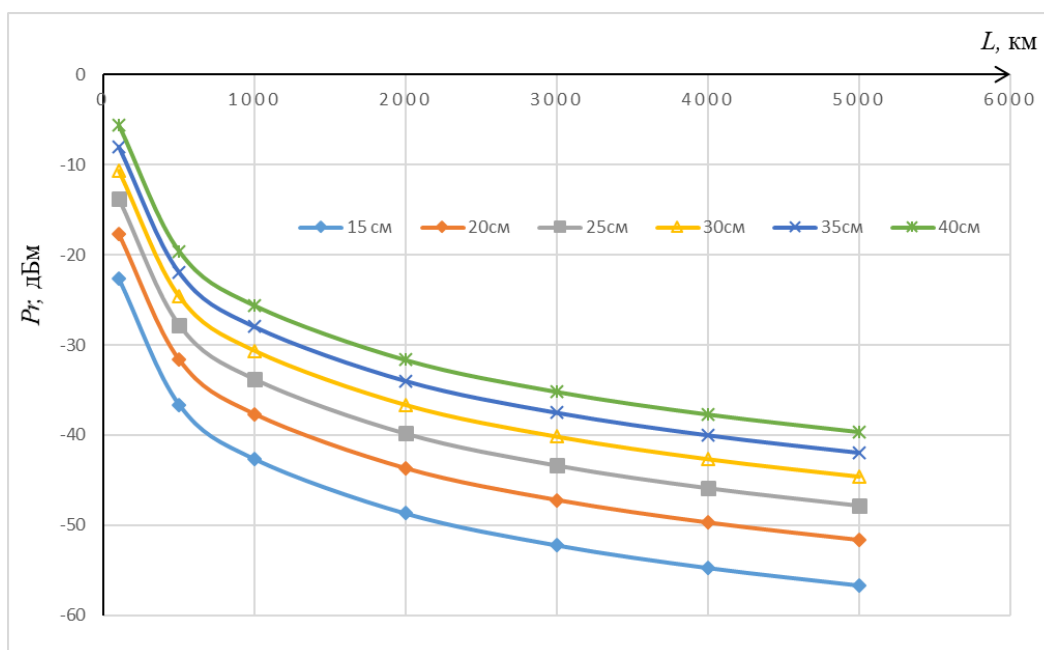


Рис. 4. График зависимости  $P_R$  от длины линии при разных значениях диаметра оптической антенны

Все приведенные характеристики, зависимости и результаты измерений указывают на то, что OWC системы имеют значительные достоинства, поэтому применение оптических каналов передачи в межспутниковой связи позволяет решать множество существующих проблем, которые не могут преодолеть радиочастотные системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sunita K., Pawan K. Inter-satellite Optical Wireless Communication System Design using Diversity Technique with Filter and Amplifier. // IEEE. International Conference on Communication and Signal Processing. – 2018. – P. 481-484.
2. Hemani K., Jain K., Subrat K. Free Space Optical Communication. Optical Networks. Davis, California, USA – 2017.

УДК 621.396.66

В. В. ИВАНОВ

*ivanovvlv@sibintek.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. И. В. КУЗНЕЦОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **РАЗРАБОТКА КООРДИНИРОВАННОГО ДИКМ-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы моделирования координированного дифференциального преобразования аудиосигналов. Описан подход к решению задачи синтеза кодирующей матрицы для случая нестационарных сигналов.

**Ключевые слова:** дифференциальное преобразование; нестационарные сигналы.

В современном мире для построения многоканальных систем связи необходимо решить задачу снижения энергопотребления. В особенности это актуально, когда речь идет об автономных системах связи. В качестве примеров можно привести: системы обработки данных спутниковых комплексов, системы обработки объемного звука, и другие.

Вопросы построения энергоэффективных систем кодеков дифференциальной импульсно-кодовой модуляции (ДИКМ) были подробно рассмотрены в работах [1]. При этом задача поиска передаточной функции экстраполяторов и координатора в многоканальной инфокоммуникационной системе была решена на основе методов вариационного исчисления, путем решения оптимизационной задачи. Однако, при увеличении числа каналов сложность такого решения существенно возрастает. Поэтому в [2] для упрощения синтеза координатора и экстраполяторов была предложена схема на основе кодирующей матрицы, учитывающей корреляционные свойства сигналов соседних каналов.

Целью данной работы является уменьшение динамического диапазона передаваемых в канал связи сигналов. Одним из возможных способов снижения динамического диапазона является разработка групповых дифференциальных импульсно-кодовых (ДИКМ) преобразователей. Использование частотного метода позволило свести задачу синтеза передаточной функции системы экстра-

поляторов к поиску коэффициентов линейной корреляции между сигналами и синтезу однотипного экстраполятора для каждого из каналов

В настоящее время проводится работа по реализации описанного кодека в графической среде имитационного моделирования Simulink и на ПЛИС Altera.

*Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 21-79-10407).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов, И.В. Аспекты построения группового кодека с дифференциальной импульсно-кодовой модуляцией сигналов для многоканальных систем связи / Кузнецов И.В., Филатов П.Е. // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Т. 10. – №2. – с. 34-39.
2. Воронков, Г.С. Повышение эффективности многоканальных систем связи за счет координирования канальных сигналов / Г.С. Воронков, П.Е. Филатов, А.Х.Султанов, Р.В. Кутлюяров, И.Л. Виноградова, И.В. Кузнецов// Сборник трудов V Международной конференции и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии». – Самара, 2019. – С. 193-198.

УДК 654.078

Я. В. ИВАНОВ

*jacovivanov@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. И. К. МЕШКОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **МОБИЛЬНАЯ СТАНЦИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ И ПРИЕМА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ И ПОЛЕЗНОЙ ИНФОРМАЦИИ С НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ СПУТНИКОВ**

**Аннотация.** В статье рассматривается мобильная станция, позволяющая получать спутниковые сигналы территориально независимо.

**Ключевые слова:** спутник; низкоорбитальный; антенна; связь.

В настоящее время использование малых низкоорбитальных космических аппаратов представляет большой интерес в связи с возросшими потребностями обеспечения широкополосного доступа в информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет», так и интеграции с будущими сетями беспроводной связи 5G и 6G. Опыт разработки и использования таких спутниковых систем, как «Сфера», OneWeb, Starlink, LeoSat показывает, что низкоорбитальные спутниковые системы успешно справляются с данными задачами.

Также необходимо отметить программу запуска в рамках российского образовательного проекта по созданию спутниковой группировки Space-п для профориентации школьников и студентов при поддержке Фонда содействия инновациям. Данная программа подразумевает запуск спутников размером 1U и 3U со следующими характеристиками космического аппарата: масса спутника до 4 кг; масса полезной нагрузки до 2,5 кг; габаритные размеры 110x110x340,5 мм. Возможна установка различной полезной нагрузкой для проведения и обработки полноценных летных экспериментов в космосе. Однако, для управления такими спутниками в радиоловительском диапазоне частот и осуществления приема полезной информации в канале управления необходимо построение разветвленной сети станций на всей территории Российской Федерации. Построение такой сети потребует вложения существенных затрат на закупку и установку стационарных антенно-мачтовых сооружений. Решением данной проблемы

может стать разработка мобильной станции для управления малыми спутниками и приема с них телеметрической и полезной информации с низкоорбитальных спутников.

Разработка мобильной станции для управления и приема данных позволит осуществлять оперативное наведение и сопровождение низкоорбитальных спутниковых системам в любой точке земной поверхности, генерацию сигнала для антенно-поворотного устройства, получение телеметрической и полезной информации с низкоорбитальных спутниковых систем, формирование команд для загрузки на спутник, установление сеансов радиосвязи в радиолобительском диапазоне с любыми низкоорбитальными объектами [1, 2], определение местоположения и получение наборов элементов орбиты с использованием программ Orbitron или Gpredict для выработки управляющего сигнала для поворотного устройства антенны.

Мобильная станция состоит из следующих блоков (рисунок 1):

- Антенна кросс яги с 9-ю элементами на 430-435 МГц;
- SDR приемник RTL SDR V3;
- Платформа Arduino Pro Micro на базе микроконтроллера ATmega32u4;
- Модуль управления одним или двумя моторами постоянного тока для поворотного устройства L298N;
- Многофункциональный датчик, обладающий акселерометром и магнитометром для определения ориентации в пространстве по трем координатам LSM303DLHC;
- Коллекторные моторы постоянного тока 0,6 RPM;
- Блока питания на 12 В DELTA.
- Коаксиальный кабель RG-174, 50 Ом, 4 м (с запасом); провода монтажные МГШВ, 1,5 кв.мм, 10 м (с запасом); кабели USB.

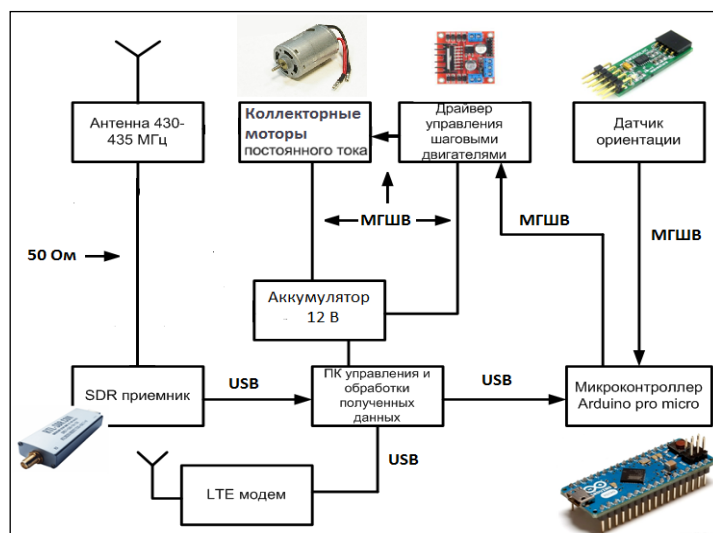


Рис. 1. Структурная схема мобильной станции для управления и приема телеметрической и полезной информации с низкоорбитальных спутников

Представленная в работе мобильная станция является актуальным техническим решением для управления спутниками в радиолюбительском диапазоне частот и осуществления приема полезной информации в канале управления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоцерковский Г.Б. Основы радиотехники и антенны // Советское радио , 1969. С. 150–175.
2. Белов А. В. Программирование Arduino. Создаем практические устройства // Наука и Техника, 2018. С. 105-145.

УДК 004.93

Л. А. ИСЛАМУТДИНОВА

*islamutdinova@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. А. И. САЛИХОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ИНСПЕКЦИЯ АНТЕННО-МАЧТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ**

**Аннотация.** Представлен обзор существующих систем инспекции АМС на базе беспилотных летательных аппаратов.

**Ключевые слова:** беспилотник; летающая платформа; дрон; инспекция антенно-мачтового сооружения.

Беспилотники часто используются как летающая платформа для инспекции состояния различных сооружений, потому что они справляются с такой задачей быстрее и безопаснее человека, но в большинстве случаев все равно необходим специалист, который просмотрит видеопоток с камеры квадрокоптера и оценит состояние объекта. Чтобы не нужно было просматривать всю запись, а сразу получать информацию о проблемных элементах конструкции, были разработаны дроны с машинным зрением. Ниже приведены существующие на рынке ПО и беспилотники, способные справляться с данной задачей.

Американская компания Skyvue Solutions для осмотра башни начала использовать программное обеспечение Pix4D и беспилотник.



Рис. 1. Отображение Pix4D результатов визуального осмотра

Нидерландская компания Aerialtronics совместно с Neurala и NVIDIA разработала мультироторный беспилотник (Altura Zenith с машинным зрением),



предназначенный для инспекции сотовых вышек и установленного на них оборудования.



Рис. 2. Дрон Altura Zenith с машинным зрением и отображение результатов осмотра вышки

Квадрокоптер DJI Mavic Air 2 Fly More Combo оптимизирован для продолжительной воздушной съемки при выполнении выездных работ. Дрон оснащен мощной камерой на основе CMOS-матрицы от Sony. Запись данных в формате RAW вкупе с цветовым профилем D-Cinelike упрощают постобработку материала.



Рис. 3. Дрон DJI Mavic Air 2 Fly More Combo

Если сравнить возможности ПО Pix4D и квадрокоптера Altura Zenith со встроенной вычислительной платформой Jetson TX1, то оба варианта справляются с данной задачей, но значительным недостатком Altura Zenith является очень высокая цена (приблизительно 902 тыс. рублей), поэтому оптимальным решением является ПО Pix4D и беспилотник DJI Mavic Air 2 Fly More Combo.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ПО Pix4D и беспилотник: <https://www.pix4d.com/blog/drone-cell-towerinspection-cameroun>.
2. Altura Zenith с машинным зрением для обследования вышек: <https://nplus1.ru/news/2016/09/30/machine-vision>.
3. DJI Authorized Retail Store: <https://www.djimsk.ru/catalog/products/>.

УДК 621.396.66

Е. Н. КАТЕРИНКИНА

*keykot19@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Е. П. ГРАХОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОБЗОР ВАРИАЦИЙ СОЗДАНИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ АНТЕННЫ**

**Аннотация.** Приведено описание существующих различных видов сверхширокополосных антенн. Описан возможный подход для создания реконфигурируемой антенны с режекторными характеристиками.

**Ключевые слова:** сверхширокополосная антенна; режекторная фильтрация.

В последнее время широкое развитие получили сверхширокополосные (СШП) антенны, которые работают в диапазоне частот 2,85-10,6 ГГц. Ряд преимуществ СШП систем (высокая скорость передачи данных, низкое энергопотребление, небольшая стоимость изготовления, невысокая сложность в конструкции и широкий спектр) делает данную технологию наиболее перспективной в развитии. Однако широкий спектр используемых частот может вызвать неизбежные электромагнитные помехи с другими существующими системами, такими как беспроводные локальные сети WLAN-IEEE 802.11a (5,15-5,825 ГГц), системы спутниковой связи в диапазоне С (3,5-4,2 ГГц) и X (7,25-8,4 ГГц), сети WiMAX (2,5-2,7 ГГц) и LTE Band 7 и 38 (2,5-2,69 ГГц).

Уменьшение уровня подобных помех может быть достигнуто путем включения фильтров с подавлением полосы частот, но их использование увеличивает сложность и стоимость системы. Чтобы решить данную проблему, были предложены различные виды СШП антенн с режекторной функцией.

Для подавления определенных частот предлагается использование кольцевых и H-образных резонаторов, расположенных рядом с фидерной линией, вытравление щелей на плоскости заземления, применение паза архимедовой спирали, L-образных штырей, вырезание полуволновой щели в излучающем элементе и симметричных четвертьволновых щелей в земле, изготовление антенн с U-образным и C-образным отверстием [1]. Также в [2] предлагается до-

бавление варикапов и PIN-диодов, чтобы получить необходимые характеристики, однако, когда управляющий элемент расположен на поверхности антенны, излучение антенны ухудшается.

В [3] представлен вариант компактной реконфигурируемой микрополосковой СШП антенны, которая может подавлять три полосы частот (3,2-3,95 ГГц, 5,05-6,2 ГГц и 7,8-8,9 ГГц). Такой результат получается благодаря U-образному слоту, четвертьволновому слоту и двум прямоугольным разъемным петлевым резонаторам. Однако нельзя считать представленную СШП антенну полностью реконфигурируемой из-за ограниченного выбора подавляемых полос частот.

Следовательно, поиск решений для создания реконфигурируемой антенны остается актуальным на сегодняшний день. Одним из перспективных направлений для разработки является использование сегнетоэлектриков – материалов, обладающих спонтанной поляризацией, направление которой может быть изменено с помощью внешнего электрического поля. Применение подобных материалов позволит создать антенну, обеспечивающую режекторные свойства без изменений в конфигурации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. A. Kadam, A. A. Deshmukh, K. P. Ray and S. B. Deshmukh, "Dual band-notched UWB antenna with L-Shaped slots and Triangular EBG structures," 2019 IEEE Indian Conference on Antennas and Propagation (InCAP), 2019, pp. 1-4.
2. M. S. Alam and A. Abbosh, "Reconfigurable band-rejection antenna for ultra-wideband applications," IET Microwaves Antennas & Propagation, vol. 12, no. 2, pp. 195-202, 2018.
3. J. Li and Y. Sun, "Reconfigurable Triple Band-Notched Monopole UWB Antenna," 2019 Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference (CSQRWC), 2019, pp. 1.

## **КОМПЕНСАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

*Аннотация.* В статье представлен обзор современных методов компенсации нелинейных искажений в оптических системах связи при помощи машинного обучения.

*Ключевые слова:* машинное обучение; оптические системы связи; нелинейные искажения.

С технической точки зрения, недавний технический прогресс как на физическом уровне систем оптической связи, так и на сетевом уровне лежит в основе беспрецедентного роста сложности оптических сетей, что побуждает рост исследований интеграции методов машинного обучения (МО) в системы оптической связи для решения множества проблем. Методы машинного обучения могут фиксировать сложное нелинейное поведение системы с относительно простым обучением контролируемых/неконтролируемых алгоритмов, которые используют знание о поведении системы во времени и, следовательно, для решения сложных межуровневых проблем, типичных для оптических сетей. Преимущество использования МО может заключаться в одновременном использовании множества данных о состоянии системы и обнаружении скрытых связей между различными типами информации. Применение МО для решения проблем на физическом уровне оптической сети в основном мотивировано наличием нелинейных эффектов в оптических волокнах, которые делают аналитические модели неточными или чрезмерно сложными.

В рамках решения задачи компенсации нелинейных искажений можно выделить два наиболее распространенных методов машинного обучения: применение классических нейронных сетей (НС) и глубоких НС (ГНС).

Несмотря на набирающих все большую популярность ГНС, классический подход до сих пор показывает свою эффективность для решения ряда проблем в оптических сетях. Так, эффективным решением задачи компенсации нели-

нейных искажений при передаче в волокне является применением метода цифрового обратного распространения (ЦОР) путем решения обратного нелинейного уравнения Шредингера. При этом, эти методы обладают большой вычислительной сложностью. Альтернативным вариантом может быть использование НС как нелинейный эквалайзер для уменьшения вычислительной сложности [6]. НС также показали свою эффективность в качестве эквалайзеров при высоком уровне нелинейности в одномодовых волокнах [3]. В данном случае НС способна уменьшить не только часть нелинейных искажений, вызванных распространением сигнала в оптическом волокне, но также и недостатки, возникающие в результате использования недорогих устаревших компонентов приемопередатчика, таких как ЦАП и модулятор Маха-Цендера.

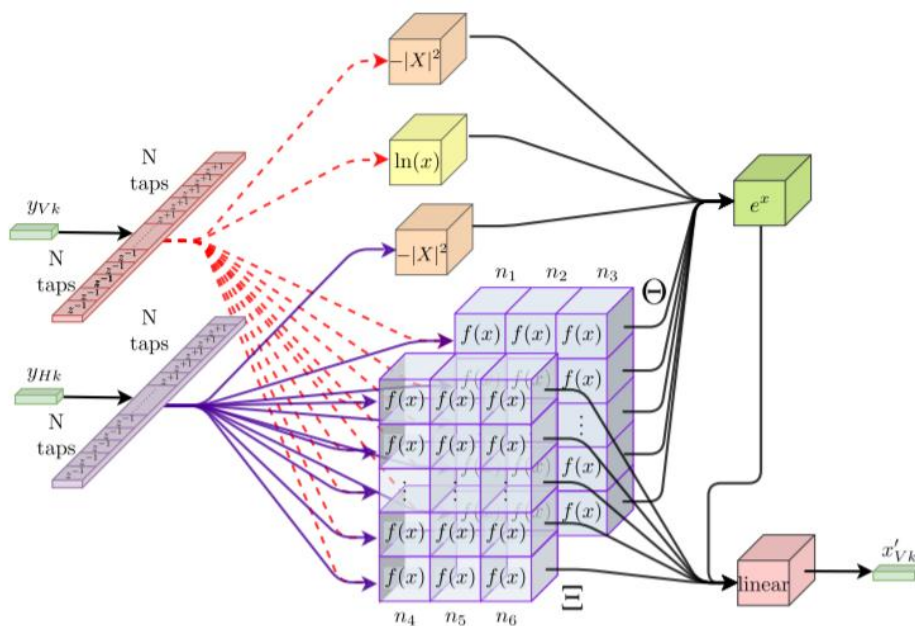


Рис. 1. Архитектура нейронной сети в качестве эквалайзера

Для решения задачи снижения ошибок из-за нелинейности приемопередатчика применим метод с формированием вероятностного сигнального созвездия при помощи НС [2]. Одним из наиболее известных примеров нелинейной нестабильности, встречаемой при распространении сигнала в оптическом волокне, является модуляционная нестабильность. Методы реального времени, такие как дисперсионное преобразование Фурье (ДПФ), обычно используются для измерения сверхбыстрых нестабильностей. Хотя он является концептуаль-

но простым и легким при реализации, ДПФ предоставляет только спектральную информацию, ограничивая знание о временных свойствах. МО с применением НС может преодолеть это ограничение для изучения временных свойств нестабильности модуляции оптического волокна, основываясь только на измерениях спектральной интенсивности [9].

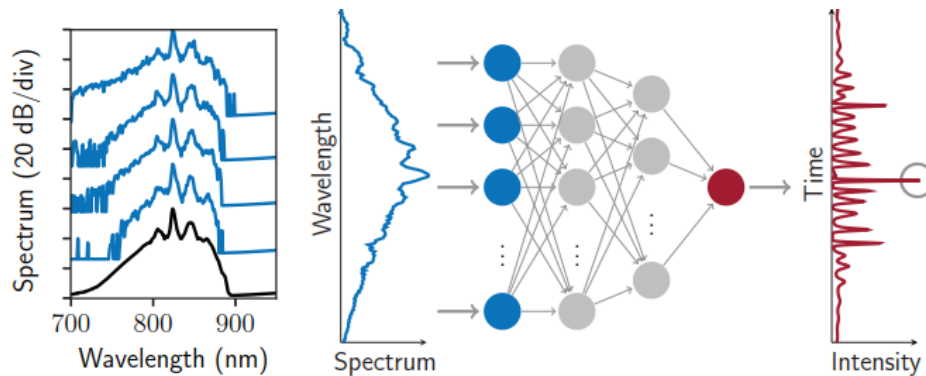


Рис. 2. Работа НС для невиллирования влияния нестабильности модуляции

Нелинейные искажения от лазера являются одним из основных ограничивающих факторов для повышения пропускной способности выше 10 Гбит/с для оптической сети доступа IM/DD. Нелинейный эквалайзер низкой сложности, основанный на НС, может увеличить пропускную способность канала и значительно снизить влияние нелинейных искажений [10]. Для компенсации нелинейных искажений, вызванных фазовой самомодуляцией, при передаче многоуровневых сигналов в оптическом волокне также применим подход с интеграцией в систему НС, которая эффективно работает для оптических сигналов 16-QAM [11].

Развитие области ГНС предоставляет широкие возможности для обработки сигналов, учитывая множество параметров как входной информации, так и системы передачи в целом.

В случае ГНС оптимизация алгоритмической сложности существующих методов и увеличения степени компенсации нелинейных искажений может быть достигнута применением сверточной НС (СНС), имитирующей ЦОР [4,5]. Эффективность ГНС в качестве эквалайзеров при высоком уровне нелинейности для оптических сигналов 64-QAM может быть достигнута уже при трех-

уровневой полносвязной структуре [7]. В оптических цифровых когерентных системах для компенсации нелинейностей волокна применяются сети LSTM в качестве элемента обработки сигналов в оптических приемниках, обеспечивающие лучшую производительность по сравнению с ЦОР [14].

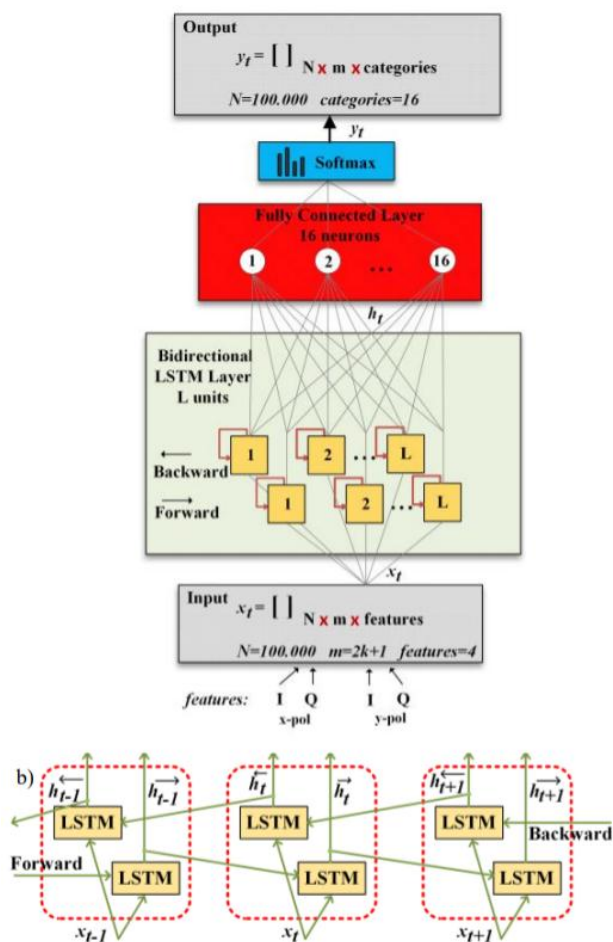


Рис. 3. Архитектура двунаправленной сети LSTM

Преимущества применения рекуррентных НС, заключающиеся в использовании временной памяти, для компенсации нелинейных искажений возрастают при учете сетью также информации из решения уравнения возмущения первого порядка связанного НУШ [17]. Применение ГНС позволяет проводить гибкий статистический анализ сложных волоконно-оптических систем, не полагаясь на какие-либо конкретные физические модели. Из-за присущей ГНС нелинейности различные эквалайзеры, основанные на структурах с турбо-коррекцией, показали значительный потенциал для уменьшения нелинейности волокна [18].

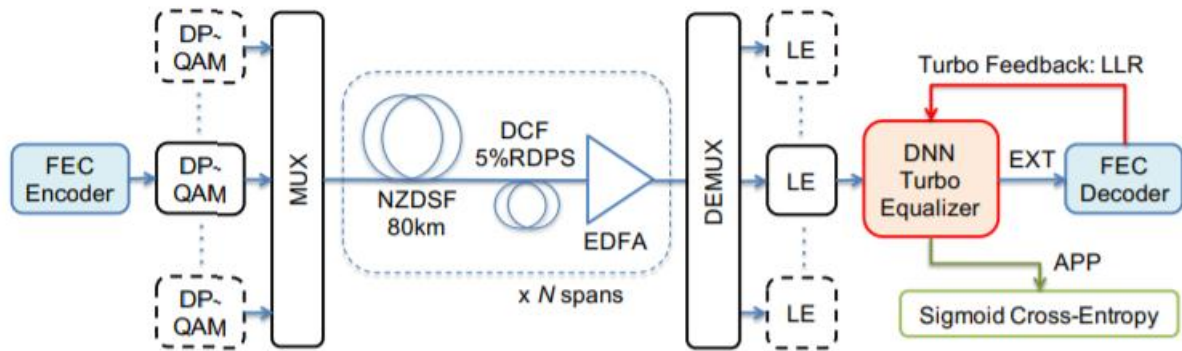


Рис. 4. Когерентная оптическая система связи с ГНС

Компенсацию нелинейных искажений теоретически можно решить также путем применения скрытых физических моделей для получения исходных моделей из разреженных или зашумленных данных. Для решения данной задачи с высокой точностью могут быть применены ГНС, основанных на физике, прогнозирующие поведение физических процессов, описываемых общими нелинейными уравнениями в частных производных [20]. Аналогичный результат может быть получен с использованием безмодельного подхода ГНС с резервными вычислениями [21].

Таким образом, применение нейронных сетей в рамках решения задачи компенсации нелинейных искажений при передаче сигнала в оптических системах передачи информации в связи с развитием нейросетевых структур становится все более распространенным и эффективным. Несмотря на все еще актуальные решения применения нейронных сетей классического типа, современные тенденции показывают растущую популярность глубоких нейронных сетей ввиду наличия новых разработок по повышению их эффективности с одновременным снижением вычислительной сложности. В большинстве случаев нейронная сеть применяется либо как аналог, либо как элемент цифрового обратного распространения в системах передачи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. T. Kyono and M. Nakamura, "Computational-complexity comparison of time- and frequency-domain artificial neural networks for optical nonlinearity compensation," Feb. 2020, p. 40, doi: 10.1117/12.2545720.



2. P. J. Freire et al., “Complex-Valued Neural Network Design for Mitigation of Signal Distortions in Optical Links,” *J. Light. Technol.*, vol. 39, no. 6, pp. 1696–1705, Mar. 2021, doi: 10.1109/JLT.2020.3042414.
3. T. T. Nguyen et al., “Coupled Transceiver-Fiber Nonlinearity Compensation Based on Machine Learning for Probabilistic Shaping System,” *J. Light. Technol.*, vol. 39, no. 2, pp. 388–399, Jan. 2021, doi: 10.1109/JLT.2020.3029336.
4. L. Salmela et al., “Extreme events prediction in optical fibre modulation instability using machine learning,” Jun. 2019, doi: 10.1109/CLEOE-EQEC.2019.8872555.
5. A. G. Reza and J. K. K. Rhee, “Nonlinear equalizer based on neural networks for PAM-4 signal transmission using DML,” *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 30, no. 15, pp. 1416–1419, Aug. 2018, doi: 10.1109/LPT.2018.2852327.
6. O. Sidelnikov, A. Redyuk, S. Sygletos, M. Fedoruk, and S. Turitsyn, “Advanced Convolutional Neural Networks for Nonlinearity Mitigation in Long-Haul WDM Transmission Systems,” *J. Light. Technol.*, vol. 39, no. 8, pp. 2397–2406, Apr. 2021, doi: 10.1109/JLT.2021.3051609.
7. Q. Fan, G. Zhou, T. Gui, C. Lu, and A. P. T. Lau, “Advancing theoretical understanding and practical performance of signal processing for nonlinear optical communications through machine learning,” *Nat. Commun.*, vol. 11, no. 1, Dec. 2020, doi: 10.1038/s41467-020-17516-7.
8. G. S. Yadav et al., “Dynamic complex deep Neural Network Nonlinear Equalizer for 64 QAM Long-haul Transmission Systems,” Jul. 2019, doi: 10.23919/PS.2019.8818144.
9. S. Deligiannidis, A. Bogris, C. Mesaritakis, and Y. Kopsinis, “Compensation of fiber nonlinearities in digital coherent systems leveraging long short-term memory neural networks,” *J. Light. Technol.*, vol. 38, no. 21, pp. 5991–5999, Nov. 2020, doi: 10.1109/JLT.2020.3007919.
10. Y. Zhao et al., “Low-Complexity Fiber Nonlinearity Impairments Compensation Enabled by Simple Recurrent Neural Network with Time Memory,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 160995–161004, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3021146.
11. T. Koike-Akino, Y. Wang, D. S. Millar, K. Kojima, and K. Parsons, “Neural Turbo Equalization: Deep Learning for Fiber-Optic Nonlinearity Compensation,” *J. Light. Technol.*, vol. 38, no. 11, pp. 3059–3066, Jun. 2020, doi: 10.1109/JLT.2020.2976479.
12. M. Raissi, P. Perdikaris, and G. E. Karniadakis, “Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations,” *J. Comput. Phys.*, vol. 378, pp. 686–707, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.jcp.2018.10.045.
13. J. Pathak, B. Hunt, M. Girvan, Z. Lu, and E. Ott, “Model-Free Prediction of Large Spatiotemporally Chaotic Systems from Data: A Reservoir Computing Approach,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 120, no. 2, Jan. 2018, doi: 10.1103/PhysRevLett.120.024102.

## СИСТЕМЫ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ НА БАЗЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ФОТОНИКИ

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные направления разработки устройств интернета вещей на базе интегральной фотоники, а также приведен краткий обзор наиболее перспективных работ в данной области.

**Ключевые слова:** интернет вещей; фотоника; интегральная фотоника.

Современные системы интернета вещей предъявляют высокие требования к энергопотреблению отдельных устройств и компонентов, их размерам и надежности. Стоит отметить, что современная электроника, в большинстве случаев, удовлетворяет данным требованиям, однако с каждым годом число устройств интернета вещей растет [1]. Соответственно, с этим ростом требования к энергопотреблению становятся строже, тут на помощь приходят устройства фотоники, так как позволяют сократить энергопотребление и повысить надежность, в случае с интегральной фотоникой энергопотребление может быть снижено на порядок.

На данный момент можно выделить несколько основных направлений в устройствах интернета вещей на базе фотоники:

1. Датчики:

- температуры;
- газов (примесей в воздухе);
- света (сенсоры для камер, фотодиоды);

2. Связь в видимом диапазоне (VLC – visible light communication);

3. Системы защиты информации на основе фотоники;

4. Среды передачи данных;

5. Приемопередатчики для устройств.

*Датчики и приемники*

В работе [2] представлен датчик мод шепчущей галереи для использования в системах измерения температуры и построения температурных карт. Ав-

торы описали систему, собранную на микроконтроллере с фотонным интегральным датчиком, также они провели эксперимент, показывающий работоспособность системы. В итоге, они провели сравнение своей системы с коммерческим термометром, отклонение было в пределах погрешности.

В работе [3] группа ученых описывает работу своей системы обработки изображений на базе фотонных интегральных схем. Размер системы 2000x200x20 мкм, при этом минимальная квадратическая ошибка составляет 11,7%, а угол обзора составляет 45 градусов.

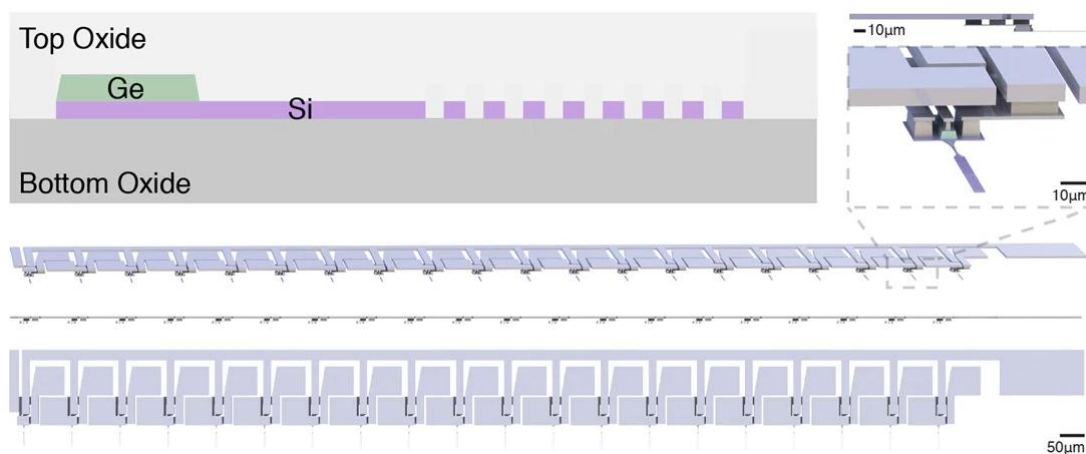


Рис. 1. Общий вид сенсора [3]

В статье [4] представлено использование стохастического резонанса для создания сверхчувствительных фотодиодов. Полученное группой ученых устройство имеет оптимальное детектирование сигналов при энергиях порядка 10-100 нДж. Также вопрос увеличения чувствительности рассмотрен в работе [6], в которой увеличение чувствительности происходит за счет изменения формы датчика (в статье описаны “окопные” фотодетекторы).

В работе [7] рассмотрен вопрос проектирования фотодетекторов на основе микрокольцевых резонаторов.

Также разрабатываются методы приема, что показано в [8], где группа ученых предлагает вариант дифференциального приемника для систем связи в видимом диапазоне, что позволяет оптимизировать расположение приемных устройств в помещении.

## Излучатели и передатчики

В статье [9] рассматривается вопрос разработки органического светоизлучающего диода (OLED) для систем связи в видимом диапазоне (VLC - visible light communications) с переходом в ближний инфракрасный диапазон (итоговый диапазон длин волн излучателя 650-800 нм). Авторы работы предполагают использование своей разработки в интерфейсах связи между отдельными устройствами, в том числе носимым на теле или имплантируемыми.

В статье [10] описано использование мультиплексора на основе микрочетевых резонаторов для передачи данных в госпиталь по технологии LiFi. Предложенная система может быть переходным звеном между оптическими и электронными системами связи.

Однако системы фотоники также позволяют организовать передачу в радиодиапазоне, что показано в работе [11], в которой авторы предложили три типа антенн на основе технологии микроволновой фотоники, излучающих в миллиметровом диапазоне длин волн.

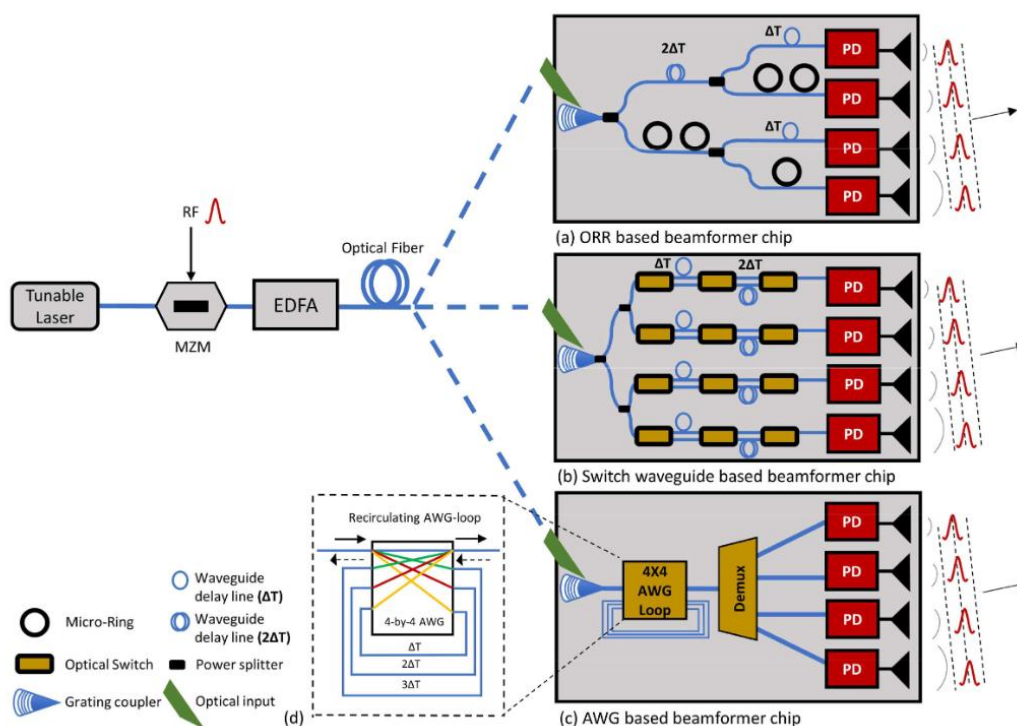


Рис. 2. Антенны, предложенные в работе [11]

Иногда фотоника в интернете вещей находит неожиданное применение, так в работе [12] предполагается использование фотонных переключателей для создания защищенных каналов связи.

Стоит отметить, что также существует вопрос применения закрытых сред для связи между устройствами, например, в статье [13] разрабатываются полимерные волокна с малым шумом.

На данный момент направление фотонного интернета вещей только зарождается, о чем свидетельствует как малое количество новых патентов, так и малое количество производителей заявляющих о своих разработках в данном направлении.

К основной проблеме данного направления можно отнести отсутствие устройств, выполненных с использованием только технологий фотоники (например, могут использоваться гибридные системы, где на базе фотоники созданы только лазеры и фотодиоды, а обработка сигналов производится электронными компонентами).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ali, A., Hamouda, W., & Uysal, M. Next generation M2M cellular networks: challenges and practical considerations // *IEEE Communications Magazine*, 2015, 53(9)
2. Xu, X., Chen, W., Zhao, G., Li, Y., Lu, C., & Yang, L. Wireless whispering-gallery-mode sensor for thermal sensing and aerial mapping // *Light: Science & Applications*, 2018, 7(1);
3. White, A., Khial, P., Salehi, F., Hassibi, B., & Hajimiri, A. A. Silicon Photonics Computational Lensless Active-Flat-Optics Imaging System // *Scientific Reports*, 2020, 10(1);
4. Dodda, A., Oberoi, A., Sebastian, A., Choudhury, T. H., Redwing, J. M., & Das, S. Stochastic resonance in MoS<sub>2</sub> photodetector // *Nature Communications*, 2020, 11(1);
5. Chen, C., Ding, H., Yue, Y., & Han, C. The Self-Assembly Composite Photonic Crystal: Toward Easy Humidity Detection by a Smartphone // *IEEE Photonics Technology Letters*, 2020 32(23);
6. Arima, Y. Silicon Near-Infrared Sensor Using Trench Photodiode Array // *IEEE Access*, 2021, 9;
7. Cui, J., Li, T., Chen, H., & Cui, W. High-Performance Microring Resonator Ge-on-Si Photodetectors by Optimizing Absorption Layer Length // *IEEE Photonics Journal*, 2020, 12(4);
8. Ryoo, H.-N., Kwon, D.-H., Yang, S.-H., & Han, S.-K. Differential Optical Detection in VLC for Inter-Cell Interference Reduced Flexible Cell Planning // *IEEE Photonics Technology Letters*, 2016, 28(23);
9. Minotto, A., Haigh, P. A., Łukasiewicz, Ł. G., Lunedei, E., Gryko, D. T., Darwazeh, I., & Cacialli, F. Visible light communication with efficient far-red/near-infrared polymer light-emitting diodes // *Light: Science & Applications*, 2020, 9(1);
10. Bunruangses, M., Chaiwong, K., Amiri, I. S., Youplao, P., Pornsuwancharoen, N., & Yupapin, P. High-Density Wavelength Multiplexing Model for THz-EMI Transmission // *Wireless Personal Communications*, 2020, 113(2);

11. Dhillon, A. S., Radi, B., & Liboiron-Ladouceur, O. An Analysis of RF On-Chip Antennas in Si-Based Integrated Microwave Photonics. *IEEE Photonics Journal*, 2021, 13(2);
12. Szymanski, T. H. Securing the Industrial-Tactile Internet of Things With Deterministic Silicon Photonics Switches // *IEEE Access*, 2016, 4;
13. Inoue, A., & Koike, Y. Low-Noise Graded-Index Plastic Optical Fiber for Significantly Stable and Robust Data Transmission. *Journal of Lightwave Technology*, 2018, 36(24).

УДК 681.586.5

Л. Ф. СУЛТАНОВА

*liana-net@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. А. И. САЛИХОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА КООРДИНАТЫ СКАНИРУЮЩЕГО ЛУЧА НА ПРИЕМНОЙ МАТРИЦЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПРОФИЛЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ**

**Аннотация.** В статье рассматриваются результаты работы разработанного приложения с пользовательским интерфейсом, которое осуществляет построение графика функций изменения положения оптического луча на выходе цилиндрической направляющей системы при боковом сканировании. Результаты вычислений предназначены для расчета профиля показателя преломления заданного образца при известных величинах показателя преломления иммерсионной жидкости и диаметра образца. Также, представлена формула, использованная для получения соответствующих результатов.

**Ключевые слова:** профиль показателя преломления; автоматизированный расчет.

Профиль показателя преломления оптических заготовок – основной требующий контроля параметр, от которого зависят характеристики вытягиваемого оптического волокна, влияющие на распространение сигналов. Следовательно, создание наиболее качественных методик измерения ППП, которые позволили бы сканировать образец в объеме трехмерной структуры, имеет существенное значение.

Разработанное приложение для построения графика функции изменения положения оптического луча, проходящего через цилиндрическую направляющую систему при боковом сканировании основано на применении выведенной формулы (1):

$$b_n = Y_0 \sin \varphi_n - \tan \sigma_n \cdot (Y_0 + L - Y_0 \cdot \cos \varphi_n), \quad (1)$$

где  $b_n$  – положение луча на экране,  $Y_0$  – радиус граничного концентрического слоя,  $L$  – расстояние от границы образца до экрана,  $\varphi_n$  определяется по формуле (2):

$$\varphi_n = 2 \sin^{-1} \left( \frac{y \cdot n_{cp}}{Y_0 \cdot n_0} \right) - \sin^{-1} \left( \frac{y}{Y_0} \right) + 2 \cdot \sum_{k=1}^n \left( \sin^{-1} \left( \frac{y \cdot n_{cp}}{Y_n \cdot n_n} \right) - \sin^{-1} \left( \frac{y \cdot n_{cp}}{Y_n \cdot n_{n-1}} \right) \right), \quad (2)$$

$\sigma_n$  рассчитывается по формуле (3):

$$\sigma_n = 2 \sin^{-1} \left( \frac{y}{Y_0} \right) - 2 \sin^{-1} \left( \frac{y \cdot n_{cp}}{Y_0 \cdot n_0} \right) + 2 \cdot \sum_{k=1}^n \left( \sin^{-1} \left( \frac{y \cdot n_{cp}}{Y_n \cdot n_{n-1}} \right) - \sin^{-1} \left( \frac{y \cdot n_{cp}}{Y_n \cdot n_n} \right) \right), \quad (3)$$

где  $y$  – входная координата,  $n_{cp}$  – показатель преломления иммерсионной жидкости,  $n$  – номер слоя, начиная с граничного,  $n_n$  – показатель преломления слоя  $n$ .

Для получения требуемых графиков в окне исходных данных программы заполняются все необходимые поля: показатель преломления иммерсионной жидкости, расстояние до экрана  $L1$  и  $L2$ , таблица, содержащая радиусы слоев и соответствующие показатели преломления. В рамках данного проекта максимальное количество концентрических слоев 8. Результаты моделирования поперечного сечения задаваемой цилиндрической системы и графиков изменения положения оптического луча при выходе из исследуемого образца показаны на рисунке 1.

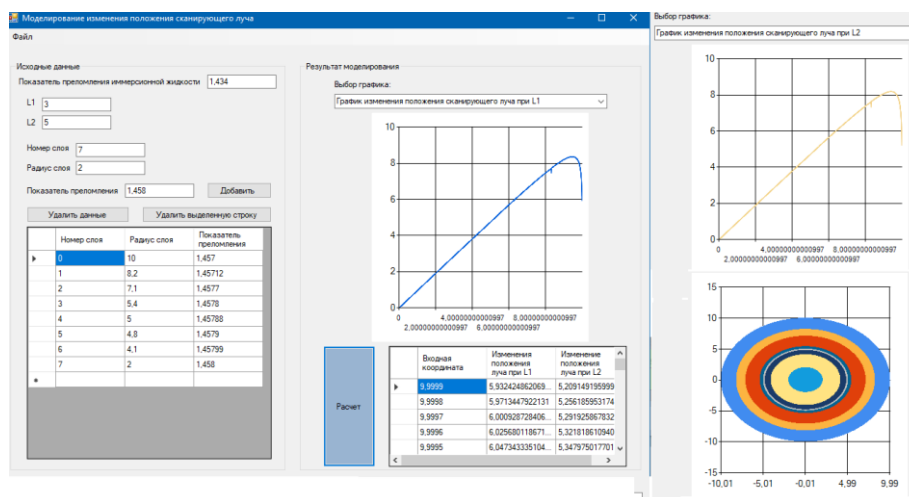


Рис. 1. Результаты моделирования поперечного сечения задаваемой цилиндрической системы и графиков изменения положения оптического луча при выходе из исследуемого образца



Из приведенных результатов моделирования можно сделать вывод о том, что приложение корректно осуществляет построение графиков изменения положения сканирующего луча на выходе цилиндрических систем. Следовательно, полученные графики можно использовать в качестве исходных данных для программной реализации разработанного ранее математического аппарата расчета профиля показателя преломления оптических заготовок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов А.В., Голубенко Ю.В., Волоконные оптические лазеры и их применение // Учебное пособие: Издательство «Лань», 2021. С.11–17.
2. Прайс М. Д., С# 7 и .NET Core// Кросс-платформенная разработка для профессионалов: СПб.: Питер, 2018. 640 с.
3. Иванов В. С., Сергеев А.Н., Направляющие среды передачи сигналов в структурированных кабельных системах// Учебное пособие: СПбГУТ, 2019. С.71-80

## **ДОСТИЖЕНИЯ НЕЙРОМОРФНОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ФОТОНИКИ**

**Аннотация.** В работе представлены последние достижения в построении нейронных сетей и нейроморфных структур на основе оптических систем высокой степени интеграции.

**Ключевые слова:** интегральная фотоника; нейронная сеть; синапс.

Интеллектуальная фотоника или интегральная нейроморфная фотоника – это область знаний, посвященная разработке систем для реализации алгоритмов искусственного интеллекта и машинного обучения на базе фотонных интегральных схем (ФИС), топология которых предназначена именно для этих задач. Сочетание специализированных ФИС и алгоритмов приведет к более энергоэффективной и высокоскоростной обработке данных. Но цель нейроморфных фотонных процессоров не в том, чтобы заменить традиционные компьютеры, а в том, чтобы расширить спектр приложений вычислительной техники и решать задачи, которые с трудом удается решать существующими методами и техникой. Примеры приложений ультраскоростных нейронных сетей [1]:

1. Фундаментальные физические исследования: классификация считываемых кубитов, классификация столкновений частиц высоких энергий, контроль плазмы термоядерного реактора.

2. Нелинейное программирование: решение задач нелинейной оптимизации (робототехника, автономные транспортные средства, прогнозирующее управление) и уравнений в частных производных.

3. Ускорение машинного обучения: умножение вектор-матрица, вывод глубокого обучения, сверхбыстрое или онлайн-обучение.

4. Интеллектуальная обработка сигналов: обработка широкополосных радиочастотных сигналов, оптоволоконная связь.

Оптические методы для нейронных сетей изучались десятилетия назад в работе [2]. Фотонные интегральные схемы (ФИС) хорошо подходят для высо-

коэффициентной реализации нейронных сетей, а с развитием кремниевой фотоники, которая объединяет высококачественные пассивные компоненты и высокоскоростную активную оптоэлектронику, мы можем получить синергетический эффект и синтезировать устройства нового поколения. Ниже рассмотрены основные направления, важные для разработки нейроморфной фотоники.

*Реализация синапсов (функция взвешивания в скрытых слоях нейросети).*

Эти соединения (синапсы) могут быть представлены как матрица, элементами которой являются значения весов. Одна из целей фотонной схемы – выполнять матричное умножение. В работе [3] предлагается встроенная оптическая архитектура для поддержки массовой параллельной связи между высокопроизводительными импульсными лазерными нейронами. В [4] сообщается о первых исследованиях рекуррентной кремниевой фотонной нейронной сети, в которой соединения конфигурируются весовыми банками микрокольцевых резонаторов (рисунок 1).

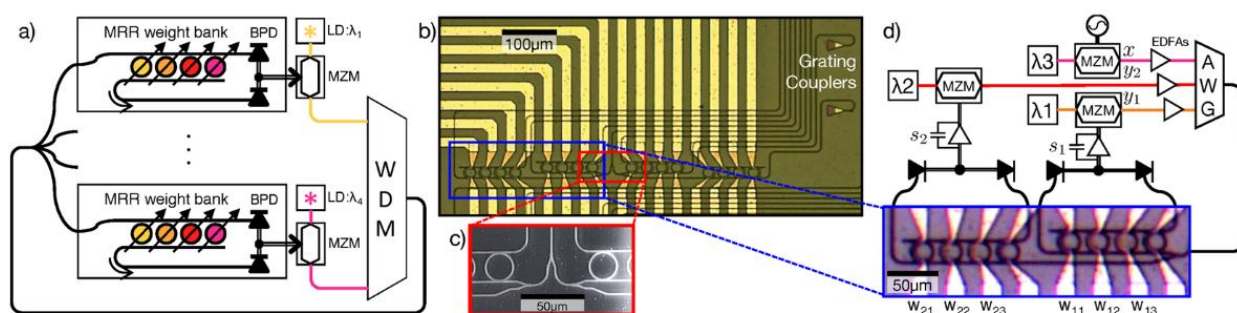


Рис. 1. Концепция широкополосно-весовой сети с модуляторами, используемыми в качестве нейронов. MRR: микрокольцевый резонатор, BPD: симметричный фотодиод, LD: лазерный диод, MZM: модулятор Маха-Цендера, WDM: мультиплексор с разделением по длине волны (a); Микрофотография 4-узловой рекуррентной широкополосно-весовой сети с 16 настраиваемыми микрокольцевыми (MRR) весами и решетчатыми элементами связи между волокном и кристаллом (b); Микрофотография сплиттера 1:4 (c); Экспериментальная установка с двумя внешними нейронами MZM и одним внешним входом. Состояние нейрона представлено напряжениями  $s_1$  и  $s_2$  на трансимпедансных усилителях с фильтром нижних частот, которые принимают входы от симметричных фотоприемников каждого банка весов MRR [4] (d)

Математический изоморфизм между кремниевой фотонной схемой и моделью непрерывной нейронной сети демонстрируется посредством анализа ди-

намической бифуркации. Используя этот изоморфизм, смоделированная 24-узловая кремниевая фотонная нейронная сеть программируется с помощью «нейронного компилятора» для решения задачи эмуляции дифференциальной системы.

В работе [5] демонстрируется нейронная сеть с прямой связью на основе микросхемы кросс-коммутации из фосфида индия  $8 \times 8$ , в которой на основе технологии полупроводникового оптического усилителя совместно интегрированы до 8 встроенных схем взвешенного сложения. Экспериментальные результаты с использованием программируемого нанофотонного процессора с каскадным массивом из 56 программируемых интерферометров Маха – Цендера на кремниевой фотонной интегральной схеме для распознавания гласных продемонстрированы в [6]. В работе [7] показана схема фотонной маршрутизации и взвешивания с использованием двух вертикально интегрированных волноводов из нитрида кремния с отводом пучка и межплоскостным ответвителем (IPC).

*Реализация нейронов (нелинейная функция активации).* В [8] представлена электрооптическая платформа для нелинейных функций активации в оптических нейронных сетях (рисунок 2). Оптико-оптическая нелинейность работает путем преобразования небольшой части входного оптического сигнала в аналоговый электрический сигнал, который используется для модуляции интенсивности исходного оптического сигнала без снижения скорости обработки. Схема обеспечивает полный нелинейный двухпозиционный контраст при передаче с относительно низким порогом оптической мощности и устраняет необходимость наличия дополнительных оптических источников между каждым уровнем сети. Кроме того, функцию активации можно реконфигурировать с помощью электрического смещения, что позволяет программировать или обучать ее для синтеза различных нелинейных откликов.

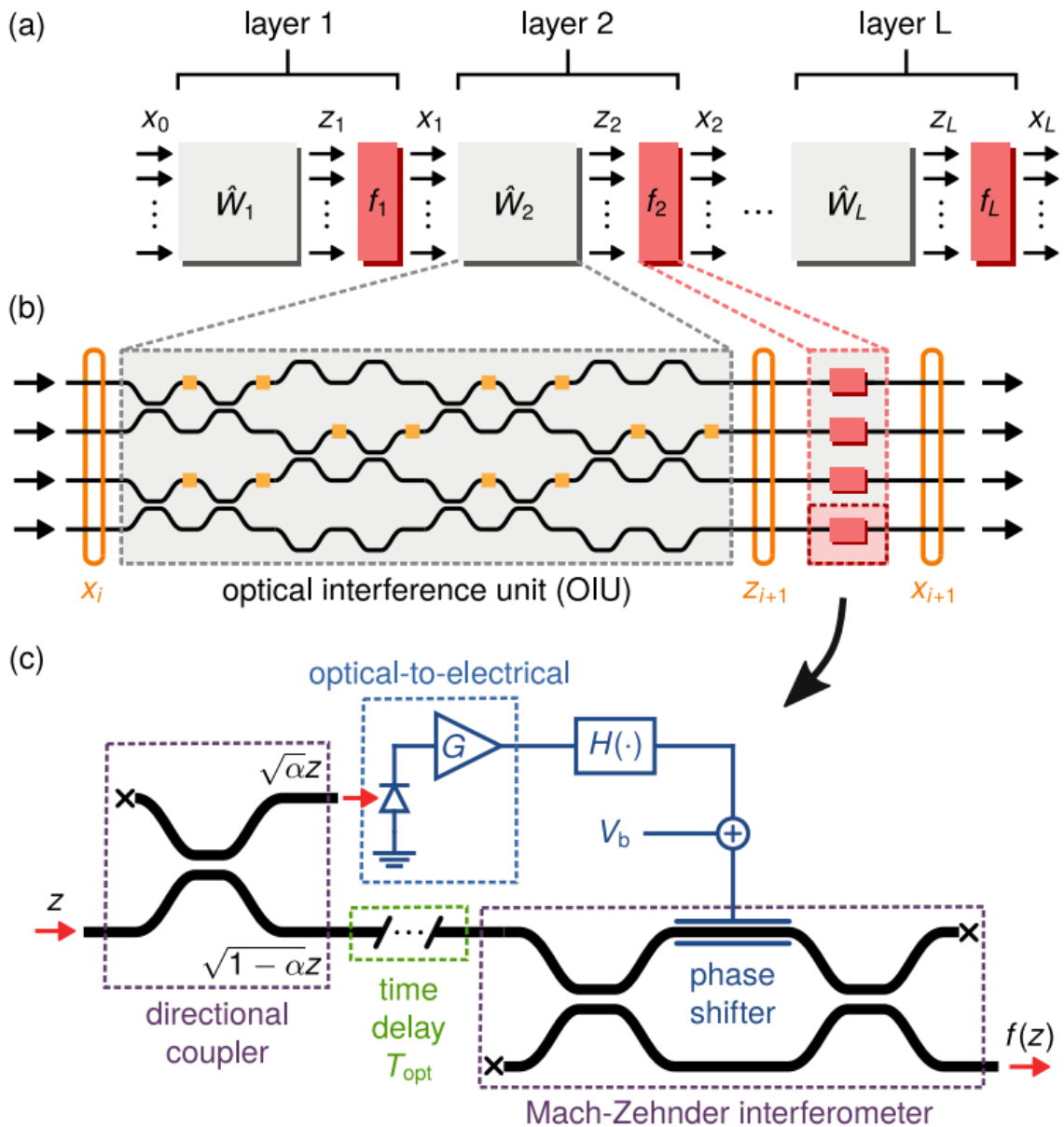


Рис. 2. Блок-схема нейронной сети прямого распространения из  $L$  слоев (a);  
 Схема реализации сетки оптического интерферометра одного слоя нейронной  
 сети прямого распространения (b); Схема предлагаемой оптико-оптической  
 функции активации [8] (c)

В работе [9] сообщается о фотонном нейроне на базе кольцевого модулятора, изготовленном на традиционной производственной линии кремниевой фотоники. Похожая концепция использована в [10], где электроабсорбционный модулятор со слоем оксида индия и олова интегрирован непосредственно в кремниевый волновод. В [11] устройство использует мультиплексирование с разделением по длине волны для достижения многоканального

разветвления, фотодетектор для суммирования сигналов и лазерный резонатор для выполнения нелинейных операций, в итоге решение позволяет интегрированным лазерным нейронам одновременно принимать множество различных широкополосных входных сигналов. Наконец, в исследовании [12] продемонстрирован полностью оптический нейрон, работающий на кольцевых резонаторах, материалах с фазовым переходом и методах мультиплексирования с разделением по длине волны для реализации масштабируемой схмотехнической архитектуры фотонных нейронных сетей.

Подводя итог, можно заключить, что для реализации полностью оптических нейронных сетей на базе ФИС принципиально важным аспектом является реализация главных строительных блоков систем – нейронов и синапсов. Из этих блоков строится дальнейшая архитектура, которая диктуется непосредственно решаемой задачей. Несмотря на представленные в последнее время варианты реализации синапсов и нейронов, для различных приложений могут быть выгодными различные техники их построения, и исследования в этой области остаются крайне актуальными. Важными сопутствующими задачами являются разработка элементов памяти, разработка источников света для WDM на базе частотных гребенок, создание фотонных цифро-аналоговых преобразователей [1]. Также большим вызовом остается совместная упаковка управляющей электроники и источников света.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shastri B.J. et al. Photonics for artificial intelligence and neuromorphic computing // *Nature Photonics*. Nature Research, 2021. Vol. 15, № 2. P. 102–114.
2. Psaltis D. et al. Optical information processing based on an associative-memory model of neural nets with thresholding and feedback // *Optics Letters*, 1985. Vol. 10, № 2. P. 98–100.
3. Tait A. N. et al. Broadcast and weight: an integrated network for scalable photonic spike processing // *J. Lightwave Technol.*, 2014. Vol. 32, № 21. P. 4029–4041.
4. Tait A.N. et al. Neuromorphic photonic networks using silicon photonic weight banks // *Sci. Rep.* Nature Publishing Group, 2017. Vol. 7, № 1. P. 1–10.
5. Shi B. et al. Deep neural network through an InP SOA-based photonic integrated cross-connect // *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. Vol. 26, № 1. P. 7701111.
6. Shen Y. et al. Deep learning with coherent nanophotonic circuits // *Nat. Photonics*. Nature Publishing Group, 2017. Vol. 11, № 7. P. 441–446.

7. Chiles J. et al. Design, fabrication, and metrology of  $10 \times 100$  multi-planar integrated photonic routing manifolds for neural networks // *APL Photonics*. AIP Publishing, 2018. Vol. 3, № 10. P. 106101.
8. Williamson I.A.D. et al. Reprogrammable Electro-Optic Nonlinear Activation Functions for Optical Neural Networks // *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. Vol. 26, № 1. P. 7700412.
9. Tait, A. N. et al. Silicon photonic modulator neuron // *Phys. Rev. Appl.*, 2019. Vol. 11, № 6. P. 064043.
10. Amin R. et al. ITO-based electro-absorption modulator for photonic neural activation function // *APL Mater.* American Institute of Physics Inc., 2019. Vol. 7, № 8. P. 81112.
11. Nahmias, M. A. et al. An integrated analog O/E/O link for multi-channel laser neurons // *Appl. Phys. Lett.* AIP Publishing, 2016. Vol. 108, № 15. P. 151106.
12. Feldmann J. et al. All-optical spiking neurosynaptic networks with self-learning capabilities // *Nature*. Nature Publishing Group, 2019. Vol. 569, № 7755. P. 208–214.

А. А. ХАРЕНКО

*pochtadlyapriemapolojitelnyhrecenziy@kharenko.art*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. А. Х. СУЛТАНОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ В СЕТЯХ 6G

**Аннотация.** В этой статье представлен обзор системы связи по каналу AWGN, представленной в виде возможности автоэнкодирования для использования в беспроводных сетях 6G.

**Ключевые слова:** машинное обучение; 6G.

Увеличение пиковой скорости передачи данных в сетях 5G в сравнении с 4G произошло в 10-100 раз, такой прирост скорости ожидаем и в сетях 6G. Однако, достичь такую высокую производительность, в ближайшие 10 лет полагаясь только на прогресс в производстве интегральных схем достаточно трудно. Разумным будет применение современных алгоритмов обработки совместно с машинным обучением.

Как пример, система автоматического кодирования для множества приемников и передатчиков, которые используют общий канал передачи данных с аддитивным белым гауссовским шумом. (рис.1).

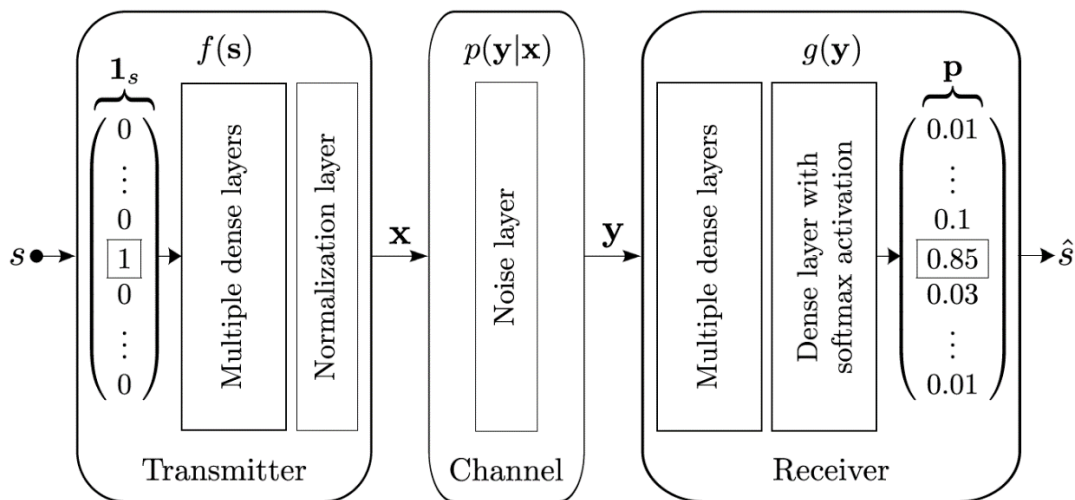


Рис. 1. Система связи по каналу с АБГШ

Передатчик состоит из сети прямого распространения (рис. 1) с несколькими плотными слоями, за которыми следует уровень нормализации, который



обеспечивает выполнение физических ограничений на  $x$ . Вход  $s$  в передатчик кодируется как однократный вектор  $1_s \in \mathbb{R}^M$  то есть  $M$ -мерный вектор,  $s$ -ый элемент которого равен единице и нулю в противном случае. Канал представлен слоем аддитивного шума с фиксированной дисперсией  $\beta = (2RE_b/N_0)^{-1}$ , где  $E_b/N_0$  обозначает отношение энергии на бит ( $E_b$ ) к спектральной плотности мощности шума ( $N_0$ ). Приемник также реализован как нейросеть прямого распространения. Его последний уровень использует активацию многопеременной логистической функции, выход которой  $p \in (0,1)^M$ , является вектором вероятности по всем возможным сообщениям. Затем декодированное сообщение  $\hat{s}$  соответствует индексу элемента  $p$  с наибольшей вероятностью. Автокодировщик можно обучить от начала до конца с помощью стохастического градиентного спуска на наборе всех возможных сообщений  $s \in M$  с использованием хорошо подходящей категориальной функции кросс-энтропийных потерь между  $1_s$  и  $p$ .

Применимость методов обучения зависит от особенностей конкретной задачи, ее изменчивости во времени, а также устойчивости к ошибкам. Таким образом, нельзя утверждать об универсальности подхода, основанного на данных, это всего лишь инструмент, пригодность которого следует оценивать в каждом конкретном случае. Кроме того, инструменты машинного обучения позволяют интегрировать традиционные методы проектирования на основе моделей и существующие знания в предметной области, чтобы обеспечить взаимодополняемость. Так же немаловажно заметить, что в системах связи задачи обучения выполняются на распределенных машинах, которые должны координироваться посредством обмена данными, например, путем передачи результатов промежуточных вычислений.

*Исследование выполнено за счет гранта Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФГБОУ ВО УГАТУ #FEUE-2020-0007.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 6G Flagship, «White Paper on Broadband Connectivity in 6G», White Paper, April. 2020.

## СЕКЦИЯ 3.5 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.314

М. Н. АБДУЛЛОЕВ

*mukhammad\_abdulloyev@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Т. А. ВОЛКОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

### ОБЗОР ИНОСТРАННОГО РЫНКА ДИАГНОСТИКИ ЛЭП

**Аннотация.** В статье рассматриваются устройства диагностики и мониторинга линий электропередачи зарубежного производства, использующие различные способы диагностики и выполняющие широкий круг задач мониторинга линий электропередачи.

**Ключевые слова:** линии электропередачи; кабельные линии; воздушные линии; диагностика; мониторинг.

Своевременный мониторинг линий электропередач является важной актуальной задачей, позволяющей предупредить аварийные ситуации в сетях электроснабжения. Среди отечественных устройств диагностики и мониторинга ЛЭП можно выделить ООО «Энерготехнологическую компанию «АНГСТРЕМ» (г. Ярославль), «КЭАЗ» (г. Курск), «ЭМ-КАБЕЛЬ» (г. Саранск), «Хензель+Меннекес Электро» (г. Санкт-Петербург), ООО «Молния» (г. Белгород) и другие. Зарубежные представители из Германии, Франции, Швеции давно зарекомендовали себя в области проведения диагностических работ электротехнического оборудования. В этой статье рассматриваются устройства мониторинга состояния ЛЭП, которые мало используются на российском рынке.

#### *1. Устройства для диагностики кабельных линий «Sikora» (Германия)*

Рентгеновские измерительные системы для кабелей MV (medium voltage – среднего напряжения СН), HV (high voltage – высокого напряжения ВН) и EHV (extra high voltage – сверхвысокого напряжения СВН) в линиях CCV (цепной непрерывной вулканизации), VCV (вертикальной непрерывной вулканизации) и MDCV (непрерывной вулканизации Mitsubishi Dainichi). Эти системы предназначены для проведения точных и надежных измерений концентричности, тол-

щины стенки, диаметра и овальности, а также для контроля кабелей до трех слоев, обеспечивающих онлайн-контроль качества (рис. 1 и 2).

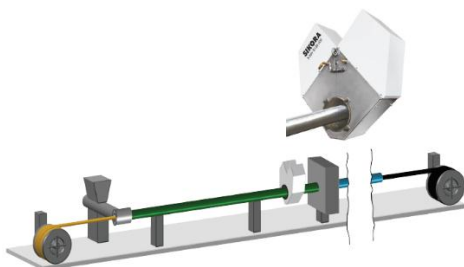


Рис. 1. Рентгеновская измерительная система для MDCV линии



Рис. 2. Рентгеновская измерительная система для CCV линии

Лазерное устройство для измерения диаметра высокого класса (рис. 3) в области неразрушающего контроля (NDT – Non Destructive Testing), сочетающее в себе множество новых технологических возможностей для измерения диаметра с впечатляющей точностью и надежностью для устойчивого повышения производительности и воспроизводимости производственных процессов в соответствии с концепцией «Индустрия 4.0». Устройство проводит до 2500 измерений в секунду на ось, все с чрезвычайно высокой точностью единичного значения, обеспечивая при этом оптимальное управление линией и надежные статистические данные [1].

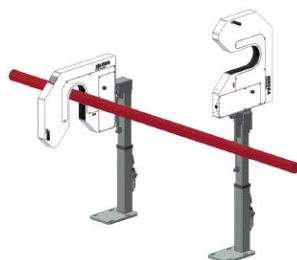


Рис. 3. Лазерный измеритель отклонения диаметра высокого класса

В процессе экструзии проводов и кабелей их изоляция проверяется высоковольтными искровыми тестерами переменного тока (рис. 4) для выявления возможных неисправностей изоляции и регистрации их протяженности на ранней стадии. Для проведения испытаний сухой кабель проходит через прочный бортовой цепной электрод искрового тестера и подвергается воздействию выбранного испытательного напряжения. Существует множество модификаций таких тестеров, охватывающих диапазон диаметров от 1 до 200 мм. Для всех систем испытательное напряжение непрерывно регулируется от 1,6 до 35 кВ.

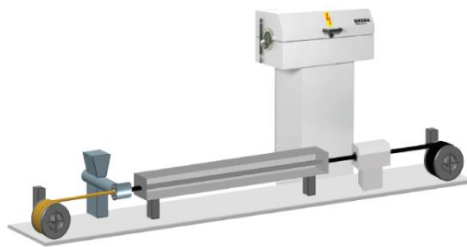


Рис. 4. Искровой тестер переменного тока

## 2. Системы мониторинга КЛ «Sumitomo Electric Industries» (SEI), Япония

SEI занимается разработкой систем мониторинга и зондирования высоковольтных линий электропередач [2] на основе волоконно-оптических и новейших программных технологий (рис. 5 – 6).



Рис. 5. Контроль температуры КЛ с помощью оптоволоконных датчиков



Рис. 6. Волоконно-оптическая распределенная система измерения температуры (OPTHERMO®)

### 3. Устройства диагностики КЛ фирмы «Меггер», Великобритания Комбинированные системы тестирования и диагностики КЛ (рис. 7).



Рис. 7. Комбинированные системы тестирования и диагностики КЛ

Система тестирует кабели в соответствии с международными стандартами (например, IEC 60502-2 и IEEE 400.2) с VLF-CR. Кроме того, диагностика частичных разрядов может быть выполнена одновременно с помощью детектора частичных разрядов. В качестве альтернативы TDS NT может быть использован для диагностики частичных разрядов с использованием проверенная технология демпфирования переменного напряжения (DAC).

В испытательно-диагностической системе для высоковольтных кабелей применяются методы демпфирования переменного напряжения при монтаже кабелей в рамках технического обслуживания или ввода в эксплуатацию новых высоковольтных кабелей напряжением до 230 кВ [3]. Системы могут легко идентифицировать, оценивать и обнаруживать неполадки частичных разрядов в изоляции кабелей и кабельных аксессуарах всех типов как в новых, так и в старых высоковольтных силовых кабелях (рис. 8).



Рис. 8. Испытательно-диагностическая система

Система геодезической съемки подстанций распределительных устройств среднего напряжения (рис. 9) предназначена для сканирования частичных разрядов.



Рис. 9. Система геодезической съемки подстанций

Системы определения места повреждения кабеля (рис. 10) – это портативная система предлагает диагностику кабелей и неисправностей, предварительное расположение, определение неисправностей и точечную локализацию дефекта с использованием акустического метода.



Рис. 10. Система определения места повреждения кабеля

Системы мониторинга ЛЭП являются многофункциональными комплексами, позволяющими повысить эффективность и уменьшить потери при передаче электроэнергии. Мониторинг не только обеспечивает повышение надежности транспорта электроэнергии, но и способствует уменьшению расходов на обслуживание линий электропередачи за счет более оперативных и точных данных при локализации аварийных сегментов, а также прогнозирования проблемных ситуаций на трассе. Системы и устройства диагностики и мониторинга достаточно широко представлены на энергетическом рынке, однако рассмот-

рение подобных систем зарубежного производства также представляется целесообразным с целью возможного применения в российских электросетях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Paul Gill. Electrical power equipment maintenance and testing. Second edition. (2008). pp. 1002.
2. Power Donut 2 System for Overhead Transmission Line Monitoring. Product Overview. 2006. USi, Armonk, NY. [www.usi-power.com](http://www.usi-power.com)
3. Richard Regep. Optical Fiber Communication Network Based on Power Distribution System. IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America, Venezuela, 2006.

УДК 621.31

А. А. АЗАМАТОВ

zhubatov@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. З. Г. ГАБИДУЛЛИНА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ЦИФРОВОЙ УПРАВЛЯЕМЫЙ РАЗЪЕДИНИТЕЛЬ НАРУЖНОЙ УСТАНОВКИ ВЛ 6–10 КВ**

**Аннотация.** В статье рассматриваются секционирующие устройства, устанавливаемые на ВЛ 6-10кВ. В настоящее время почти все переключения в нормальных и аварийных (послеаварийных) режимах в распределительных сетях осуществляются в ручном режиме, что существенно увеличивает время восстановления электроснабжения. Одним из методов решения этой задачи является использование интеллектуальных устройств автоматического секционирования. Приведена схема функциональной структуры работы интеллектуально-цифрового управляемого разъединителя. Описан принцип дистанционного управления.

**Ключевые слова:** разъединитель; коммутационный аппарат; воздушная линия; секционирующие устройства; индикатор; надежность.

В настоящее время, как в России, так и во всем мире, потребление электроэнергии с каждым годом возрастает, увеличивается так же и количество «ответственных» потребителей. В связи с этим предъявляются более жесткие требования к его качеству и надежности.

В случае возникновения повреждений на воздушных линиях 6-10кВ поврежденный участок необходимо в кратчайшее время отделить от неповрежденного. На многих энергетических объектах на ВЛ 6-10кВ для этих целей установлены секционирующие устройства. Секционирующие устройства – это устройства, функцией которых является деление линии электропередач на секции(участки). Этими устройствами являются такие разъединители, как РЛНД-10, РЛНК-10 с ручным приводом ПР. В связи с этим задача по автоматизации коммутационных аппаратов, установленных на линиях электропередач, является актуальной. Одним из вариантов решения данной задачи является внедрение интеллектуальных автоматических пунктов секционирования воздушных линий.



На рис. 1 схематично показана функциональная структура работы интеллектуального цифрового управляемого разъединителя наружной установки ВЛ 6-10кВ в комплекте с индикаторами короткого замыкания ИКЗ.

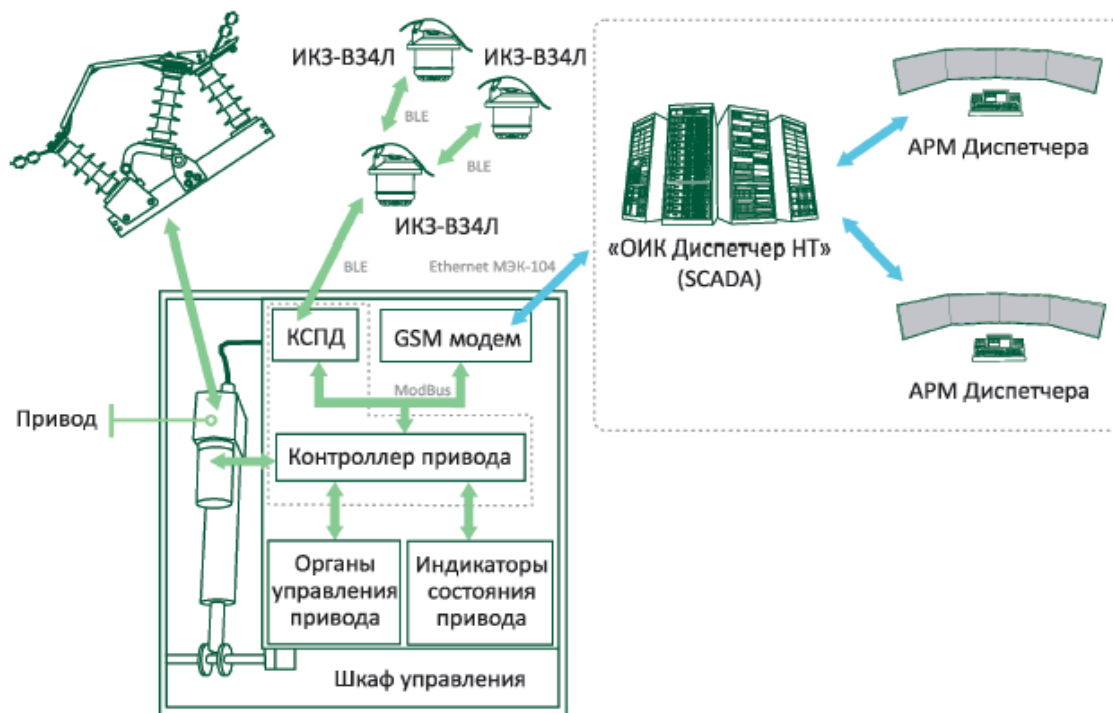


Рис. 1. Функциональная структура работы интеллектуально-цифрового управляемого разъединителя

Индикатор ИКЗ передает информацию об аварийных ситуациях по радиоканалу ближней связи. Получение информации и настройка приборов осуществляется с помощью переносного пульта.

Блок КСПД оборудован радиоканалом ближней связи, позволяющим получать от индикаторов информацию, сохранять ее во внутренней памяти; каналом передачи данных к GSM роутеру для их передачи на диспетчерский пункт. По GSM каналу данные могут передаваться напрямую в любую SCADA-систему, поддерживающую протокол МЭК 60870-5-104.

Каждый из индикаторов устанавливается непосредственно на провод. Для монтажа/демонтажа индикатора предусмотрен специальный инструмент, уста-

навливающийся на монтажную штангу и позволяющий производить работы без отключения линии.

Дистанционное управление разъединителем происходит следующим образом: управляющие сигналы от диспетчера приходят в *GSM* модем, откуда по *Modbus* передаются в блок управления приводом. Блок управления приводом в свою очередь по *Modbus* передает информацию о состоянии привода и собственное состояние. При получении команды на переход из одного состояния в другое блок управления включает привод и ожидает достижения конечного выключателя. Блоком управления контролируется скорость перемещения, ток, положение конечных выключателей и время перемещения. При этом в случае, если по данным энкодера перемещение отсутствует или ток превышает установленный допустимый порог, двигатель отключается и выдается соответствующее сообщение об ошибке. Если привод за заданное время не перешел из одного состояния в другое, то он отключается с выдачей аварийного сообщения.

В дистанционном режиме команда управления может быть отклонена при условии, что пришел сигнал блокировки от КСПД Л (например, высокий ток в линии или аккумулятор разряжен).

Если во время обработки команды возникает ошибка и выдается аварийное сообщение, то прием следующих команд управления игнорируется до того, как будет сквитирована ошибка соответствующей командой.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеметов А.Н. Надежность электроснабжения: учебное пособие для студентов специальности 140211 «Электроснабжение». – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006.
2. Елена Крылова. Реклоузеры. Тактика эффективного применения. М.: Журнал «Энергонадзор», декабрь 2009 г. – № 6.
3. Мамонтов А. Ю. Современное состояние и перспективы развития разъединителей 6-10 кВ. КИП и автоматика: обслуживание и ремонт №8 2020. 2020;8.
4. Электронные ресурсы: <https://domikelectrica.ru/obzor-indikatorov-korotkogo-zamykaniya-dlya-vl-6-10-35-110kv/>.
5. Алферова, Т. В. Надежность электроснабжения потребителей агропромышленного комплекса: учебное пособие / Т. В. Алферова, О. Ю. Пухальская, А. А. Алферов. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. - 112 с.

УДК 621.3

Ф. Т. АТНАГУЛОВ

*atnagulovf2001@mail.ru*

Науч. руковод. – доц. А. Р. ВАЛЕЕВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА РАБОТУ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ**

*Аннотация.* В данной статье рассмотрены проблемы загрязнения высоковольтных изоляторов. Проведено исследование влияния толщины загрязняющего слоя на пробой изоляторов, предложены методы устранения данной проблемы.

*Ключевые слова:* изолятор; напряжение; загрязнение; разряд.

Изолятор подвергается воздействию различных веществ, которые загрязняют его. Эти загрязнения проявляются в накоплении отложения на его поверхности. Толщина загрязнения зависит от:

- геометрии и положения изолятора
- условий окружающей среды
- продолжительности выдержки изолятора

Загрязняющий слой, который накапливается на поверхности изоляторов, вызывает поверхностную электрическую проводимость. Он изменяет распределение потенциала вдоль линии утечки и при определенных условиях может возникнуть короткое замыкание.

Содержащиеся в загрязнении кислоты, щелочи, соли, соединяясь с атмосферной влагой, осевшей на изолятор, образуют электролит, вследствие чего увеличивается поверхностная проводимость изолятора. Величина поверхностной проводимости определяет величину тока, протекающего по поверхности изолятора в начальной стадии развития разряда, и является одним из факторов, определяющих разрядное напряжение изоляторов. Проводимость в основном зависит от количества растворимых проводящих примесей, находящихся на поверхности изолятора.

Количество загрязнения на поверхности изоляторов не нарастает беспрестанно, а приближается к некоторому установившемуся значению, зависящему

от характеристик источника загрязнений, метеорологических условий и типа изолятора.

Натриевая соль соляной кислоты (NaCl) является наиболее распространенной и наиболее опасной солью загрязнения. Он обладает особенными свойствами, а его гигроскопический порог появляется при относительной влажности 75,8%.

Наиболее опасны для работы изоляции загрязнения с повышенным содержанием ионообразующих веществ, например уносы химической и металлургической промышленности, морские брызги и пыль в районах с засоленными почвами. Значительно меньше ионообразующих веществ содержат уносы большинства металлообрабатывающих и машиностроительных заводов, почвенные загрязнения в полевых районах и т. п.

Для достижения предельного значения загрязнения изоляторов обычно требуется не менее 1,5—2 лет.

При работе изоляторов в районах с загрязненной атмосферой их поверхность покрывается осадками, которые под влиянием увлажнения дождем или росой становятся более или менее проводящими. При этом большую роль играет плотность осадка, т. е. вес осадка на единице поверхности. С увеличением плотности осадка, который нарастает с течением времени, возрастает поверхностная проводимость со всеми вытекающими из этого последствиями. Следует отметить, что сильные дожди вымывают соли из осадка, что уменьшает опасность разряда. Наоборот, при слабых (морозящих) дождях, туманах и росе проводимость осадка увеличивается.

Очень важным фактором, характеризующим поведение загрязненных изоляторов при увлажнении их поверхности, является длина пути, утечки по поверхности изоляторов. Длиной пути утечки называется полная длина вдоль всей поверхности фарфора от одного электрода до другого. Установлено, что разрядное напряжение покрытого осадком и увлажненного изолятора пропорционально пути утечки, как показано на рис. 1. Прямая «1» на этом рисунке по-

лучена при загрязнении изоляторов топочными уносами тепловой электростанции, а прямая «2» — при загрязнении цементной пылью. Характеристика  $U_u = f(l_y)$  важна тем, что она не зависит от формы изолятора, которая только определяет длину пути утечки.

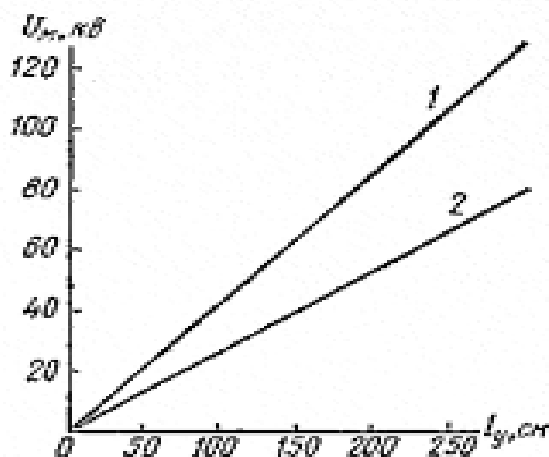


Рис. 1. Зависимость мокроразрядного напряжения загрязненных изоляторов от длины пути утечки:

1 — загрязнение топочными уносами; 2 — загрязнение цементной пылью (плотность осадка 10 мг/см)

Прямо пропорциональная зависимость  $U_u = f(l_y)$  дает возможность определить другую, весьма полезную, характеристику изолятора — удельный путь утечки, получаемый делением длины пути утечки на наибольшее рабочее (линейное) напряжение. Понятие об удельном пути утечки принято теперь для оценки работы изоляторов в различных условиях загрязнения. Можно рекомендовать следующую длину удельного пути утечки: чистая атмосфера — 1,6—2,0 см/кВ, слабое загрязнение — 2,2—2,5 см/кВ, сильное загрязнение — 2,6—3,2 см/кВ, очень сильное загрязнение > 3,8 см/кВ.

По ГОСТ 9920—61 оборудование станций и подстанций разделяется на две категории: А — нормальное исполнение и Б — усиленное исполнение. Удельный путь утечки для этих двух категорий устанавливается следующий:

— для категории А при заземленной нейтрали — >1,5 см/кВ, при изолированной нейтрали — >1,7 см/кВ;

– для категории Б при заземленной нейтрали —  $> 2,25 \text{ см/кВ}$ , при изолированной нейтрали —  $> 2,6 \text{ см/кВ}$ .

Например, при номинальном напряжении 500 кВ длина пути утечки для оборудования категории А должна быть не менее 800 см. Для оборудования категории Б длина пути утечки в этом случае должна быть установлена в соответствующих технических условиях. Сравнение цифр, даваемых ГОСТ 9920—61 с указанными рекомендуемыми цифрами, приводит к заключению, что ГОСТ дает цифры, которые едва ли можно принять для районов с сильным загрязнением.

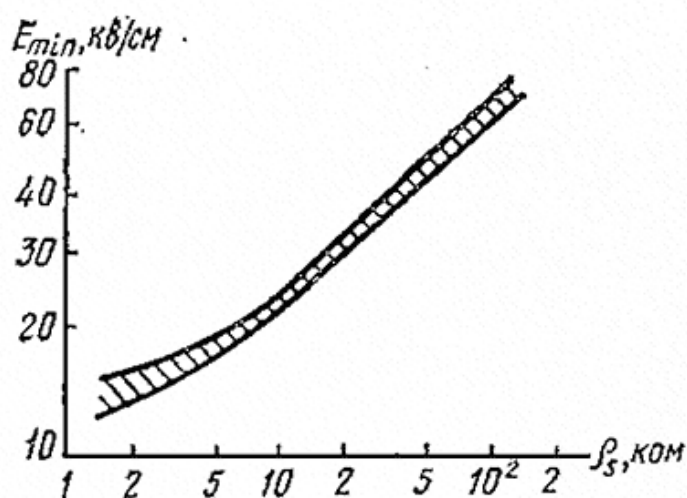


Рис. 2. Зависимость минимального мокроразрядного градиента загрязненных изоляторов от удельного сопротивления загрязняющего вещества

На рисунке 2 дана зависимость  $E_{min} = f(\rho_s)$ . Кривые для разных типов изоляторов лежат в заштрихованной области. Этот метод дает возможность, установив удельное сопротивление загрязнений в данном районе (на данной подстанции), определить необходимое количество изоляторов при данном рабочем напряжении.

Для повышения разрядного напряжения увлажненных загрязненных изоляторов можно применять различные мероприятия. Простейшим решением является увеличение длины пути утечки за счет увеличения числа изоляторов в колонке или увеличение длины и числа ребер во вводах. Это решение вполне осуществимо, но если необходимо значительно увеличить мокроразрядное

напряжение, т. е. соответственно увеличить промежутки времени между очистками изоляторов, то оно может существенно удорожить установку.

Тем не менее, такое решение нередко применяется. В частности, для трансформаторов и масляных выключателей применяются вводы с усиленной изоляцией. Усиленный ввод, предназначенный для работы в загрязненной атмосфере, имеет четырнадцать ребер и длину покрышки 1525 мм. Длина пути утечки этого ввода увеличена приблизительно в 1,5 раза и настолько же возросло его мокроразрядное напряжение при данных условиях загрязнения.

В некоторых случаях могут оказаться выгодными изоляторы с сильно прикрытыми внутренними частями (зонтичные). В этой конструкции верхний зонт дает увеличение пути утечки и защищает нижнюю часть изолятора от загрязнений. Следует указать на то, что применение специальных типов изоляторов не решает задачу ликвидации аварий, связанных с загрязнением изоляторов. Оно лишь облегчает эксплуатацию, более или менее удлиняя промежутки между очистками изоляторов.

Периодическая очистка или обмывание изоляторов является необходимой работой при эксплуатации изоляторов в районах с загрязненной атмосферой. В сущности говоря, это мероприятие является коренным.

Наряду с работой по улучшению конструкции изоляторов, в последнее время начинает применяться гидрофобизация их поверхности. Если покрыть поверхность изолятора каким-либо веществом, отталкивающим воду (гидрофобное вещество), то к этой поверхности не будут (или будут меньше) приставать загрязнения. Простейшее гидрофобное покрытие — смазывание поверхности изолятора трансформаторным маслом. Такое покрытие улучшает работу изоляторов при загрязнениях, но его существенным недостатком является недолговечность: держится 1—1,5 мес, а затем его надо смывать и наносить новый слой. Немногим прочнее покрытие изоляторов церезином. Это более сложная операция и все равно через небольшой промежуток времени слой церезина приходится наносить заново.

Значительно лучшие результаты дает покрытие изоляторов специальной смазкой (пастой), разработанной ВЭИ. Покрытая такой пастой поверхность может сильнее покрываться загрязнениями, чем чистая, но паста обволакивает частицы грязи и поверхность изолятора остается гидрофобной. Такая смазка долго держится и ее приходится менять один или два раза в год, т. е. значительно реже, чем другие гидрофобные покрытия. Смывать ее нетрудно. Толщина ее — 1—2 мм.

#### Влияние толщины электролита ВЛ

Чтобы оценить влияние изменения глубины электролита на величину измеренного сопротивления, используют сферический электрод с электролитом с удельным сопротивлением 1 кОм·см и толщиной, которая изменяется от (1-6) мм.

В таблице 1 [5] приведены значения общего сопротивления (рис. 3) для различных толщин на расстоянии от 10 до 200 мм между измерительным электродом и массой (рис. 4).

Таблица 1

L (мм)	R(кОм)					
	1мм	2мм	3мм	4мм	5мм	6мм
200	11	6.8	4.4	3.3	2.8	2.3
190	10.1	6.6	4.3	3.2	2.7	2.2
170	10	6.15	4	3.15	2.5	2.05
160	9.6	5.8	3.8	3.1	2.3	1.9
150	9.1	5.6	3.6	2.95	2.2	1.8
140	8.8	5.3	3.4	2.8	2.1	1.7
130	8.5	5.1	3.3	2.7	2	1.65
120	8	4.7	3	2.4	1.8	1.49
110	7.7	4.5	2.9	2.3	1.7	1.4
80	7.1	4.3	2.7	2.2	1.6	1.33
70	6.5	3.8	2.43	2	1.49	1.2
60	6	3.6	2.3	1.85	1.4	1.13
50	5.6	3.3	2.1	1.73	1.3	1.05
40	5.2	3.1	1.95	1.6	1.2	1
30	4.6	2.8	1.8	1.55	1.1	0.9
20	3.1	2	1.4	1.1	0.85	0.7
10	2.1	1.55	1.1	0.9	0.65	0.6



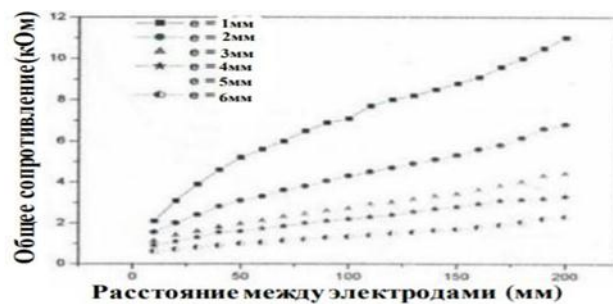


Рис. 3. Общее сопротивление электролита для различной толщины на расстоянии от 10 до 200 мм между измерительным электродом и массой

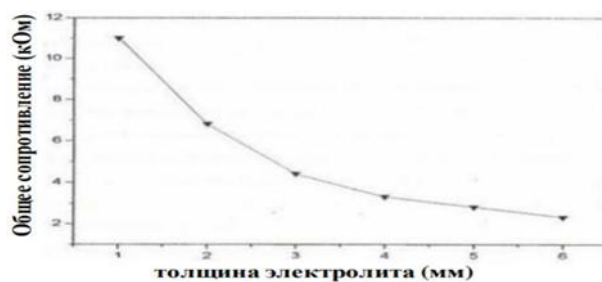


Рис. 4. Изменение полного сопротивления электролита в зависимости от толщины межэлектродного расстояния при 200 мм

Рисунки 3 и 4 показывают, что сопротивление уменьшается с увеличением толщины электролита. Соотношение между этими двумя величинами почти обратно пропорционально.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.Д. Мерхалев, Е.А. Соломоник. Изоляция линий и подстанций в районах с загрязненной атмосферой, 1973.
2. Экология [Электронный ресурс] – URL: <https://ru-ecology.info/blogo/022414/> (Дата обращения 20.09.2021)
3. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС», Изоляция электроустановок в районах с загрязненной атмосферой. Эксплуатация и техническое обслуживание, 2012.
4. Основы теории электрических аппаратов [Электронный ресурс] – URL <https://forca.ru/knigi/arhiv/osnovy-teorii-elektricheskikh-apparatov-36.html> (Дата обращения 20.09.2021).
5. Таблица 1 [Электронный ресурс] – URL <https://nauchkor.ru/uploads/documents/5f39ae2bcd3d3e0001bb1d7a.pdf> (Дата обращения 20.09.2021).

УДК 621.3

Н. И. АФАНАСЬЕВ

*nikita10\_08@mail.ru*

Науч. руковод. – доц. Д. В. ГУСАКОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО АЛГОРИТМА РАБОТЫ ПРОГРАММЫ SMART GRID И РАЗРАБОТКА НОВОГО С УЧЕТОМ АНАЛИЗА ОШИБОК СУЩЕСТВУЮЩЕГО АЛГОРИТМА**

**Аннотация.** В данной работе рассмотрена работа интеллектуальных сетей. Рассказан принцип работы указателей короткого замыкания, а также приведены достоинства данных приборов на примере УТКЗ-4.

**Ключевые слова:** Smart Grid; «умные» сети; интеллектуальные сети электроснабжения; надежность работы.

Smart Grid ("интеллектуальные сети электроснабжения") — это модернизированные сети электроснабжения, которые используют информационные и коммуникационные сети и технологии для сбора информации об энергопроизводстве и энергопотреблении, позволяющей автоматически повышать эффективность, надежность, экономическую выгоду.

Технологические решения Smart Grid могут быть разделены на шесть ключевых областей:

- Измерительные приборы и устройства, включающие, в первую очередь,
  - Smart-счетчики и smart-датчики;
  - Усовершенствованные методы управления;
  - Усовершенствованные технологии и компоненты электрической сети: гибкие системы передачи переменного тока FACTS, сверхпроводящие кабели и т.д;
  - интегрированные интерфейсы и методы поддержки принятия решений, технологии управление спросом на энергию, распределенные системы мониторинга и контроль;
  - интегрированные средства коммуникации.

Высокие темпы развития электросетей при одновременном сокращении удельной численности эксплуатационного персонала требуют ускоренного внедрения средств автоматики, в том числе устройств для определения мест повреждения. В энергосистемах широко используются казатели короткого замыкания. К настоящему времени накоплен положительный опыт эффективного применения этих устройств

Общая информация об указателях короткого замыкания и основные принципы работы

Указатели короткого замыкания основываются на различных топографических методах определения места повреждения, определяющих направление движения к точке места повреждения на трассе линии с помощью специальных стационарных или переносных устройств. Приборы УТКЗ не выдают расстояние до повреждения, а указывают на каком участке сети оно произошло. Топографические методы определения места повреждения подразделяются на индукционные методы, основанные на индикации параметров магнитного поля токов в проводах ВЛ, акустические методы, основанные на улавливании на трассе акустических (механических) колебаний, потенциальные методы, основанные на фиксации вдоль трассы электрических потенциалов и электромеханические методы, основанные на фиксации механических усилий, создаваемых за счет энергии тока короткого замыкания (КЗ).

#### Прибор УТКЗ-4

Интеллектуальное микропроцессорное устройство, способное фиксировать однофазные замыкания на землю в сетях с изолированной и компенсированной нейтралью и выдавать информацию о повреждении непосредственно на диспетчерский пункт. Обладает следующими свойствами и функциями:

- Высокая видимость индикации благодаря применению сверхъярких светодиодов или ксеноновых источников света
- Передача информации об аварии непосредственно на диспетчерский пункт, используя GSM-связь и радиосети с ретрансляцией данных.

– Хорошая селективность за счет возможности настраивать условия срабатывания приборов в зависимости от параметров конкретной линии.

– Высокая чувствительность к аварийным токам – УТКЗ-4 определяет замыкания на землю с токами менее 1А.



Рис. 1. Прибор УТКЗ-4

#### Релейная защита и автоматика

Комплекс устройств, предназначенных для быстрого, автоматического (при повреждениях) выявления и отделения от электрической системы поврежденных элементов этой электроэнергетической системы в аварийных ситуациях с целью обеспечения нормальной работы всей системы. Релейная защита (РЗ) осуществляет непрерывный контроль состояния всех элементов электроэнергетической системы и реагирует на возникновение повреждений и ненормальных режимов. При возникновении повреждений РЗ должна выявить поврежденный участок и отключить его от ЭЭС, воздействуя на специальные силовые выключатели.

#### Определение места КЗ в сетях 6-10кВ

Сети 6-10кВ в городах имеют очень большую протяженность и разветвленность, что затрудняет и замедляет поиск места КЗ. Для того чтобы умень-

шить время поиска аварии необходимо внедрять систему Smart Grid в существующие сети электроэнергетики.

Указатель УТКЗ-4 предназначен для фиксации и запоминания информации о прохождении тока короткого замыкания в электрических сетях напряжением 6-10 кВ. Срабатывание указателя происходит при замыкании контактов герконовых датчиков. В случае аварии, информация, которая приходит с приборов УТКЗ-4, поступает на дисплей диспетчеру в программе Smart Grid. Программа анализирует данные и показывает направление тока короткого замыкания. По этому направлению диспетчер определяет участок аварии.

#### Анализ существующего алгоритма работы программы Smart Grid

Рассмотрим существующий алгоритм на примере отчета по результатам проведения опытов по определению направления токов короткого замыкания на объектах Smart Grid Северного РЭС

#### Исходная схема ПСИэнергоКонтрол

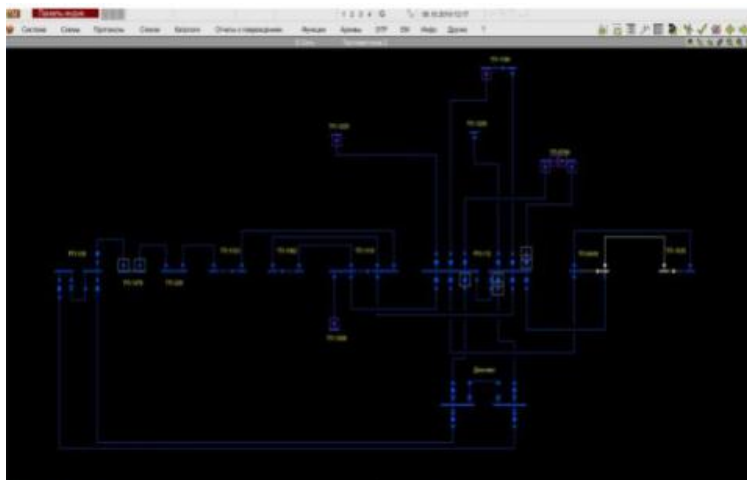


Рис. 2. Исходная схема для проведения испытаний в программе ПСИэнергоКонтрол

При проведении опыта имитации короткого замыкания в конце линии, сигнал об аварии сначала приходит от релейной защиты, далее программа Smart Grid начинает опрашивать приборы УТКЗ-4, установленные на каждой 4-ой ТП. Программа условно спрашивает «прошел ток КЗ через шины трансформатора?», если ответ «да», то программа показывает «ток КЗ прошел через шины трансформатора» стрелкой над опрашиваемым ТП, а если ответ «нет»

программа показывает «ток КЗ не прошел через шины трансформатора» стрелкой в другом направлении. Затем результаты опроса всех пунктов с установленными приборами УТКЗ-4 поступают диспетчеру на экран монитора и диспетчер видит всю линию со стрелками, указывающими направление и место аварии.

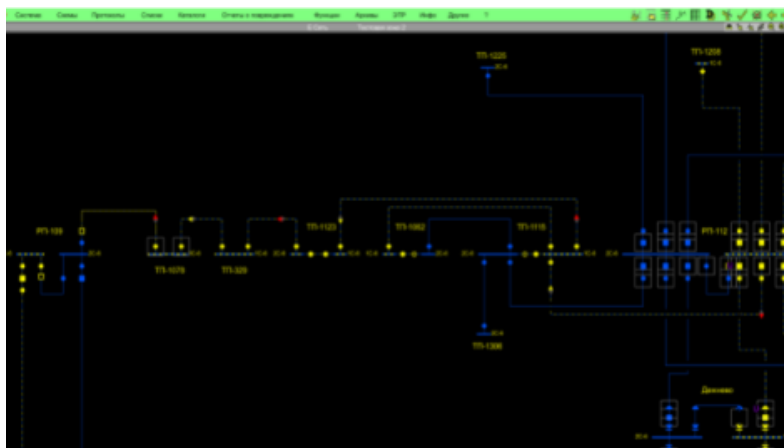


Рис. 3. Схема при аварии с указанием направления и места КЗ

#### Анализ отказов и ложного срабатывания программы smart grid

Существующий алгоритм программы не совершенный, так как: не учитывает ложные срабатывания приборов УТКЗ-4, опрашивает независимо друг от друга все пункты, где установлены приборы УТКЗ-4, не может выявить на каком пункте прибор УТКЗ-4 сработал ложно или не сработал вообще.

Приборы УТКЗ-4 работают с достоверностью 80%, а 20% погрешности составляют: ложное срабатывание – 10%, не сработал – 8%, ошибка с направлением – 2%

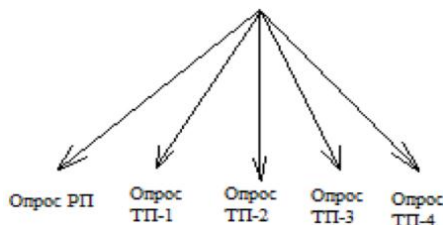


Рис. 4. Существующий алгоритм опроса пунктов программой Smart Grid

Существующий алгоритм опрашивает все пункты независимо друг от друга, поэтому в случае, если один из приборов УТКЗ-4 сработал ложно или

показал ложное направление, программа этого не увидит и покажет неправильное место аварии, а диспетчер не сможет понять какой из приборов сработал с погрешностью.

Разработка нового алгоритма поиска места аварии с учетом анализа ошибок существующего алгоритма.

С помощью нового алгоритма программа будет опрашивать все пункты, где установлен прибор УТКЗ-4 последовательно и с учетом ответов этих приборов.

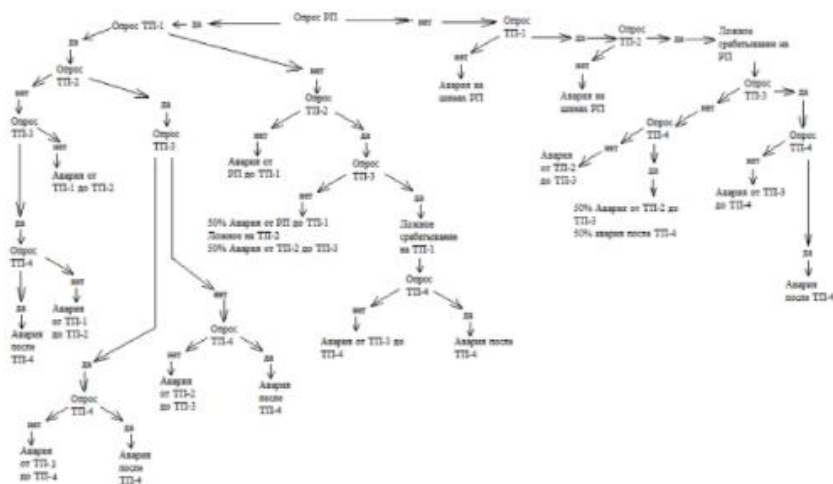


Рис. 5. Новый алгоритм для поиска места аварии

Новый алгоритм, в отличие от существующего, начинает опрашивать пункты последовательно от РП до последнего участка цепи. Для того, чтобы правильно определить место аварии, программа, к примеру, опрашивает ТП-1 и для проверки правильности ответа от ТП-1, опрашивает дополнительно два последующих пункта ТП-2 и ТП-3. На основе ответов от ТП-1, ТП-2 и ТП-3 программа может сделать вывод, о том правильно ли сработал прибор УТКЗ-4 на ТП-1. В случае если, от какого-то прибора сигнал во время опроса вообще не пришел программа так же опрашивает два последующих пункта и на основе их ответов делает вывод.

Новый алгоритм в программе Smart Grid всегда опрашивает последующие пункты на основе ответов от предыдущих пунктов. Опрос происходит последо-

вательно и позволяет выявить приборы, которые могли сработать ложно. Также программа дает подсказки диспетчеру если:

1. Прибор сработал ложно, программа укажет какой именно прибор;
2. Если прибор указал неверное направление и возникла ситуация в которой вероятность места аварии на двух участках равна 50% на 50%.

Во втором случае, когда вероятность аварии на разных участках делится 50% на 50%, программа дает диспетчеру сделать самостоятельный выбор аварийного участка на основе его квалификации и опыта.

Новый алгоритм позволяет снизить вероятность неправильного определения места аварии, проводит самоанализ корректной работы приборов УТКЗ-4, выводит на экран монитора диспетчера подсказку о неправильной работе приборов УТКЗ-4, дает диспетчеру возможность, в случаях определения двух участков аварии с вероятностью 50% на 50%, сделать самостоятельный выбор участка аварии на основе своих знаний.

#### Основные выводы и результаты

Таким образом, на основе анализа статистических данных о ложных срабатываниях приборов УТКЗ-4, был разработан новый алгоритм, получена новая, усовершенствованная, отличающаяся от предыдущей учетом погрешности приборов логическая схема.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савоськин Н.Е. Надежность электрических систем. Учебное пособие. - Пензенский государственный университет, 2004. - 101 с.
2. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике. - Ленинград.: Энергоатомиздат, 1990. - 206 с.
3. Руденко Ю.Н., Чельцов М.В. Надежность и резервирование в электроэнергетических системах (методы исследования).- Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1974. - 261 с.
4. E3S Web of Conferences: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: URL: <https://www.e3s-conferences.org>, свободный (12.09.2021)
5. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для сред.проф.образования. М.:Издательский центр «Академия», 2004. -448с.
6. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций и электростанций 35-750 кв / - М.; ОАО «ФСК ЕЭС», 2007 - 132 с.



УДК 621.315

А. Р. БАЙБУРИН

*aidar656@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. А. В. ЛОБАНОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ВОЛНОВОЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ**

**Аннотация.** Данная статья посвящена обзору метода определения места повреждения кабельных линий. Актуальность работы заключается в том, что проведение периодических осмотров, профилактических изменений и испытаний не гарантирует безотказной работы КЛ, поэтому одной из важных задач в эксплуатации КЛ в целях повышения надежности электроснабжения является быстрое определение места повреждения и проведение ремонтно-восстановительных работ.

**Ключевые слова:** кабель; кабельные линии; повреждение.

Электрические сети – важнейшее связующее звено между источниками и потребителями электроэнергии. Проведение периодических осмотров, профилактических изменений и испытаний не гарантирует безотказной работы КЛ. В практической эксплуатации всегда имеют место случайные повреждения КЛ.

Одной из важных задач в эксплуатации КЛ в целях повышения надежности электроснабжения является быстрое определение места повреждения и проведение ремонтно-восстановительных работ.

Высокие темпы развития электросетей при одновременном сокращении удельной численности эксплуатационного персонала требуют ускоренного внедрения средств автоматизации, в том числе устройств для определения места повреждения (ОМП) на кабельных линиях электропередачи.

Волновой метод применяется в случае, если сопротивление в месте повреждения составляет от нуля Ом до сотен кОм. На рисунке 1 показана схема подключения приборов при измерении расстояния до места повреждения с переходным сопротивлением от единиц до сотен кОм при установке измерителя ЦРО200 и присоединительного устройства тока в передвижной измерительной

лаборатории. Расстояние до места повреждения определяется следующим способом [1].

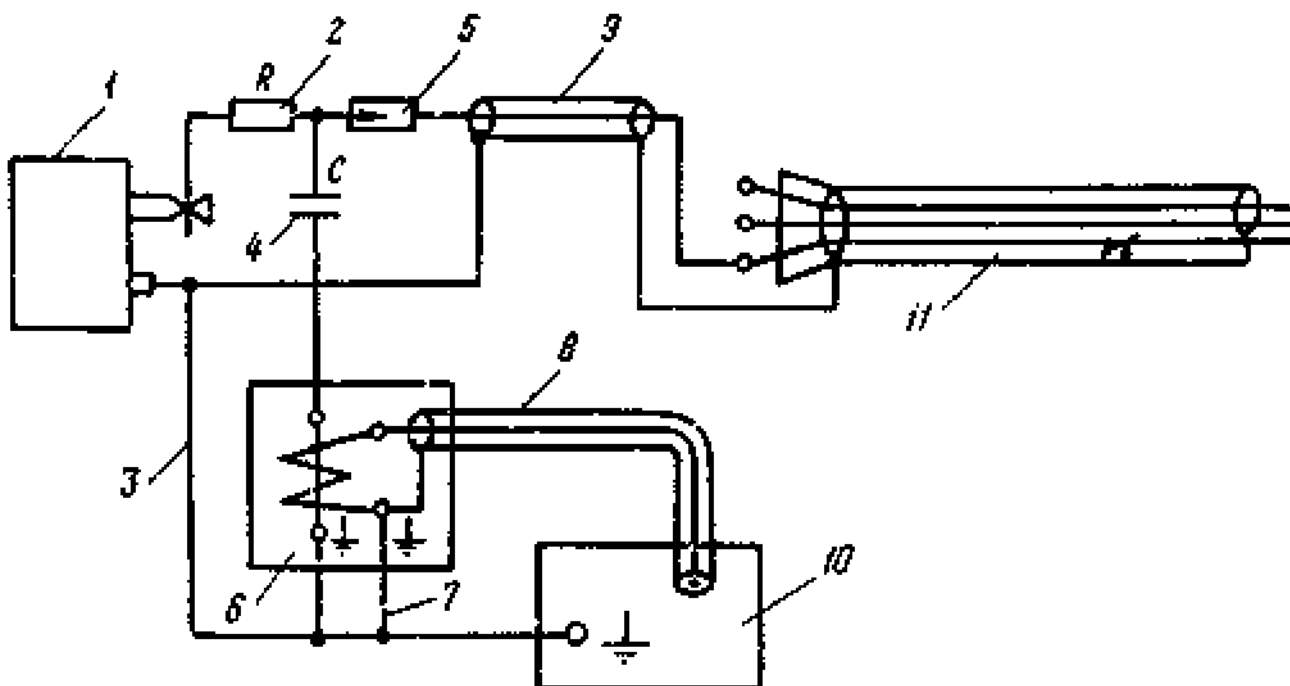


Рис. 1. Схема подключения:

1 – высоковольтная испытательная установка; 2 – зарядный резистор; 3 – цепь заземления высоковольтной выпрямительной установки; 4 – высоковольтный конденсатор; 5 – управляемый разрядник; 6 – присоединительное устройство тока; 7 – цепь заземления присоединительного устройства тока и измерителя ЦРО200; 8 – соединительный кабель; 9 – высоковольтный экранированный кабель; 10 – измеритель ЦРО200; 11 – поврежденный силовой кабель

От высоковольтной выпрямительной установки через зарядный резистор заряжается конденсатор. При пробое или замыкании (если разрядник управляемый) разрядника в линию посылается высоковольтная электромагнитная волна от заряженного конденсатора, которая создает пробой в месте повреждения кабельной линии, что вызывает волновой колебательный процесс в цепи конденсатор-линия.

При достижении электромагнитной волной, посланной от конденсатора, места повреждения произойдет пробой в случае, если сопротивление в месте повреждения не равно нулю Ом, после чего отраженный от повреждения фронт волны вернется к месту отправки - конденсатору, отразится от него и вернется к месту повреждения. В случае, если сопротивление в месте повреждения близко

к нулю, пробоя не произойдет, и электромагнитная волна будет отражаться от короткого замыкания. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока за счет потерь амплитуда электромагнитной волны не затухнет.

На эпюрах (рисунок 2) показаны импульсы напряжения, полученные на выходе присоединительного устройства при пробое в месте повреждения [2].

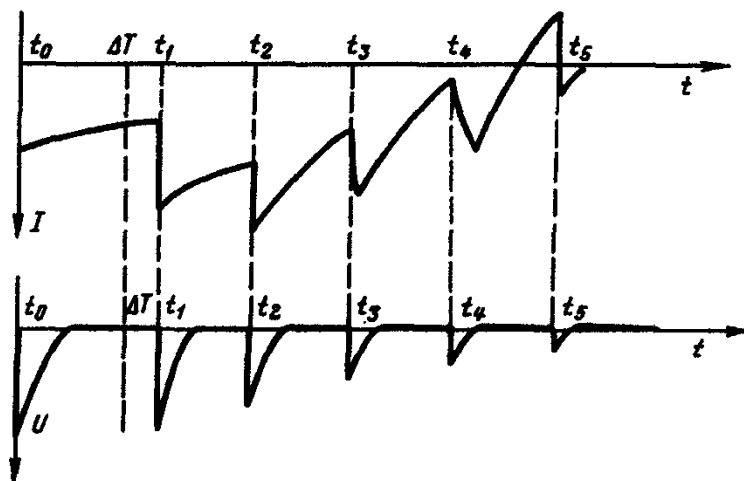


Рис. 2. Эпюры тока в цепи конденсатора и эпюры напряжения на выходе присоединительного устройства:

$t_0$  – момент времени послышки высоковольтной волны от заряженного конденсатора;  
 $\Delta T$  – задержка по времени пробоя в месте повреждения;  
 $t_1, t_2, t_3, t_4 \dots$  – момент времени прихода импульсов тока к началу кабеля, отраженных от места повреждения

На эпюрах видно, что интервал времени  $t_0 - t_1$  между посланным импульсом и его первым отражением не равен интервалу времени  $t_1 - t_2$  между импульсами первого и второго отражения волны. Это происходит вследствие того, что пробой в месте повреждения кабеля происходит с задержкой по времени  $\Delta T$ .

Время  $\Delta T$  может меняться в зависимости от сопротивления в месте повреждения, от влажности, от искрового промежутка, от крутизны фронта падающей волны и т.д.

Следовательно, для того, чтобы измерить точно расстояние до места повреждения следует измерить временной интервал  $t_1 - t_2$  или, или  $t_3 - t_4$  и т.д. В случае, если сопротивление в месте повреждения близко к нулю и пробоя в

месте дефекта не происходит, можно измерить любой временной интервал между отраженными импульсами ( $t_0 - t_1$ ;  $t_1 - t_2$  и т.д.).

В кабельных линиях могут иметься значительные неоднородности волнового сопротивления по длине линии, вызванные соединением кабелей различных типов и сечений, а также соединительными муфтами. Такие неоднородности вызывают дополнительные отражения электромагнитных волн, что приводит к ложным измерениям.

Ложные измерения вследствие таких помех могут быть исключены путем регулируемого уменьшения чувствительности прибора и путем введения регулируемых по времени импульсов задержки срабатывания схемы прибора как в цепи пуска прибора (в интервале времени  $t_0 - t_1$ ), так и в цепи останова прибора (в интервале времени  $t_1 - t_2$ ).

Для определения этих видов повреждений применяется измеритель расстояния до места повреждения кабеля ЦРО200, использующий волновой метод и обладающий вышеперечисленными возможностями.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекеев А.В. Определение места повреждения в сетях 6-35 кВ // Доклады ООО «ИЦ «Бреслер»», 2016.
2. Шалин А.И. Замыкания на землю в линиях электропередачи 6–35 кВ. Особенности возникновения и приборы защиты // Новости Электротехники. 2017. №1 (31).

УДК 681.5

Р. И. ГАРЕЕВ, М. Б. ГАРЕЕВА, А. В. ИВАНОВ  
*rustamgareev85@mail.ru, gumerova\_m@mail.ru, ivanoff1475@mail.ru*  
Науч. руковод. – Р. И. ГАРЕЕВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА**

**Аннотация.** Вопросы цифровизации процессов в электроэнергетическом комплексе являются приоритетными в ближайшие годы в соответствии с Энергетической Стратегией Российской Федерации, от выбора автоматизированной системы управления электроснабжением предприятия (АСУЭП), ее структуры и функционала, зависит конкурентоспособность и инвестиционная привлекательность предприятия.

**Ключевые слова:** автоматизированные системы управления; электроснабжение; АСУЭП; АСКУЭ; АСДУ; АСПУ; АСПГД.

Стратегия развития электросетевого комплекса Российской Федерации до 2035 года направлена на модернизацию технологической инфраструктуры в соответствии с мировыми стандартами, цифровую трансформацию и интеллектуализацию отраслей топливно-энергетического комплекса. Согласно поставленной цели новое качество приобретут все процессы в сфере энергетики, в том числе со стороны потребителей.

Автоматизированная система управления электроснабжением предприятия (АСУЭП) призвана трансформировать производственную деятельность потребителей, повысить безопасность, качество взаимодействия с энергоснабжающими организациями и скорость принятия управленческих решений. Структура системы носит модульный характер и включает в себя ряд подсистем, обслуживающих разные отделы энергетического департамента. Каждый модуль может функционировать как сам по себе, так и в комплексе с другими.

Выделяют следующие модули (подсистемы) АСУЭП:

- автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ);
- автоматизированная система диспетчерского управления (АСДУ);
- автоматизированная система противоаварийного управления (АСПУ);

– автоматизированная система производственно-технической деятельности (АСПТД).

Каждый модуль может внедряться на предприятии как самостоятельный продукт, работающий в своей области, или в составе комплексного решения.

Основным элементом АСУЭП является подсистема АСКУЭ, предназначенная для сбора, обработки, хранения, документирования информации о поступлении, распределении и потреблении электроэнергии.

Архитектура АСКУЭ представляет собой трехуровневый программно-аппаратный комплекс. На нижнем аппаратном уровне находятся интеллектуальные приборы учета (*smart*-счетчики) электроэнергии, обеспечивающие непрерывное измерение параметров потребления энергоресурса и передачу данных на следующий уровень без участия персонала предприятия. Для снятия показаний и обслуживания системы АСКУЭ достаточно одного диспетчера. Средний уровень состоит из устройств сбора и передачи данных, которые обеспечивают круглосуточный опрос приборов учета в режиме реального времени и передают информацию на верхний уровень. Верхний уровень подсистемы представляет собой узел сбора и обработки информации со всех устройств системы. Установленное на компьютерах программное обеспечение в личном кабинете АСКУЭ анализирует и визуализирует информацию, полученную от устройств первого уровня. Основные требования предъявляются к интеллектуальным приборам учета, находящимся на первом уровне, поскольку их точность определяет достоверность полученных данных и, в конечном счете, определяет надежность работы всей системы.

Следует отметить, что АСКУЭ обладает возможностью измерения параметров не только электроэнергии, но и пара и воды. Поэтому представляет интерес использование АСКУЭ в сфере коммунального хозяйства, а так же при реализации концепции «интеллектуального дома».

Организация диспетчерского центра на основе решения АСДУ позволяет внедрить новые стандарты качества в управление оборудованием, снизить те-

кущие затраты на управление инженерными системами, обеспечить документирование и протоколирование сбоев, создать базу для оперативного устранения аварийных ситуаций. Основными потребителями АСДУ являются поставщики энергоресурсов и предприятия, потребляющие большие объемы энергии.

Используя постоянно поступающую на диспетчерский пульт информацию, администратор предпринимает необходимые действия для поддержки нормального функционирования энергетической сети.

Современная АСДУ имеет трехуровневую архитектуру. Нижний уровень образуют периферийные устройства и инженерное оборудование, формирующие первичные данные. Второй уровень составляют контроллеры, и сеть передачи данных. Верхний уровень – это программное обеспечение, предоставляющее средства визуализации, архивации, публикации поступающих данных. На автоматизированные рабочие места диспетчеров поступает структурированная информация в требуемом формате. Аналитический модуль постоянно отслеживает рабочие параметры систем, отклонения от нормы, заранее предупреждает о возможных отказах и способен автоматически запускать процедуры согласно заложенным инструкциям, например, подать сигнал тревоги или запустить аварийный дизель-генератор.

Модуль АСПТД выступает в качестве мощного статистико-аналитического инструмента. Собранные с нижних уровней данные обрабатываются в различных программных пакетах, каждый из которых выбирает необходимую ему информацию и формирует тот или иной отчет. АСПТД способен автоматизировать учет труда и заработной платы, самостоятельно заполнять формы баз данных, составлять документы бухгалтерского учета, квитанции расчета с бытовыми и промышленными потребителями энергии, наряд на ремонт оборудования и т. д.

Все организационно-технические процессы, финансовые и ресурсные потоки, перестановки персонала могут быть использованы для анализа деятельности, выбора оптимальной стратегии работы предприятия.

Когда речь идет об автоматизации и цифровизации процессов актуальным вопросом является обеспечение надежной защиты от производственных аварий, а так же от недобросовестных действий третьих лиц, например мошенничества. Для этих целей выделен отдельный модуль АСУЭП – АСПУ. При этом для одних предприятий наиболее важной представляется защита от сбоев на производственных объектах, для других более актуальным представляется вопрос о безопасности данных, использующихся в коммерческих расчетах. АСПУ обладает широким спектром необходимых средств, обеспечивающих защиту: механические пломбы, электронные ключи, индивидуальные пароли и программные средства для защиты файлов и баз данных.

Внедрение АСУЭП производится по следующему алгоритму:

1. Создание рабочего проекта, где разрабатывается структура системы и ее отдельные уровни, составляется чертеж и другая сопутствующая конструкторская документация.
2. Выбор системы передачи данных, с учетом преимуществ, недостатков и возможностей технической реализации.
3. Закупка необходимого оборудования на основании проектной сметы.
4. Монтаж и настройка аппаратно-программного комплекса.
5. Подбор обслуживающего персонала и его обучение.
6. Ввод системы в эксплуатацию.

Среди отечественных производителей приборов измерения и регистрации показателей качества и вспомогательных параметров электрической энергии можно выделить ООО «Энергоконтроль», ООО «ЛАРС», Московский энергетический институт НПО «Энерготехника», ООО «Парма». Широко представлены на отечественном рынке следующие комплексные системы: ДИСК-110, «Е1-Энергоучет», «Спрут», SCADA-система Trace Mode 5, предназначенная для проектирования и разработки систем управления, комплекс «ОИК ДИСПЕТЧЕР», «ЭКОМ1», цифровая автоматизированная система сбора данных о потреблении электроэнергии «Альфа ЦЕНТР».



Внедрение автоматизированных систем управления энергоснабжением предприятия позволит обеспечить повышение эффективности и результативности всех уровней управления на всех этапах жизненного цикла выпускаемой продукции, а применение оборудования и программного обеспечения отечественного производства усилит энергетическую безопасность страны.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пейзель В.М. Расчет технических потерь энергии враспределительных электрических сетях с использованием информации АСКУЭ и АСДУ // Электричество (дата обращения: 18.09.2021). – 2002 .– № 3 .– С.10-15 (дата обращения: 18.09.2021).
2. Сенько В.В. Автоматизированные системы коммерческого учета электроэнергии : учеб. пособие / В.В. Сенько. – Изд. 2-е. – Тольятти : ТГУ, 2011 – 48 с.
3. Никанин Р. В. АСКУЭ - дань моде или необходимость? / Р. В. Никанин // Энергосбережение (дата обращения: 18.09.2021). – 2005 .– N 1 .– С. 40 .– ISSN 1609-7505 (дата обращения: 18.09.2021).
4. Забелло Е. П. Экономическая эффективность АСКУЭ / Е. П. Забелло, А. Л. Гуртовцев // Промышленные АСУ и контроллеры (дата обращения: 18.09.2021). – 2004 .– N 2 .– С. 18-19 .– ISSN 1561-1531 (дата обращения: 18.09.2021).

УДК 621.311

А. Э. ГАРИФЬЯНОВ

*ajzat2015@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Д. В. МАКСУДОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

**Аннотация.** Рассматривается влияние качества электроэнергии на работу электрооборудования промышленных предприятий, дается оценка величины экономического ущерба от снижения качества электрической энергии.

**Ключевые слова:** показатели качества электроэнергии; промышленное предприятие; колебания напряжения; отклонения напряжения; качество электроэнергии.

Анализ ряда исследований отечественных авторов показал, что качество электроэнергии (КЭ) в электрических сетях, как правило, не отвечает нормативным требованиям, вследствие чего наблюдается повышение потерь электроэнергии, сбой технологических процессов и снижение срока службы электрооборудования [1, 2, 4]. Поэтому вопрос повышения КЭ в сетях энергетических систем и промышленных предприятий является важным и актуальным.

Оценка КЭ осуществляется по технико-экономическим показателям, которые учитывают вид ущерба от некачественной электроэнергии, имеющего две составляющие – технологическую и электромагнитную. Первая составляющая ущерба связана с влиянием КЭ на производительность технологических установок и себестоимость выпускаемой продукции, в результате которого может произойти недовыработка и частичный или полный сбой технологического процесса на предприятии. Вторая, электромагнитная, составляющая, как правило, выражается повышением потерь активной мощности и снижением срока службы изоляции электрооборудования [2].

Основные показатели качества электроэнергии, оказывающие наибольшее влияние на работу электрооборудования, представлены на рисунке 1 [1; 3-5; 8].

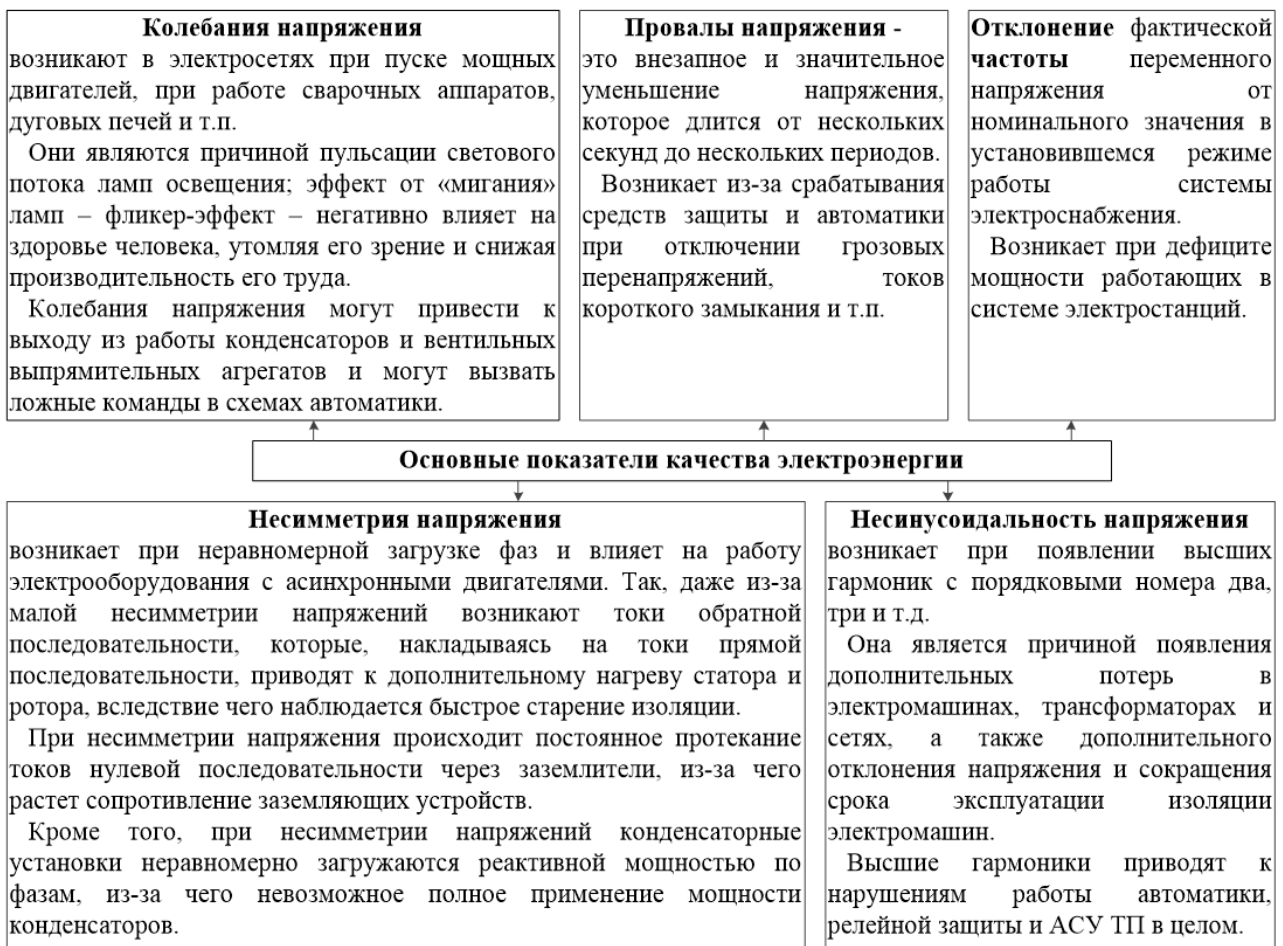


Рис. 1. Основные показатели качества электроэнергии

Подчеркнуть важность проблемы качества электроэнергии помогает рассмотрение ее экономического аспекта. Так, последние исследования в данной области показали, что минимальный экономический ущерб в РФ, связанный с низким КЭ, составляет от 25 до 30 млрд. долларов в год, причем самая большая доля ущерба приходится на промышленный сектор [6]. Столь весомая величина ущерба наглядно демонстрирует наличие нерешенной и острой проблемы, связанной с качеством электроэнергии промпредприятий.

Необходимо отметить, что величина экономического ущерба является итогом комплексного воздействия всех показателей качества электроэнергии на работу электромашин и определяется по формуле [7]:

$$\mathcal{E}U = U_{нес} + U_{откл} + U_{пров} + U_{кол}, \quad (1)$$

где  $U_{нес}$  – ущерб от несимметрии и несинусоидальности напряжения;  $U_{откл}$  – ущерб от отклонения напряжения;  $U_{пров}$  – ущерб от провалов напряжения;  $U_{кол}$  – ущерб от колебаний напряжения.

Вопросу совместного влияния показателей качества электроэнергии (ПКЭ) на работу электрооборудования в настоящее время уделено недостаточное внимание, однако для определенных видов промышленности данный вопрос является актуальным. Например, прослеживается влияние несимметрии и колебаний напряжения на отклонения напряжения прямой последовательности [2]. Таким образом, можно утверждать о том, что нельзя разделять влияние различных ПКЭ на общий результат. Однако, задача определения КЭ является непростой, так как процессы, происходящие в электросетях, протекают очень быстро, а измерение большинства ПКЭ происходит не напрямую и требует определенных расчетов.

Для того, чтобы исключить пагубное воздействие КЭ на работу электрооборудования, поставщики электрической энергии (сетевые организации) должны рассчитывать и регулировать напряжение при режимах максимальных и минимальных нагрузок, а также проверять КЭ на питающих центрах и трансформаторных подстанциях. Потребители (промпредприятия) в свою очередь должны производить монтаж электроустановок строго в соответствии с проектом, который прошел экспертизу, и осуществлять любые изменения, согласовывая их с проектировщиком и т.п.

Таким образом, качество электроэнергии оказывает значительное влияние на работу электроустановок и на ведение технологических процессов на производственных объектах. В результате электромагнитных помех, выражающихся в виде резких изменений характеристик напряжения и нарушений в работе электромашин, наблюдается существенный технологический и экономический ущерб, для снижения которого необходимо в первую очередь защитить наименее помехоустойчивые элементы системы электроснабжения. На сегодняшний день трудно говорить о полном решении проблемы качества электрической

энергии, однако сдвиги в данном вопросе станут возможны, если будут разработаны экономически обоснованные способы минимизации уровней показателей КЭ и решены правовые вопросы рассматриваемой проблемы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014 – 17 с.
2. Жежеленко, И.В. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 261 с.
3. ГОСТ Р 54149-2010 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2012. – 15 с.
4. Куско, А. Качество энергии в электрических сетях / А. Куско, М. Томпсон. – М.: Додэка-XXI, 2008. – 336 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. – М.: Стандартинформ, 2009. – 39 с.
6. Ананичева, С.С. Качество электроэнергии. Регулирование напряжения и частоты в энергосистемах: учебное пособие / С. С. Ананичева, А. А. Алексеев. – Екатеринбург: УрФУ. 2012. – 93 с.
7. Сапрыка, А.В. Повышение энергоэффективности осветительных комплексов с учётом качества электрической энергии / А.В. Сапрыка // Монография. – Харьков: ХНАМГ, 2009 – 126 с.
8. Исмагилов, Ф.Р. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике в вопросах и ответах: учебное пособие / Ф.Р. Исмагилов, Д.В. Максудов; УГАТУ. Уфа: – УГАТУ, 2005. – 85 с.

УДК 621.365.5

А. С. ГОРБУНОВ, Д. С. МАЛЬЦЕВ

*freizer-anton@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. А. С. ГОРБУНОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ УСТАНОВОК ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

**Аннотация.** В статье рассмотрены типы источников питания, используемых для индукционного нагрева, на базе полупроводниковых и электромашинных преобразователей. Приведены конструктивные особенности таких источников питания, области применения, а также области их номинальных параметров. Рассмотрена конструкция индукционного нагревателя с вращающимися постоянными магнитами на базе редкоземельных материалов, вращение которых производится от приводного электродвигателя.

**Ключевые слова:** индукционный нагрев; индуктор; электрические машины; полупроводниковый преобразователь.

В настоящее время индукционный нагрев широко используется для обработки металлических деталей для различных отраслей промышленности. К преимуществам индукционного способа нагрева можно отнести бесконтактную передачу энергии к нагреваемым деталям за счет того, что источники тепла возникают внутри обрабатываемых деталей при работе установки. Это также приводит к тому, что при таком способе нагрева не происходит повреждение поверхностей деталей продуктами горения, в отличие от нагрева пламенем. Индукционный нагрев позволяет значительно повысить скорость нагрева, а также обеспечить возможность нагрева заданных зон деталей, например, поверхностных участков деталей, без сквозного нагрева загрузки.

К основным элементам индукционных установок относятся источники питания и индукторы – устройства, создающие переменное поле заданной частоты. Индукторы для индукционного нагрева представляют собой одно- или многовитковые катушки из медной трубки. Ввиду высоких температур нагрева, достигаемых в деталях, наличия потерь при протекании тока в индукторе и возникновения тепловых потерь от деталей, необходимо обеспечивать интенсивное охлаждение индукторов, для чего они выполняются с водяным охлаждением.

ем (рис. 1). В этом случае охлаждающая вода прокачивается в полости трубки индуктора.

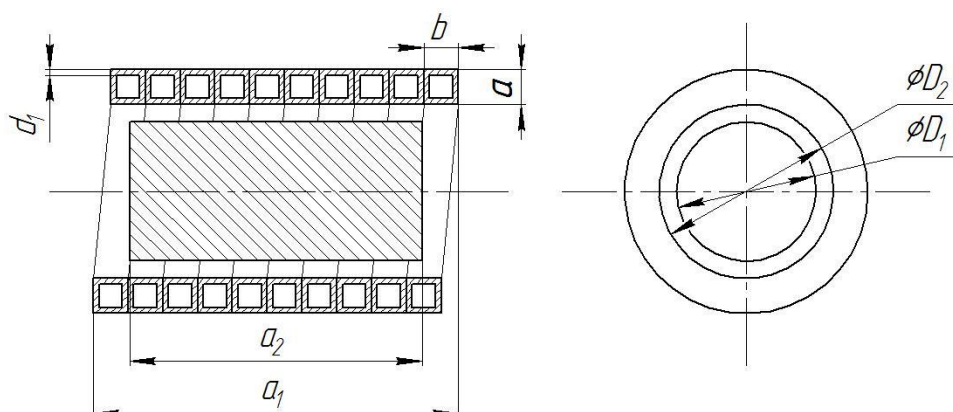


Рис. 1. Катушка индуктора, охватывающая нагреваемую деталь

Для создания переменного электромагнитного поля заданной частоты индукторы питаются от соответствующих источников питания. До появления эффективных полупроводниковых вентилях в качестве таких источников питания находили применение электромашинные и ламповые преобразователи частоты. Ламповые преобразователи в настоящее время применяются лишь в установках сверхвысоких частот (сотни кГц и выше).

Современные полупроводниковые источники питания для индукционных установок в зависимости от уровня мощности и выходной частоты строятся на базе тиристорных и транзисторных преобразователей. Так, при частотах до 1–22 кГц и мощностях 30–1000 кВт и выше (большая мощность соответствует меньшей частоте и наоборот) находят применение тиристорные преобразователи. Однако благодаря развитию новых высокоэффективных вентилях с полным управлением – *IGBT*- и *MOSFET*-транзисторов, транзисторные преобразователи значительно расширяют свое применение, в том числе в тех областях, где ранее использовались тиристорные варианты. На рис. 2, а показан внешний вид шкафа тиристорного преобразователя частоты ТПЧ, выпускаемого на НПО «Параллель», г. Уфа [1]. На рис. 2, б показан внешний вид шкафа транзисторного преобразователя, выпускаемого группой компаний «Мосиндуктор», Московская область [2].

На сегодняшний день, как было выше отмечено, тиристорные преобразователи находят преимущественное применение для установок малой частоты и высокой мощности. Сюда можно отнести, например, преобразователи мощностью 800 кВт и выше при частотах 1 кГц для индукционной плавки металлов, а также нагрева крупногабаритных деталей. Транзисторные преобразователи выпускаются на номинальные мощности 30–1500 кВт при номинальных частотах 1–66 кГц и выше (большая мощность соответствует меньшей частоте и наоборот).



Рис. 2. Преобразователь частоты:  
*а – тиристорный; б – транзисторный*

В выпускаемых полупроводниковых преобразователях в основном применяется схема параллельной (рис. 3, а) [3] или последовательной компенсации реактивной мощности индуктора (рис. 3, б) [4].

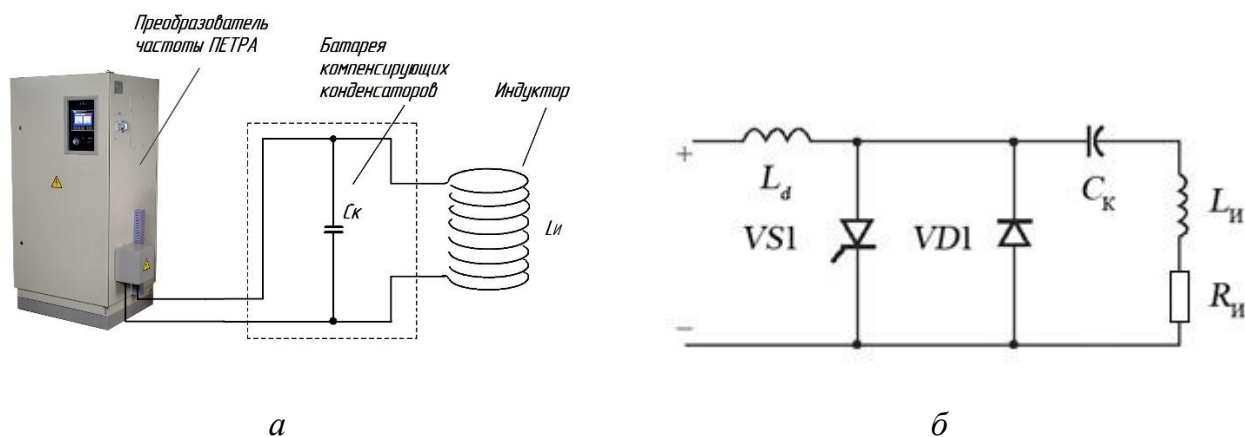


Рис. 3. Подключение нагрузки к преобразователю частоты:  
*а – параллельная компенсация; б – последовательная компенсация*



Современные транзисторные преобразователи частоты применяются с микропроцессорной системой управления (рис. 4), в которой постоянно анализируется информация с большого числа датчиков, автоматически обеспечивается поддержание оптимального резонансного режима работы, имеется возможность широкого регулирования выходной частоты преобразователя. Система управления обеспечивает недопущение аварийных режимов работы с возможностью быстрого отключения преобразователя [3].

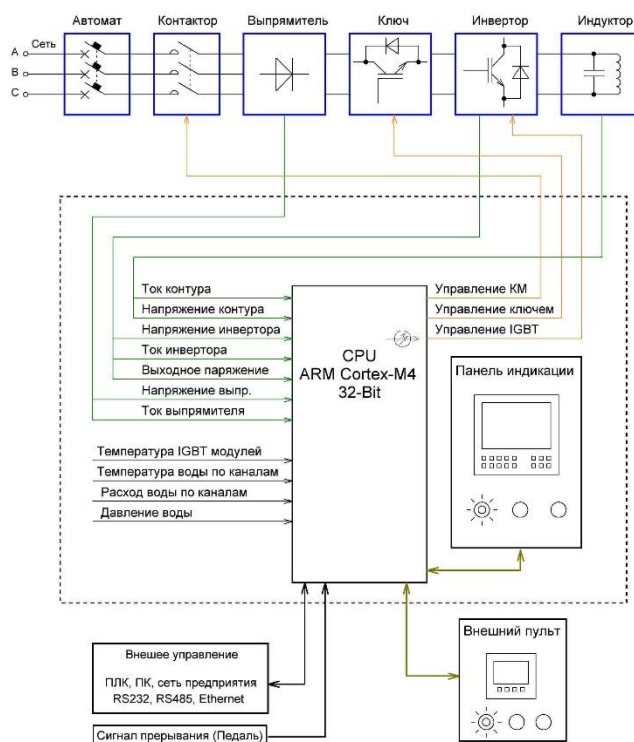


Рис. 4. Структура системы управления преобразователя частоты фирмы «Петра»

В настоящее время развивается направление индукционного нагрева, связанное с применением постоянных магнитов на основе редкоземельных материалов, вращающихся при помощи приводного электродвигателя с высокой скоростью (рис. 5) [5].

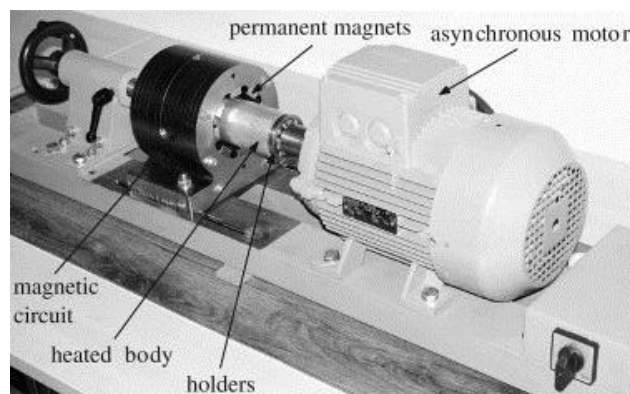


Рис. 5. Индукционный нагрев при помощи постоянных магнитов

В этом случае нагрев производится за счет вихревых токов в детали, возникающих вследствие воздействия вращающегося поля от постоянных магнитов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полупроводниковые преобразователи частоты серии "Параллель ППЧ". URL: <https://prl.ru/products/poluprovodnikovye-preobrazovateli-chastoty-serii-parallel-ppch/> (дата обращения 21.09.2021).
2. Премиальная серия преобразователей частоты на транзисторных IGBT модулях. URL: [https://mosinductor.ru/productsiya/tiristornye\\_i\\_tranzistornye\\_preobrazovateli\\_chastoty/premialnaya-seriya-preobrazovateley-chastoty-na-tranzistornykh-igbt-modulyakh/](https://mosinductor.ru/productsiya/tiristornye_i_tranzistornye_preobrazovateli_chastoty/premialnaya-seriya-preobrazovateley-chastoty-na-tranzistornykh-igbt-modulyakh/) (дата обращения 21.09.2021).
3. Преобразователи частоты Петра. URL: <https://www.nkvp-petra.ru/preobrazovatel-chastoty-petra-0132/> (дата обращения 21.09.2021).
4. Steel heat treatment: equipment and process design / ed. by G. E. Totten. Boca Raton [etc.]: CRC Press [etc.], 2007. 714 p. (Steel heat treatment handbook, second edition).
5. Mach F., Karban P., Doležel I. Induction heating of cylindrical nonmagnetic ingots by rotation in static magnetic field generated by permanent magnets // Journal of Computational and Applied Mathematics. Vol. 236. Issue 18. December 2012. P. 4732-4744.

УДК 621.314

А. К. ГУЦЕНКО

79603837455@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Т. А. ВОЛКОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ В СИЛОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

**Аннотация.** В статье рассматриваются виды повреждений кабельных линий, обосновывается актуальность и необходимость диагностики повреждений кабельных линий, описывается акустический метод диагностики кабельных линий.

**Ключевые слова:** кабельные линии; диагностика кабельных линий; акустический метод диагностики.

В наше время развития электроэнергетической индустрии увеличивается роль применения силовых кабельных линий (КЛ) в сетях электроснабжения городов и поселков, а также в системах электроснабжения мелких и крупных предприятий. К сожалению, большая часть кабельных линий устаревают, как морально, так и физически. Предприятиям, имеющие огромное количество разветвленных кабельных сетей электропередач, необходимо иметь не только квалифицированный персонал, который грамотно эксплуатирует КЛ, но и универсальное техническое оборудование для наладки кабельного хозяйства в случае обнаружения дефектов.

Кабельные линии относятся к долговременным, ответственным и дорогостоящим элементам систем электропередачи. От исправной работы кабельных линий электропередач зависит бесперебойное электроснабжение потребителей и предприятий I и II категорий надежности.

Запас прочности кабельных линий рассчитывается на стадии проектирования, также определяется и уровень надежности работы КЛ в условиях эксплуатации. Повысить уровень эксплуатационной надежности КЛ возможно путем усовершенствования технологии производства, применения более дорогих изоляционных материалов и современных конструкций.

Главной задачей при эксплуатации КЛ остается сохранение запаса прочности и поддержание уровня надежности, предусмотренного заводом-изготовителем на рассчитываемый срок.

В реальных условиях эксплуатации на уровень эксплуатационной надежности КЛ воздействует множество разрушающих факторов, что ведет к снижению их надежности. Для сохранения нормативного ресурса или для повышения эксплуатационной надежности КЛ электропередачи напряжением 6-10 кВ до требуемого уровня используются различные мероприятия. К ним можно отнести: создание защитных кабельных сооружений (кабельная канализация и траншея, туннели и каналы, кабельные эстакады и шахты и т.д.); повышение квалификации обслуживающего персонала; повышение технической оснащённости служб, занимающихся профилактикой, монтажом и ремонтом КЛ.

Однако по статистике на КЛ 6-10 кВ приходится более 60% нарушений электроснабжения потребителей. Причин этого множество: заводской брак, использование некачественных материалов при изготовлении кабеля, дороговизна сырья, неправильная транспортировка или монтаж кабеля, и в том числе испытания повышенным напряжением КЛ. Но основная причина – это износ изоляции. При возникновении неисправности кабельных линий необходимо оперативно выявить место повреждения и ликвидировать его.

Одним из вариантов решения проблемы является замена всех устаревших КЛ, но замена всех КЛ в течение двух-трех лет потребует огромных финансовых затрат. Следовательно, стоит совершенствовать методы диагностики кабельных линий электропередач.

По характеру поведения повреждения делятся на устойчивые и неустойчивые. В изоляции кабельных линий неустойчивые повреждения в большинстве случаев возникают вследствие специфических свойств бумажно-масляной изоляции. При ее пробое в разрядном промежутке создаются условия, способствующие гашению электрической дуги. Количество неустойчивых повреждений значительно превосходит количество устойчивых. Неустойчивые повре-

ждения могут самоустраняться, оставаться неустойчивыми или переходить при определенных условиях в устойчивые.

По видам повреждения разделяются на замыкания (в сетях с изолированной нейтралью или компенсацией емкостных токов также «замыкания на землю») и обрывы (рис. 1). Замыкания делятся на однофазные (однополюсные) и междуфазные (двух- и трехфазные, как с «землей», так и без «земли»). Для сетей с изолированной нейтралью или компенсацией емкостных токов существенное значение имеют также двойные замыкания на землю, т.е. замыкания двух фаз на землю в разных точках электрически связанной сети.



Рис. 1. Виды повреждений кабельных линий

Акустический метод поиска повреждений кабеля практически универсален. Он позволяет находить повреждения различного типа: «заплывающие» пробои, однофазные и междуфазные повреждения с различными переходными сопротивлениями, обрывы одной или нескольких жил. При этом полное замыкание с маленьким переходным сопротивлением не дает искрового разряда и не может быть определено данным методом. В ряде случаев с помощью акустического метода поиска возможно найти несколько повреждений на одной кабельной линии.

Сущность акустического метода обнаружения повреждений кабельных линий видна из самого его названия. Информативным параметром является уровень кратковременного звукового сигнала – щелчка, удара, возникающего одновременно с электрическим искровым или дуговым разрядом, происходящим в месте повреждения (МП) кабеля в момент подачи на него высоковольт-

ного импульса электрического напряжения. Для контроля и индикации сигнала используется высокочувствительный акустический датчик (микрофон), преобразующий звуковой сигнал в электрический. Датчик подключен к переносному приемно-усилительному устройству, снабженному звуковой и визуальной индикацией. Оператор, пошагово перемещая по поверхности вдоль трассы кабеля датчик, в направлении увеличения сигнала находит точку с максимальным сигналом, которая находится непосредственно над МП. Таким образом, локализуют место повреждения (рис. 2).

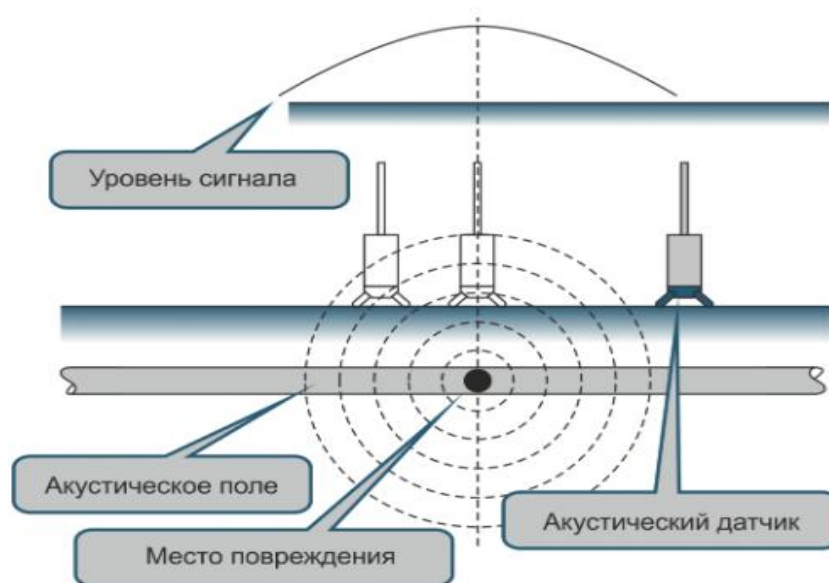


Рис. 2. Определение точного местонахождения повреждения в кабельной линии

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесник Г.П. «Кабельные и воздушные линии электропередачи», 2017 г. – 126 с.
2. Пентелеев Е.Г. Монтаж и ремонт кабельных линий: Справочник электромонтажника. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Энергоатомиздат, 2013. – 288 с.
3. Макаров Д.М. Определение места повреждения кабеля [Электронный ресурс] URL: <https://opredelenie-mesta-povrezhdeniya-kabelya.html> (дата обращения 20.09.2021).

УДК 621.313

В. В. ЕРЕМЕНКО

*vlad.eremenko@yandex.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. Р. Р. САТТАРОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **К ВОПРОСУ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ МИКРОСТАРТЕРЕ-ГЕНЕРАТОРЕ, ИНТЕГРИРОВАННОМ В МИКРОГТД**

*Аннотация.* В данной статье рассмотрен электрический микро стартер-генератор, интегрированный в микрогазотурбинный двигатель. Представлены основные проблемы и возможные варианты решения проблем использования электрических микро стартер-генераторов.

*Ключевые слова:* источник электроэнергии; микрогазотурбинный двигатель.

В настоящее время существует немалое количество источников электроэнергии, тепловые электростанции, гидроэлектростанции и электростанции атомные и т. д. Однако себестоимость электроэнергии, полученной таким образом, довольно дорогая. Поэтому предлагается множество альтернативных источников энергии, например энергия солнца. Но и эти источники энергии не доступны для общего пользования и не могут быть в общем пользовании еще десятки лет.

В статье описывается портативный источник энергии – микрогазотурбинный двигатель (далее микроГТД), а в частности, поднимаются проблемы, связанные с электрическим микростартером-генератором в микроГТД.

Микрогазовая турбина — это небольшой тепловой двигатель с диапазоном мощности от 25 кВт до 300 кВт. Представляет собой микрокомпрессор, камеру сгорания и микротурбину. Воздух, поступающий из окружающей среды, попадает в центробежный микрокомпрессор, где происходит сжатие потока ( $\pi_k = 3 - 4$ ). Потом он попадает в камеру сгорания, смешиваясь с газом или жидким топливом, с помощью электронагревателей топливовоздушная смесь поджигается, расширяется и по каналам направляется к центростремительной турбине, где продолжает расширяться и удаляется в окружающую среду. МикроГТД использует газ или жидкое топливо и имеет ряд технических преимуществ.

ществ по сравнению с другими источниками энергии: низкий уровень потребления, низкий уровень шума, низкий уровень выбросов, низкая вибрация и низкая стоимость обслуживания [1, 2]

Исследования по разработке микроГТД начались еще в 1994 году в основном при поддержке D.A.R.P.A. Также исследования проводились в Японии, Франции (ONERA) и в других странах [3].

Для запуска и генерации электроэнергии микроГТД используют электрический микро стартер-генератор. При этом возможно несколько способов расположения. Один из них — это расположение на валу двигателя, отдельно от газотурбинного двигателя. Следующее – это микростартер-генератор, интегрированный в ГТД [4].

Для этого на наружной поверхности диска центробежного колеса нанесен магнитный слой (Рис. 1). А на внутренней поверхности корпуса двигателя над магнитным слоем компрессора выполнена статорная электрообмотка [5].

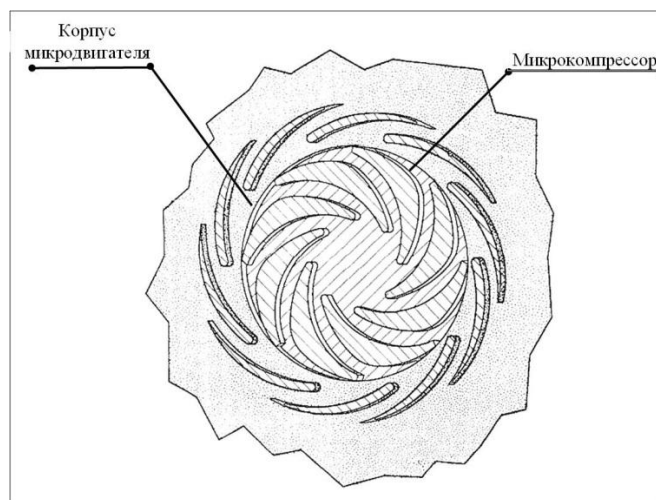


Рис. 1. Схема микрокомпрессора и корпуса

В случае интегрированного микродвигателя уменьшаются размеры микроГТД, упрощается конструкция, при этом усложняется изготовление.

Однако существует ряд проблем, связанных с электрическим микродвигателем, интегрированным в двигатель. Одна из них — это очень близкое расположение микродвигателя к центростремительной турбине, при котором происходит мощный тепловой контакт. Это заметно снижает эффективный КПД



самого цикла ГТД. Также магнитный слой при таких температурах теряет электромагнитные свойства.

Решением проблемы является теплоизоляция микрокомпрессора и микро-турбины и использование рекуперации в цикле ГТД, что позволит значительно повысить КПД [6].

Немаловажной проблемой является и большая частота вращения микрогазотурбинного двигателя (например, 10 МГц [4]). Вследствие такого вращения происходит перегрев электрического микродвигателя. Одним из методов решения проблемы это покрытие поверхностного слоя плазмохимией  $SF_6$ .

Таким образом, в статье были рассмотрены проблемы и основные методы их решения электрических микродвигателей, интегрированных в микрогазотурбинный двигатель.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nascimento M, De L, Santos E, et al. 2013 Micro Gas Turbine Engine: A Review
2. Lianling Ren, Ruiguo Zhu, Lin Liao and Youjie Zhou. Analysis on the development of micro gas turbine generation technology // Journal of Physics: Conference Series, 2021. P. 20-26
3. Yves Ribaud. Overall Thermodynamic Model of an Ultra Micro Turbine // J. of Thermal Science. Vol. 13, No. 14 P. 297-302
4. Alan H. Epstein, Stephen D. Senturia, Ian A. Waitz, et al. Microturbomachinery. Patent USA no. US 6,392,313 B1
5. Иванов О. И., Милешин В. И., Огарко Н. И. Микроразмерный двухконтурный газотурбинный микродвигатель. Патент RU 2 386 828, 2006.
6. Кулагин В. В. Теория расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок // М.: Машиностроение, 2003. 616 С.

УДК 621.3

А. Р. ИБАТУЛЛИН

*ibatullka@mail.ru*

Науч. руковод. – О. Т. ГИНИЯТОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **БОРЬБА ПОКОЛЕНИЙ В РУССКОМ ЯЗЫКЕ**

**Аннотация.** В данной статье мы попытаемся разобраться в языковом конфликте между поколениями.

**Ключевые слова:** русский язык; борьба поколений.

У меня, как гражданина Российской Федерации, есть вещь, которую я очень ценю, вещь, которую обязан ценить и оберегать каждый. Несмотря на то, что наша страна является многонациональной и включает в себя огромное количество культур, есть то, что объединяет всех, то, что отличает нас от приматов, позволяет нам общаться и выстраивать отношения. Как уже многие догадались, речь пойдет о русском языке.

Углубляясь в эту тему, я завел разговор с людьми почетного возраста, в течение которого понял, что все не так просто. В ходе обычной беседы меня внезапно посетила мысль о том, что мы говорим на разных языках. Не подумайте, я в полной мере понимал каждое их слово, они говорили совершенно обычно, без странных архаизмов или чего-то подобного, но когда приходила моя очередь, в их глазах читалось недопонимание. Фактически мы говорили на одном языке, но изменения, которым он подвергся за все время своего существования, поставили нас в затруднительное положение.

Итак, перейдем к основной теме моего сегодняшнего выступления :

*«Борьба поколений в русском языке»*

Разные компоненты языка меняются с разной скоростью, к примеру: грамматика, которая остается неизменной или практически неизменной на протяжении огромного количества времени, пунктуация, потому что нельзя просто взять и поставить запятую в рандомном месте. Возможно, у некоторых из вас встанет вопрос, что за слово я употребил в последнем предложении. «Рандом-

ном»? Вот, как раз об этом мы и поговорим. «Random – случайный» в переводе с английского. Почему же я не сказал «... запятую в случайном месте»? Все потому что я уже привык к подобным изречениям. Если вы обратите внимание, то с появлением глобальной сети и так называемой «интернет-культуры», английский язык начал просачиваться в наш язык. Вы ожидали чего-то другого? Если люди, которым 15-20 лет, огромное количество времени проводят в сети и говорят именно на этом языке. Проблема «отцов и детей» остается актуальной по сей день, и язык-один из способов лишний раз намекнуть об «испорченности нового поколения».

В наше время принято разделять поколения подобным образом:

Поколение Z: 1996 и позже

Миллениалы или поколение Y: 1981–1995

Поколение X: 1965–1979

Бэби-бумеры: 1946–1964

Традиционалисты: 1945 и ранее

Это пригодится нам для дальнейшего понимания темы.

Допустим небольшое отклонение и поговорим о СССР. Это была великая держава, которая пресекала всякую попытку вторгаться в свои внутренние дела и тем более коверкать свой язык. Однако в 1991-м году железный занавес пал вслед за великой державой. Попытаемся разобраться к чему это привело.

После падения так называемого «железного занавеса», на все постсоветское пространство хлынула волна «американской массовой культуры». И это не могло не оставить след на нашей культуре и языке. Копии американских групп, которые пытались повторять манеру речи, повадки, и всем своим видом хотели показать, что они не хуже оригинала. Нельзя не упомянуть иностранную литературу и культовые фильмы, фразы из которых надолго заседали в головах. Но не будем вдаваться в историю и вернемся к обсуждению языка на этом фоне.

Хотелось бы обратиться к людям, которые выросли в «лихие девяностые» или как их принято называть сейчас «миллениалы». Вспомните, на что был похож ваш говор тогда: фарцовка, сидюк, слаксы, трубы. Если бы не товарищи постарше, не думаю, что я бы дошел до значения этих слов самостоятельно. И как ни странно, вы подвергались осуждению со стороны старших. Так заведено, старшие осуждают младших за их внешний вид, поведение, юмор, и в особенности, за их речь, которую они просто не могут понять.

Но почему же мы не можем прийти к консенсусу? Почему у нового поколения всегда новый язык? Почему старшие поколения не пытаются понять младших?

Начнем с того, что прийти к чему-то конкретному в данном вопросе вряд ли возможно. Молодые будут стараться доказать старшим, что они не глупы и имеют полное право распоряжаться своей речью так, как сами захотят. Но почему на стыке поколений речь людей всегда идет наперекос с тем, что было раньше? Я думаю, что ответ кроется в том, что младшие никогда не хотят быть похожими на старших, они хотят быть особенными, выделяться и находить похожих по духу людей, которые ведут себя также, выглядят также и самое главное, говорят на понятном им языке.

Чтобы сделать эту работу более объективной, я решил сослаться на статью Ларисы Паутовой-управляющего директора проектов фонда «Общественное мнение», в которой она говорит достаточно интересные вещи относительно поколения Z:

«Они другие и они разные. Большое количество исследований говорит о сегментации молодежи. Поэтому нужно понять, какую группу молодежи мы хотим вовлекать. У каждой группы свои кнопки воздействия, свои крючки», — объясняет Паутова.

«Это поколение, воспитанное 40-летними, которые очень остро переживали 1993-й, 1998 год и не хотят, чтобы их дети жили в таких же условиях. В результате мы столкнулись с поколением, которое испытало на себе гиперо-

пеку родителей. Например, в этом году мы проводили фокус-группы по всей стране, куда собирали студентов 18-24 лет, и они приходили со своими родителями», — рассказала эксперт.

На вопрос почему русский язык меняется столь стремительно, попытался ответить и Доцент Тартуского университета филолог Роман Лейбов:

«Если говорить о той части языка, которая меняется достаточно быстро, которая редко "откладывается", то там происходит отбор. Во-первых, сама молодежь не использует этот язык во всех сферах. Понятно, что, разговаривая с директором школы, будет слишком большой наглостью начать разговаривать на этом англо-русском языке. Школьники прекрасно это понимают, и они переключают регистры. Такая неполная сфера употребления тоже не дает зафиксироваться новой терминологии в этом языке, проникнуть в другие пласты языка и, таким образом, охватить общество, как-то зафиксироваться в словарях. Шансов у такой лексики довольно мало. Конечно, влияет техника, которой стало много. И для всего этого нужны какие-то новые слова, либо заимствованные, либо переделанные, либо изобретенные.»

Могу сказать , что я солидарен с вышеизложенными позициями. Я думаю , что «старшим» нужно быть более гибкими и уметь приспособливаться к актуальному , современному русскому языку. В свою же очередь молодежи нужно постараться принять старших и относиться к их попыткам без пренебрежения. И я искренне надеюсь , что мы сможем понять друг друга!

УДК 621.313

Ф. Р. ИСМАГИЛОВ, В. Е. ВАВИЛОВ, А. А. ЖЕРЕБЦОВ,  
Г. С. ЗИННАТУЛЛИНА

*zinnatullina95@list.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. Ф. Р. ИСМАГИЛОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **К ВОПРОСУ ОБ ИЗУЧЕНИИ ТИПОВ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Аннотация.** Данная статья посвящена вопросам изучения типов охлаждения электрических машин методом компьютерного моделирования. Рассмотрены существующие типы охлаждения. Проанализирован программный комплекс *Motor-CAD*, позволяющий проводить тепловые расчеты электрических машин на стадии проектирования. Описан пример теплового расчета электрической машины с жидкостным охлаждением при помощи программы *Motor-CAD*.

**Ключевые слова:** методика расчета; тепловой расчет; система охлаждения; компьютерное моделирование; *Motor-CAD*; воздушное охлаждение; жидкостное охлаждение.

Изучение типов охлаждения электрических машин является необходимым и обязательным условием при их проектировании, так как перегрев активных частей сказывается на работоспособности в целом. Эффективная система охлаждения подразумевает надежную работу электрических машин, а также улучшает их перегрузочную способность. Поэтому важность теплового расчета активных элементов электрической машины с целью выявления соответствия их температур допустимым рабочим температурам выбранных материалов на этапах проектирования предопределяет поиск наиболее эффективных типов охлаждения, а также модернизированных систем охлаждения [1].

В настоящее время наиболее распространенными и эффективными типами систем охлаждения электрических машин являются: принудительное воздушное охлаждение (когда поток воздуха прогоняется через активную систему электрической машины, либо по наружной ее части) и принудительное жидкостное (в этом случае хладагент циркулирует либо в полости ЭМ, либо по

внешней части корпуса). Применение данных систем охлаждения позволяет значительно увеличивать тепловую нагрузку проектируемых машин.

Применение жидкостного охлаждения имеет свои недостатки. В первую очередь это связано с повышением массогабаритных параметров за счет дополнительных агрегатов, которые обеспечивают необходимую подачу и циркуляцию хладагента в полости ЭМ. Дополнительные агрегаты могут включать в себя насос, который создает давление и прокачивает жидкость с нужным расходом, охлаждающие контура, которые используются как теплотransпорт для хладагента, и теплообменник, необходимый для охлаждения хладагента. Совокупная масса данных агрегатов может достигать до 50% от массы ЭМ и негативно сказываться на удельной мощности машины. Кроме того, использование жидкостного охлаждения усложняет конструкцию. Поэтому в случаях, требующих применение электрической машины с минимальными массогабаритными показателями без внешних элементов охлаждающей системы, применяется метод принудительного воздушного охлаждения.

На сегодняшний день тепловой расчет электрической машины проводится инженерами на этапе проектирования, что позволяет оценить рациональность применения различных типов охлаждения и выбрать наиболее оптимальный с учетом конструктивных особенностей и предъявляемых требований. Одной из программ, позволяющих проводить тепловой расчет электрической машины методом компьютерного моделирования, является *Motor-CAD*. Программное обеспечение *Motor-CAD* позволяет проводить высокоточный тепловой анализ с целью оценки теплообмена в электрических машинах, который влияет на эксплуатационные характеристики. С помощью программы *Motor-CAD* инженерам на стадии проектирования доступно [2]:

- проведение электромагнитных и тепловых расчетов с разными типами электрических машин;
- оценка уровня потерь в электрической машине;
- исследование применения различных типов охлаждения.

Тепловой расчет в программе *Motor-CAD* основан на двух методах: метод эквивалентных тепловых сопротивлений и метод конечных элементов для оптимизации системы охлаждения электродвигателя. Программное обеспечение автоматически настраивает расчет в соответствии с заданными параметрами конструкции и выбранным типом охлаждения [3].

Для теплового анализа методом компьютерного моделирования первоначально выстраивается конструкция выбранного типа электрической машины в программном комплексе *Motor-CAD* со всеми габаритными размерами (рис. 1).

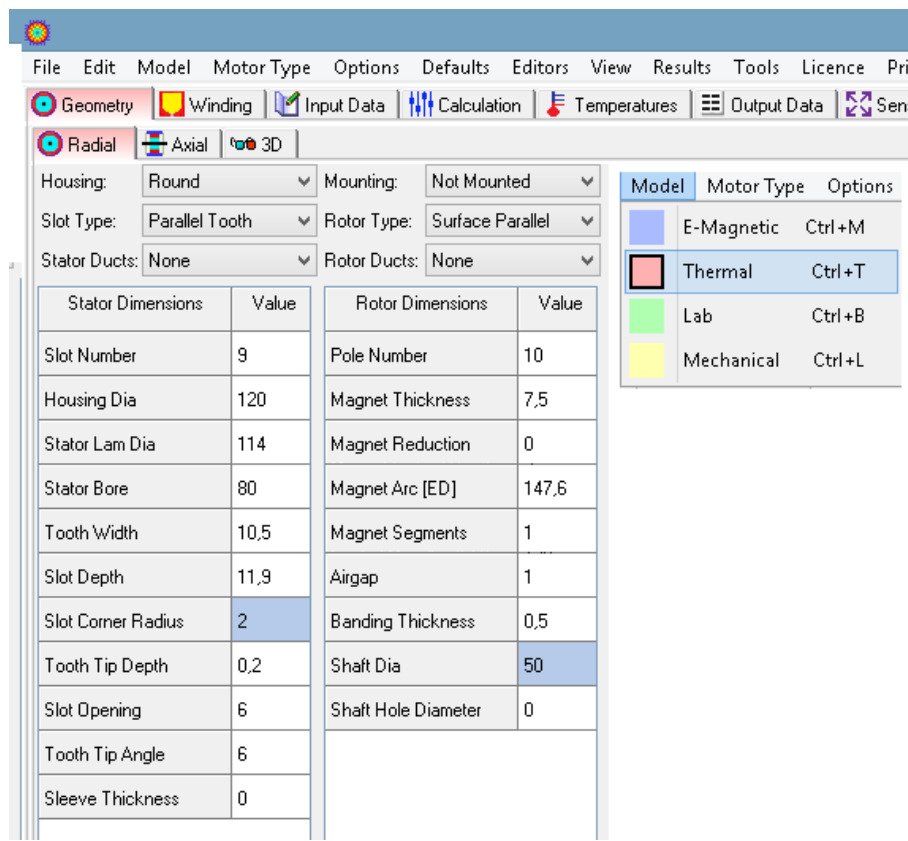


Рис. 1. Габаритные размеры электрической машины в программном комплексе *Motor-CAD*

В следующем выбираются материалы активных частей электрической машины, а затем выбирается тип охлаждения электрической машины. *Motor-CAD* предлагает различные типы охлаждения (рис. 2) [3]:

– закрытого типа без воздушного охлаждения (естественная конвекция с корпуса);



- закрытого типа с вентиляторным охлаждением (принудительная конвекция с корпуса);
- с воздушным охлаждением;
- закрытого типа с внутренней циркуляцией воздуха (путь внутренней циркуляции воздуха и/или водяная рубашка в качестве теплообменника);
- открытое охлаждение торцевого щита;
- водяные рубашки (осевая – циркуляция хладагента по ротору или кольцевая – циркуляция хладагента по пазам);
- погружное охлаждение (случай, когда электрическая машина полностью погружается в жидкость);
- охлаждение с «мокрым» ротором/статором;
- охлаждение распылением (например, распылительное масляное охлаждение лобовых частей обмотки);
- непосредственное охлаждение проводников (например, масляные канавки).

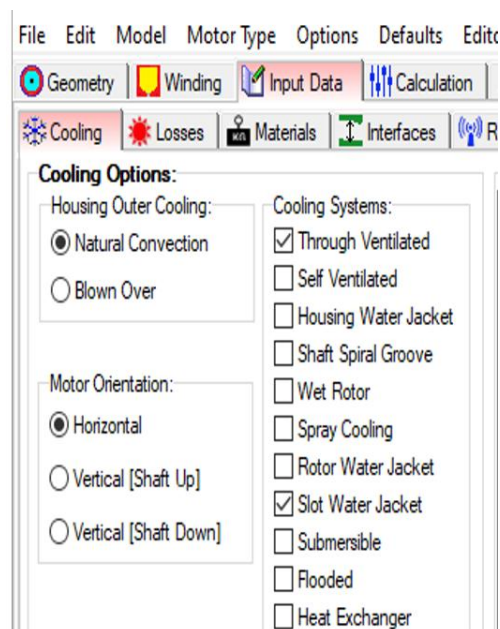


Рис. 2. Типы охлаждения электрической машины в программном комплексе *Motor-CAD*

При выборе жидкостного или воздушного охлаждения выбирается тип хладагента, а также расход хладагента, допустимый для проектируемой элек-

трической машины. Допустимое значение расхода хладагента выбирается исходя из заранее оговоренных в техническом задании требований. По результатам теплового расчета оцениваются температуры активных частей электрической машины.

На рис. 3 представлены результаты теплового расчета с помощью метода эквивалентных тепловых сопротивлений. Охлаждение электрической машины – жидкостное. Хладагент протекает по полости электрической машины и по пазам. Были взяты следующие граничные условия для расчета:

- температура окружающего воздуха 50 °С;
- температура хладагента на входе составляет 50 °С;
- массовый расход хладагента 17 л/мин.

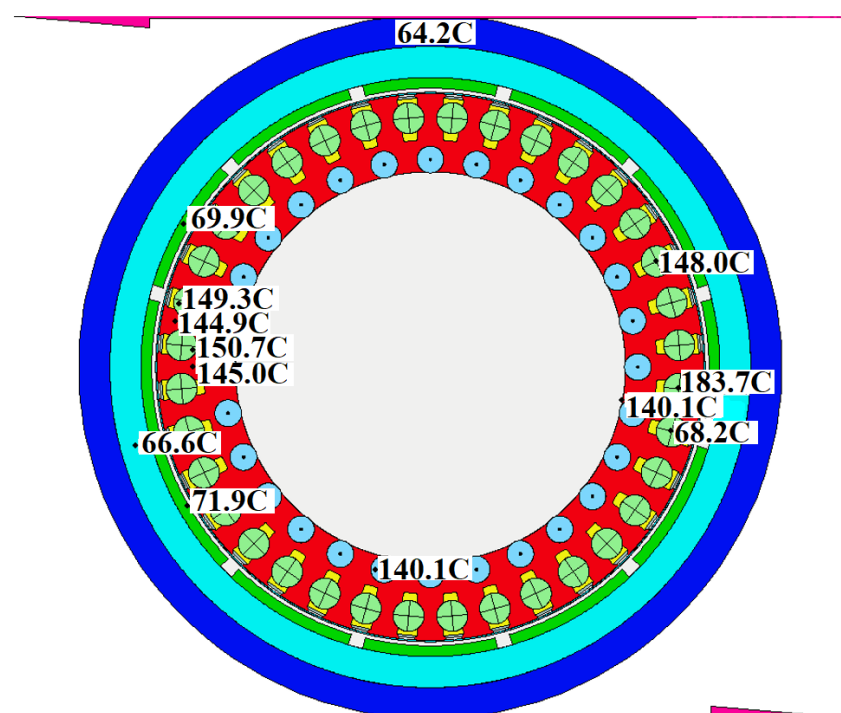


Рис. 3. Температуры активных частей электрической машины

На рис. 4-5 представлены результаты теплового расчета методом конечных элементов.

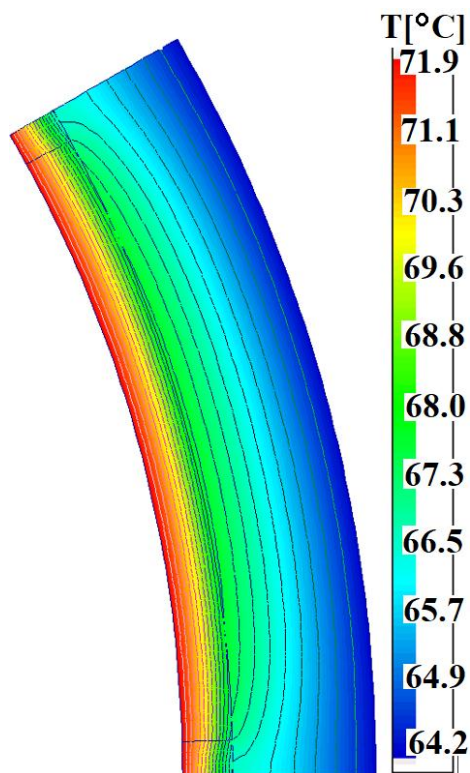


Рис. 4. Температура магнитов

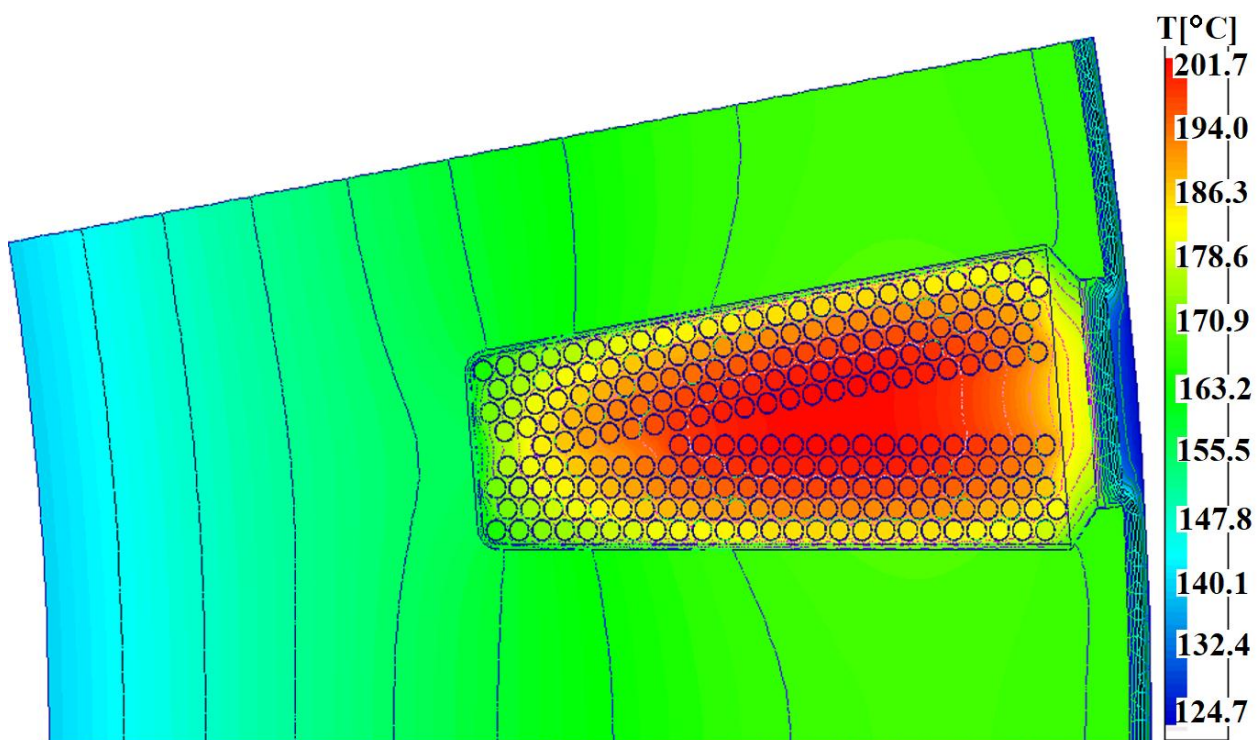


Рис. 5. Температура обмоток в пазу статора

По выполненному тепловому анализу методом компьютерного моделирования оценивается соответствие температур активных элементов допустимому

температурному диапазону используемых материалов. К примеру, при выборе в качестве материала обмотки статора провода марки ПНЭТ-ИМИД, допустимая рабочая температура активной части обмотки электрической машины должна составлять не более 220 °С. Исходя из выполненных тепловых расчетов оценивается возможность применения выбранного типа охлаждения для проектируемой электрической машины. Соответственно, тепловой анализ электрических машин методом компьютерного моделирования позволяет выбрать оптимальный тип охлаждения с учетом потерь и материалов активных частей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mr. Carlos Mejuto, Dr. Abdeslam Mebarki, Dr. David Staton, Dr. Nazar Al-Khayat, Dr. Markus Mueller. Thermal modelling of TEFC alternators // Industry Applications Conference. – 2013. – Vol. 5.– P. 685-687.
2. Motor-CAD. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.motor-cad.ru/> (дата обращения: 23.09.2021).
3. Программное обеспечение для проектирования электрических машин. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ansys.com/products/electronics/ansys-motor-cad> (дата обращения: 23.09.2021).
4. Методы теплового расчета. [Электронный ресурс]. URL: [https://studopedia.ru/12\\_23812\\_metodi-teplovogo-rascheta.html](https://studopedia.ru/12_23812_metodi-teplovogo-rascheta.html) (дата обращения: 23.09.2021).

УДК 621.313

Ф. Р. ИСМАГИЛОВ, В. Е. ВАВИЛОВ, А. А. ЖЕРЕБЦОВ, А. М. НУРИЕВА  
*a-nur\_rabota@mail.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. Ф. Р. ИСМАГИЛОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT8 В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛА ВАЛА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ МОЩНОСТЬЮ 1,5 МВт

**Аннотация.** В данной статье произведен расчет на статическую прочность вала электродвигателя из титанового сплава VT8. Расчет производился с использованием метода конечных элементов в программном комплексе *ANSYS Mechanical*. Сделан вывод по полученным результатам.

**Ключевые слова:** электродвигатель; вал; статическая прочность; жесткость; метода конечных элементов.

Рассматриваемый электродвигатель представляет собой синхронную электрическую машину с постоянными магнитами на роторе мощностью 1,5 МВт, напряжением питания 800 В и частотой вращения 15000 об/мин. В данной конструкции вал электродвигателя служит для передачи вращающегося момента и несет на себе массу вращающейся части машины, поэтому проведение прочностных расчетов на таких оборотах вала становится особенно важным для определения надежности конструкции. Одним из основных требований, предъявляемыми к валу, является прочность во всех его поперечных сечениях, достаточная для того, чтобы выдерживать все нагрузки, возникающие при эксплуатации электрической машины. Прочность вала определяется величиной и характером напряжений, возникающих в нем под действием нагрузок [1].

Расчет вала на статическую прочность может быть проведен аналитическим и численным методами. В настоящее время широко применяются программные обеспечения, позволяющие за короткое время произвести расчеты и получить численные результаты.

В данной работе расчет производился методом конечных элементов (МКЭ) в программном комплексе *ANSYS Mechanical* с размерностью сетки в

475553 элемента и 695588 узлов. Преимуществом МКЭ является возможность разбиения на конечные элементы области любой формы и, таким образом, возможность расчета деформаций в реальных деталях с учетом всех их конструктивных особенностей.

Предварительно в качестве материала вала выбран титановый сплав ВТ8 с пределом кратковременной прочности  $\sigma_B = 930$  МПа [2], коэффициент запаса прочности вала  $k$  принят равным 1,6 [3]. Тогда допустимое напряжение вала равно:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_B}{k} = \frac{930}{1,6} = 581,25 \text{ МПа}$$

В качестве граничных условий, задаваемых в расчете, выступал крутящий момент на валу, равный 1432 Нм, приложенный в месте установки магнитов. Перемещения были ограничены в зоне расположения подшипниковых опор.

Результаты расчета в виде распределений контуров напряжений и соответствующего запаса прочности представлены на рис. 1-2, где расчетная модель представляет собой цельную конструкцию, состоящую из самого вала и корпуса электрической машины.

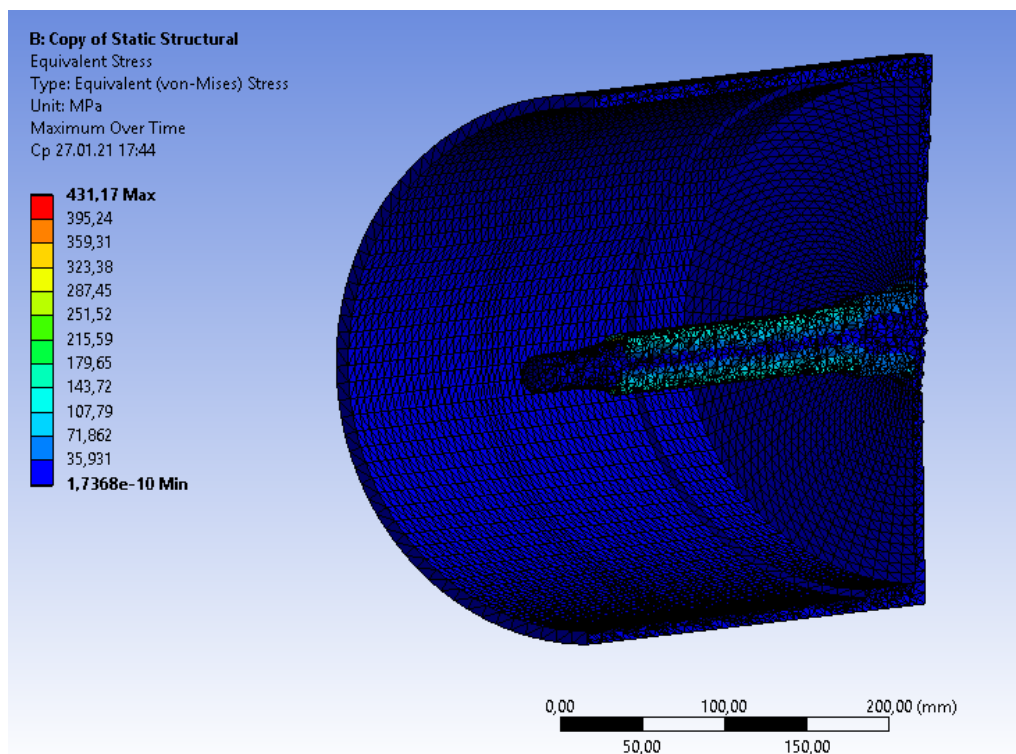


Рис. 1. Распределение эквивалентных напряжений по поверхности вала

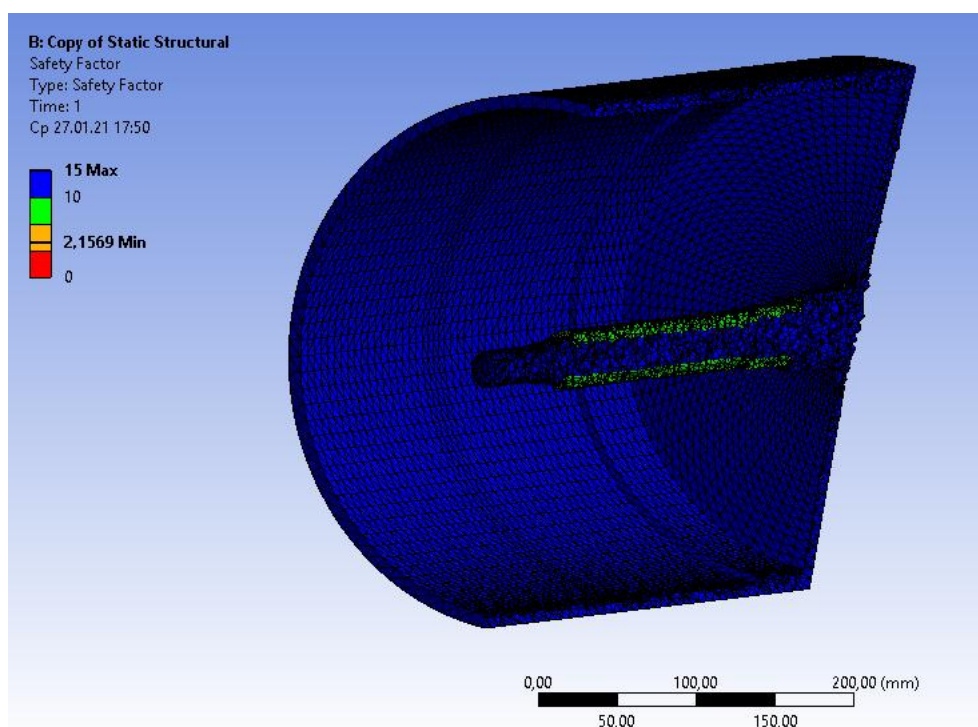


Рис. 2. Распределение коэффициента запаса прочности

Из расчета, представленного на рис. 1 видно, что условие прочности выполняется. Максимальное напряжение в конструкции не превышает допустимое значение  $\sigma_{д} = 431,17 \text{ МПа} < [\sigma] = 581,25 \text{ МПа}$ , коэффициент запаса находится в пределах нормы. Материал из титанового сплава ВТ8 выдерживает приложенную нагрузку, следовательно, вал данной конструкции можно эксплуатировать при данном виде нагружений.

Наряду с валом из титанового сплава ВТ8, большое применение получили валы из стали 30ХГСА. Использование данной стали в рассматриваемой конструкции невозможно из-за высокой плотности материала, которая равна  $7850 \text{ кг/м}^3$  [4] (плотность ВТ8 –  $4520 \text{ кг/м}^3$ ), что приведет к значительному увеличению массы конструкции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдберг О.Д. Проектирование электрических машин: Учебник для вузов. – Москва: Высш. шк., 2006. – С. 34.
2. «Характеристики материала ВТ8», [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.splav-kharkov.com/mat\\_start.php?name\\_id=1801](http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=1801) (дата обращения 23.09.2021).
3. Скопинский В.Н. Практическое руководство к расчетам по сопротивлению материалов: Уч. пособие. – М.: МГИУ, 2010. – 240 с.
4. «Сталь марки 30ХГСА», [Электронный ресурс]. – URL: [https://metallischekiy-portal.ru/marki\\_metallov/stk/30XGSA](https://metallischekiy-portal.ru/marki_metallov/stk/30XGSA) (дата обращения 23.09.2021).

УДК 621.313

Ф. Р. ИСМАГИЛОВ, В. Е. ВАВИЛОВ, А. А. ЖЕРЕБЦОВ, Е. А. ПРОНИН  
*MrPronin99@yandex.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. Ф. Р. ИСМАГИЛОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА ОБМОТКИ НА МАССОГАБАРИТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ МОЩНОСТЬЮ 60 КВТ**

**Аннотация.** Рассматривается влияние двух типов различных обмоток на массогабаритные характеристики разрабатываемого электрического двигателя (ЭД) максимальной мощностью 60 кВт для маршевой электрической силовой установки сверхлегкого самолета и маршевой гибридной силовой установки легкого вертолета.

**Ключевые слова:** электрический двигатель; массогабаритные показатели; электрические машины; гибридные силовые установки; электрические силовые установки.

Использование электрических машин (ЭМ) в авиации имеет очень большие перспективы. Связано это в первую очередь со стремлением человечества снизить пагубное влияние промышленности на окружающую среду. К электрическим машинам, как и к другим устройствам на борту, предъявляются серьезные требования. В частности, жесткие требования выдвигаются к массогабаритным показателям и коэффициенту полезного действия (КПД), выполнение которых должно быть реализовано во время проектирования, конструирования и расчета ЭМ [1]-[3]. Выбор наиболее оптимальной конструкции ЭМ, которая удовлетворяет выдвигаемым требованиям, является одной из задач инженерного расчета [4]. В данной статье проводится исследование влияния двух различных типов обмоток на массогабаритные показатели ЭД мощностью 60 кВт.

Расчет проводится для вентильных ЭД с постоянными магнитами (ПМ) радиального типа, которые имеют все преимущества двигателей постоянного тока, но при этом в их конструкции отсутствует щеточно-коллекторный узел, являющийся самым слабым местом с точки зрения надежности, отказ от которого особо актуален для авиационных ЭМ [5], [6]. Тип ротора выбран внешним, это позволяет избавиться от бандажной оболочки, которая увеличивает воз-



душный зазор между статором и ротором, таким образом для получения требуемой индукции в воздушном зазоре требуется меньший объем постоянных магнитов. Также объем ПМ снижен за счет их шихтовки в осевом направлении.

В качестве первой машины (расчет 1) принят ЭД с зубцовым типом обмотки, в качестве второй (расчет 2) – ЭД с распределенным типом обмотки. Предварительно для определения основных геометрических размеров двух ЭД проведен аналитический расчет по [7], который стал основой для дальнейшего численного расчета. Основные параметры двух ЭМ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные конструктивные параметры двух ЭМ

Параметр	Номер расчета	Расчет 1	Расчет 2
Тип электрической машины		радиальная	
Тип обмотки		зубцовая	распределенная
Тип охлаждения		масляное	
Сталь магнитопровода		Сталь 2421	
Напряжение питания, В		165	165
Максимальная мощность, кВт		61,1	61
Номинальная мощность, кВт		31,1	31,5
Частота вращения при максимальной мощности, об/мин		1950	
Частота вращения при номинальной мощности, об/мин		1800	
Внутренний диаметр по магнитам, мм		245	215

Эскизы активных частей каждого ЭД, созданные на основе аналитического расчета, представлены на рис. 1.

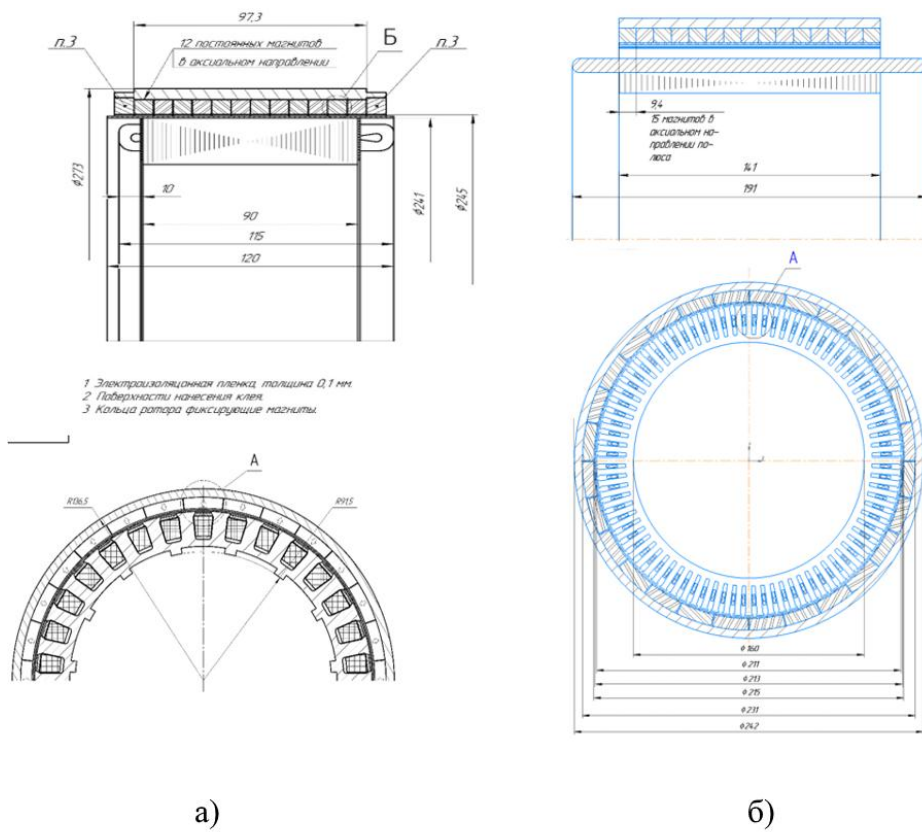


Рис. 1. Эскизы активных частей ЭД:  
а – ЭД с зубцовой обмоткой; б – ЭД с распределенной обмоткой

Дальнейший численный расчет проводится с использованием программных комплексов *ANSYS Maxwell* и *Motor-CAD*.

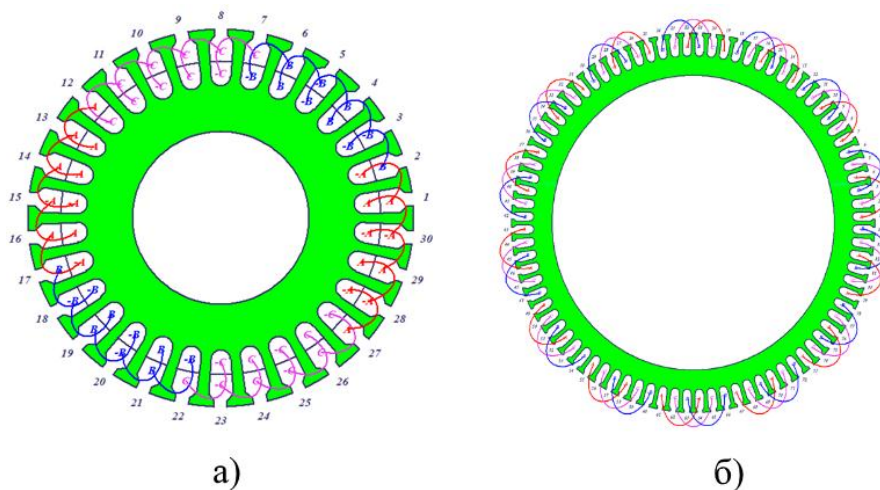


Рис. 2. Схема соединения обмоток ЭД:  
а – ЭД с зубцовой обмоткой; б – ЭД с распределенной обмоткой

В результате численных расчетов получены результаты, представлены в табл. 2.

Сводная таблица результатов численного расчета двух ЭМ

Номер расчета		Расчет 1	Расчет 2
Параметр			
Количество полюсов/пазов статора, шт		28/30	28/84
Ток фазы, А		271	251
Индуктивность фазы общая по d/q осям, мкГн		22	18,2
Внутр. диаметр по магнитам, мм		245	215
Масса магнитов, кг		4,7	6,36
Масса магнитопровода ротора, кг		3,55	4,29
Масса магнитопровода статора, кг		6,14	9,94
Масса меди, кг		3,02	3,15
Масса (активная часть), кг		17,4	23,74
КПД на номинальном режиме, %		95,3	94,1
КПД на максимальном режиме, %		93,9	93,9
Температура на номинальном режиме, °С	Лобовые	73,5	89,7
	Активная часть обмотки	70,7	91,7
	Зубец	67	86,4
	Спинка статора	67	88,4
	Магниты	54,9	66,1

Как видно из табл. 2, изменение типа обмотки с зубцовой на распределенную увеличивает количество пазов в статоре с 30 до 84, что позитивно сказалось на уменьшении индуктивности по продольным и поперечным осям, что привело к уменьшению фазного тока. Негативной стороной использования распределенной обмотки является риск перенасыщения магнитопровода статора и ротора, вследствие чего пришлось увеличить их габарит, что привело к увеличению массы на 5 кг по сравнению с зубцовой обмоткой. Показатели КПД для ЭД с распределенной обмоткой также уступают показателям ЭД с зубцовой обмоткой, поэтому тепловыделение ЭД с распределенной обмоткой больше, чем тепловыделение ЭД с обмоткой зубцового типа, что подтверждается результатами теплового расчета в Motor-CAD. Результаты температурного расче-

та показывают большой запас по рабочим температурам до критических значений используемых материалов.

В результате проведенного численного расчета можно сделать вывод, что использовать зубцовую обмотку в конструкции разрабатываемого ЭД целесообразнее, чем использовать распределенную обмотку. В конечном итоге масса активной части у ЭМ с зубцовой обмоткой меньше, а эффективность выше.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gnadt A. R. et al. Technical and environmental assessment of all-electric 180-passenger commercial aircraft //Progress in Aerospace Sciences. – 2019. – Т. 105. – С. 1-30.
2. «Flightpath 2050: Europe's vision for aviation - report of the high level group on aviation research», European Commission, 2011 [Электронный ресурс]. – URL: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/doc/flightpath2050.pdf> (дата обращения: 15.09.2021г.).
3. Schäfer A. W. et al. Technological, economic and environmental prospects of all-electric aircraft //Nature Energy. – 2019. – Т. 4. – №. 2. – С. 160-166.
4. Lee J. G., Lim D. K. A Stepwise Optimal Design Applied to an Interior Permanent Magnet Synchronous Motor for Electric Vehicle Traction Applications //IEEE Access. – 2021. – Т. 9. – С. 115090-115099.
5. Kim S. H. Electric motor control: DC, AC, and BLDC motors. – Elsevier, 2017. – 428 с.
6. Kharlamov V. V., Popov D. I., Baysadykov M. F. Determination wear intensity of electrical brushes in DC machines considering impact of collector's surface //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2019. – Т. 1260. – №. 5. – С. 052009.
7. Копылов И.П. Проектирование электрических машин: Учебник для вузов. – Москва: Энергия, 1980. – 496 с.

## ОБРАБОТКА ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ

**Аннотация.** Персональные данные – любая информация, относящаяся к прямо или косвенно определенному или определяемому физическому лицу (субъекту персональных данных). Разглашение персональных данных человека без его согласия незаконно и влечет за собой ответственность в соответствии с трудовым, административным, а в случае умышленных действий — уголовным законодательством. Но как добиться неразглашения этих данных в условиях того, что все чаще и чаще мы предоставляем их различным компаниям и сервисам? Статья посвящена именно данному вопросу, а также вопросам, связанным с договором на обработку персональных данных.

**Ключевые слова:** персональные данные; договор на обработку персональных данных; ФЗ «О персональных данных»; Уфанет.

Обработка персональных данных – любое действие (операция) или совокупность действий (операций) с персональными данными, совершаемых с использованием средств автоматизации или без их использования, включая сбор, запись, систематизацию, накопление, хранение, уточнение (обновление, изменение), извлечение, использование, передачу (распространение, предоставление, доступ), обезличивание, блокирование, удаление, уничтожение персональных данных.

Автоматизированная обработка персональных данных – обработка персональных данных с помощью средств вычислительной техники;

Блокирование персональных данных – временное прекращение обработки персональных данных (за исключением случаев, если обработка необходима для уточнения персональных данных);

Уничтожение персональных данных – действия, в результате которых становится невозможным восстановить содержание персональных данных в информационной системе персональных данных и (или) в результате которых уничтожаются материальные носители персональных данных;

Обезличивание персональных данных – действия, в результате которых становится невозможным без использования дополнительной информации определить принадлежность персональных данных конкретному субъекту персональных данных;

Информационная система персональных данных – совокупность содержащихся в базах данных персональных данных и обеспечивающих их обработку информационных технологий и технических средств;

Обработка персональных данных должна соответствовать определенным целям, а обработка персональных данных, несовместимая с целями сбора персональных данных, не допускается.

Основополагающими началами обработки персональных данных являются заложенные в Законе о персональных данных принципы обработки персональных данных:

1. обработка персональных данных на законной и справедливой основе;
2. ограничение обработки персональных данных достижением конкретных, заранее определенных и законных целей;
3. недопустимость обработки персональных данных, несовместимой с целями сбора персональных данных;
4. обработка персональных данных, которые отвечают целям их обработки;
5. соответствие содержания и объема обрабатываемых персональных данных заявленным целям обработки;
6. исключение обработки персональных данных, являющихся избыточными по отношению к заявленным целям их обработки и др.

Рассмотрим данные принципы на примере договора на обработку персональных данных компании АО «Уфанет». Изучив договор, находим конкретные цели:

АО «Уфанет» осуществляет обработку персональных данных в целях:

– осуществления любых видов деятельности в соответствии с Уставом АО «Уфанет» и выданными АО «Уфанет» лицензиями;

- заключения, исполнения, расторжения с субъектами персональных данных любых договоров при осуществлении хозяйственной деятельности;
- обеспечения кадровой работы, выполнения требований трудового законодательства;
- ведения текущего бухгалтерского и налогового учета, формирования, изготовления и своевременной подачи бухгалтерской, налоговой и статистической отчетности;
- осуществления административно-хозяйственной деятельности;
- осуществление пропускного режима;
- осуществления и выполнения функций, полномочий и обязанностей, возложенных на АО «Уфанет» законодательством Российской Федерации;
- в иных законных целях.

Исходя из вышеописанных целей, обработка производится на справедливой основе. А как же законодательная база?

И тут можно найти ответ в договоре:

Обработка персональных данных осуществляется в соответствии со следующими федеральными законами, нормативными правовыми и локальными актами, документами:

- Конституцией Российской Федерации;
- Трудовым кодексом Российской Федерации;
- Гражданским кодексом Российской Федерации;
- Федеральным законом от 27.07.2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»;
- Федеральным законом от 07.07.2003 г. № 126-ФЗ «О Связи»;
- Постановлением Правительства Российской Федерации от 10.09.2007 г. № 575 «Об утверждении Правил оказания телематических услуг связи»;
- Постановлением Правительства Российской Федерации от 22.12.2006 г. № 785 «Об утверждении правил оказания услуг связи для целей телевизионного вещания и (или) радиовещания»;

– Постановлением Правительства Российской Федерации от 09.12.2014 г. № 1342 «О порядке оказания услуг телефонной связи»;

– Постановлением Правительства Российской Федерации от 23.01.2006 г. № 32 «Об утверждении правил оказания услуг связи по передаче данных»;

– иными нормативными правовыми актами Российской Федерации и нормативными документами уполномоченных органов государственной власти;

– Уставом АО «Уфанет»;

– договорами, заключаемыми между АО «Уфанет» и субъектами персональных данных;

– согласием субъектов персональных данных на обработку их персональных данных;

– Положением «Об обработке персональных данных в АО «Уфанет».

Цели описаны, что же с объемом обрабатываемых данных? Объем точно так же прописан в данном договоре:

Обработке подлежат персональные данные следующих субъектов персональных данных:

– работники АО «Уфанет», родственники работников, бывшие работники, кандидаты на замещение вакантных должностей;

– клиенты и контрагенты АО «Уфанет» (физические лица);

– представители/работники клиентов и контрагентов АО «Уфанет» (юридических лиц);

– акционеры АО «Уфанет»;

– другие субъекты персональных данных (для обеспечения реализации целей обработки)

Содержание и объем персональных данных, обрабатываемых в АО «Уфанет», определяется в соответствии с законодательством Российской Федерации и локальными нормативными актами АО «Уфанет» с учетом целей обработки персональных данных.



Обработка специальных категорий персональных данных, касающихся расовой принадлежности, политических взглядов, религиозных или философских убеждений, интимной жизни, в АО «Уфанет» не осуществляется.

АО «Уфанет» обрабатывает в соответствии с требованиями действующего законодательства биометрические персональные данные (фотография и видео изображение работников АО «Уфанет» и бывших работников АО «Уфанет», клиентов контрагентов АО «Уфанет», представителей/работников клиентов и контрагентов АО «Уфанет»).

Как мы видим, объем обрабатываемых данных вполне соответствует представлениям о компании-интернет провайдере.

Так же в условиях договора прописаны права и обязанности провайдера:

1. При сборе персональных данных АО «Уфанет» обязано предоставить субъекту персональных данных по его просьбе информацию, предусмотренную частью 7 статьи 14 Федерального закона «О персональных данных».

2. Если предоставление персональных данных является обязательным в соответствии с федеральным законом, АО «Уфанет» обязано разъяснить субъекту персональных данных юридические последствия отказа предоставить его персональные данные.

3. Если персональные данные получены не от субъекта персональных данных, АО «Уфанет», за исключением случаев, предусмотренных частью 4 ст. 18 Федерального закона «О персональных данных», до начала обработки таких персональных данных обязано предоставить субъекту персональных данных следующую информацию:

1) наименование либо фамилия, имя, отчество и адрес АО «Уфанет» или его представителя;

2) цель обработки персональных данных и ее правовое основание;

3) предполагаемые пользователи персональных данных;

4) установленные Федеральным законом «О персональных данных» права субъекта персональных данных;

5) источник получения персональных данных.

АО «Уфанет» вправе не предоставлять субъекту персональных данных сведения, предусмотренные частью 3 ст. 18 Федерального закона «О персональных данных», в случаях, если:

1) субъект персональных данных уведомлен об осуществлении обработки его персональных данных соответствующим оператором;

2) персональные данные получены оператором на основании федерального закона или в связи с исполнением договора, стороной которого либо выгодоприобретателем или поручителем, по которому является субъект персональных данных;

3) обработка персональных данных, разрешенных субъектом персональных данных для распространения, осуществляется с соблюдением запретов и условий, предусмотренных статьей 10.1 Федерального закона «О персональных данных»;

4) оператор осуществляет обработку персональных данных для статистических или иных исследовательских целей, для осуществления профессиональной деятельности журналиста либо научной, литературной или иной творческой деятельности, если при этом не нарушаются права и законные интересы субъекта персональных данных;

5) предоставление субъекту персональных данных сведений, предусмотренных частью 3 ст. 18 Федерального закона «О персональных данных» нарушает права и законные интересы третьих лиц.

Исходя из всего вышеперечисленного следует вывод, что рассмотренная компания соблюдает основные принципы в области обработки персональных данных, заранее обозначает правомерные цели, обрабатывает лишь необходимые данные и соблюдает законодательную базу.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 152 Федеральный закон «О персональных данных» от 27.07.2006.
2. Федеральный закон от 27.07.2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».
3. В.И. Аверченков. Защита персональных данных в организациях. 2016. 124 с.

УДК 621.3

А. Р. КАРИМОВ

*aidaron99@gmail.com*

Науч. руковод. – доц. А. Р. ВАЛЕЕВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **КАРТА РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН ПО ТОЛЩИНЕ СТЕНКИ ГОЛОЛЕДА**

**Аннотация.** В данной статье рассмотрено обледенение проводов линий электропередач, причины его возникновения, а также цели районирования территории по толщине стенки гололеда. Была составлена карта районирования территории Республики Башкортостан по толщине стенки гололеда.

**Ключевые слова:** гололед; обледенение; ЛЭП; климатическое районирование.

Большая доля устойчивых отключений воздушных линий (ВЛ) происходит из-за климатических воздействий: грозových перенапряжений, гололедных и ветровых нагрузок, паводков, наводнений и т.п., причем наиболее тяжелые последствия от технологических нарушений на линиях связаны с повышенными гололедными, ветровыми нагрузками и их совместным действием.

Гололедно-изморозевые отложения на провода являются одними из основных внешних механических нагрузок, оказывающие существенное воздействие на воздушные линии электропередач, а, следовательно, влияют и на их технико-экономические показатели. Так, в зависимости от значений толщины стенки гололеда стоимость строительства и эксплуатации воздушной линии электропередачи может возрасти в несколько раз. С другой стороны, недоучет нагрузок приведет к снижению надежности ВЛ в ходе ее эксплуатации, что неизбежно вызовет перебои и срывы в их функционировании и как следствие, увеличение затрат на ремонт и восстановительные работы.

В настоящее время обледенение проводов можно классифицировать по четырем группам:

1 группа – обледенения, возникающие в результате сублимации водяного пара. К ним относятся иней и кристаллическая изморозь;

2 группа – обледенения, возникающие в результате осаждения и замерзания переохлажденной воды. К ним относятся зернистая изморозь и гололед;

3 группа – обледенение, возникающее в результате отложения и замерзания мокрого снега;

4 группа – сложное отложение льда. К ней относятся зернистая изморозь на гололеде, гололед на зернистой изморози и ряд чередующихся слоев гололеда и изморози.

Согласно ПУЭ, определение расчетных условий по гололеду должно проводиться на основании карт климатического районирования, составленных по утвержденным методикам [1] с использованием многолетних наблюдений на метеостанциях за скоростью ветра, массой, размерами и видом гололедно-изморозевых отложений, а также опыта эксплуатации воздушных линий. При этом значение расчетных климатических нагрузок существенно зависит от принимаемых функций распределения нагрузок и периода повторяемости.

В результате анализа приземных и высотных синоптических карт в дни с гололедом выявлено, что большинство гололедов на территории РБ является фронтальными и связаны с теплыми фронтами, с фронтами окклюзий, а осенью и весной также с холодными фронтами. Повторяемость фронтальных гололедов составляет 84 %, внутримассовых – 16 % [2].

Изучение синоптических процессов в дни с гололедом показало, что гололед наблюдается при самых различных синоптических ситуациях, однако представилось возможным выделить наиболее типичные синоптические процессы. В основу типизации, как это делается в большинстве работ по гололедам, положены траектории циклонов. Выделено три основных типа синоптических процессов, условно называемых западный, южный и северо-западный.

Для выявления климатических особенностей гололедного режима в Республики были проанализированы следующие режимные характеристики: годовая частота (число случаев), повторяемость различного вида обледенения, а

также продолжительность: суммарные за год и максимальные годовые случаи обледенения.

Принцип высотной зависимости заключается в том, что увеличение отметки местности над уровнем моря, влечет за собой увеличение вероятности подверженности территорий гололедным отложениям. Впервые данный принцип был применен при разработке карты районирования Бугульмино-Белебеевской возвышенности ВНИИЭ в 1961 году после разрушительных гололедных аварий в 1955-1957 гг. в Аксаковском энергоузле. Эта часть Республики относилась ко второму расчетно-климатическому району по гололеду, в результате проведенных исследований на этой территории были выявлены III, IV и особые районы гололедности [3].

Районы климатических условий по гололеду (РКУ) в зависимости от абсолютных отметок местности и экспозиции склонов по Бугульмино-Белебеевской возвышенности приведены в таблице 1.

Таблица 1

Районы гололедности в зависимости от абсолютных отметок местности по Бугульминско-Белебеевской возвышенности

РКУ по гололеду	Экспозиция уклонов, абсолют. отм, м		
	Западные	Южные	Восточные и северные
II	до 150	до 100	до 150
III	до 200	до 200	до 250
IV	до 300	до 270	до 350
V-VI	>300	>270	>350

В зависимости от рельефа местности и его макро- и микроклиматических особенностей выделяют пять типов рельефа на территории Республики Башкортостан западнее 57° восточной долготы [4]:

Тип А – равнина. Плоская или пересеченная небольшими балками и оврагами местность с относительным превышением в отдельных случаях до 100 м (или медленным повышением);

Тип Б – возвышенность, подтип I и II – вершины и наветренный склон;

Тип Б – возвышенность, подтип IV – открытая долина;

Тип Б – возвышенность, подтип V – подветренный склон;

Тип Б – возвышенность, подтип VI – закрытая долина.

Построение карты районирования территории Республики Башкортостан по толщине стенки гололеда (далее карты районирования) всей территории Республики Башкортостан западнее  $57^{\circ}$  восточной долготы и восточнее  $57^{\circ}$  восточной долготы выполнялось на гипсометрической карте по изогипсовым линиям абсолютных отметок местности над уровнем моря. Карта приведена на рисунке 1.

Согласно требованиям ПУЭ районирование рассматриваемой территории Республики Башкортостан выполнено с 25-летней повторяемостью максимальных толщин стенок гололеда [1].

Основопологающей базой явились, как регламентировано «Руководящими указаниями ВНИИЭ по определению климатических параметров и нагрузок с разной обеспеченностью в зависимости от ответственности ВЛ» [5], исходные данные эксплуатации аварийных повреждений и гололедных отложений, зафиксированных на проводах и грозозащитных тросах воздушных линий ОАО «Башкирэнерго» с 1983 по 2020 год. На основе исходных данных была построена карта-схема образования гололеда на ВЛ. Одновременно учитывался опыт разработки всех предшествующих карт расчетных районов по гололеду Республики Башкортостан за вышеуказанный период.

В основу районирования положены две классические научные методики Научно-исследовательского института электроэнергетики (Филиал ОАО «НТЦ Электроэнергетики» – ВНИИЭ):

– принцип высотной зависимости абсолютных отметок местности над уровнем моря;

– применение при определении максимальных величин гололедных отложений законов предельных распределений (Первый предельный закон распределения максимальных нагрузок по Гумбелю, Второй предельный закон распределения максимальных нагрузок по Фишеру, Третий предельный закон распределения максимальных нагрузок по Лейбуллу).

**Карта районирования территории  
Республики Башкортостан  
по толщине стенки гололеда**

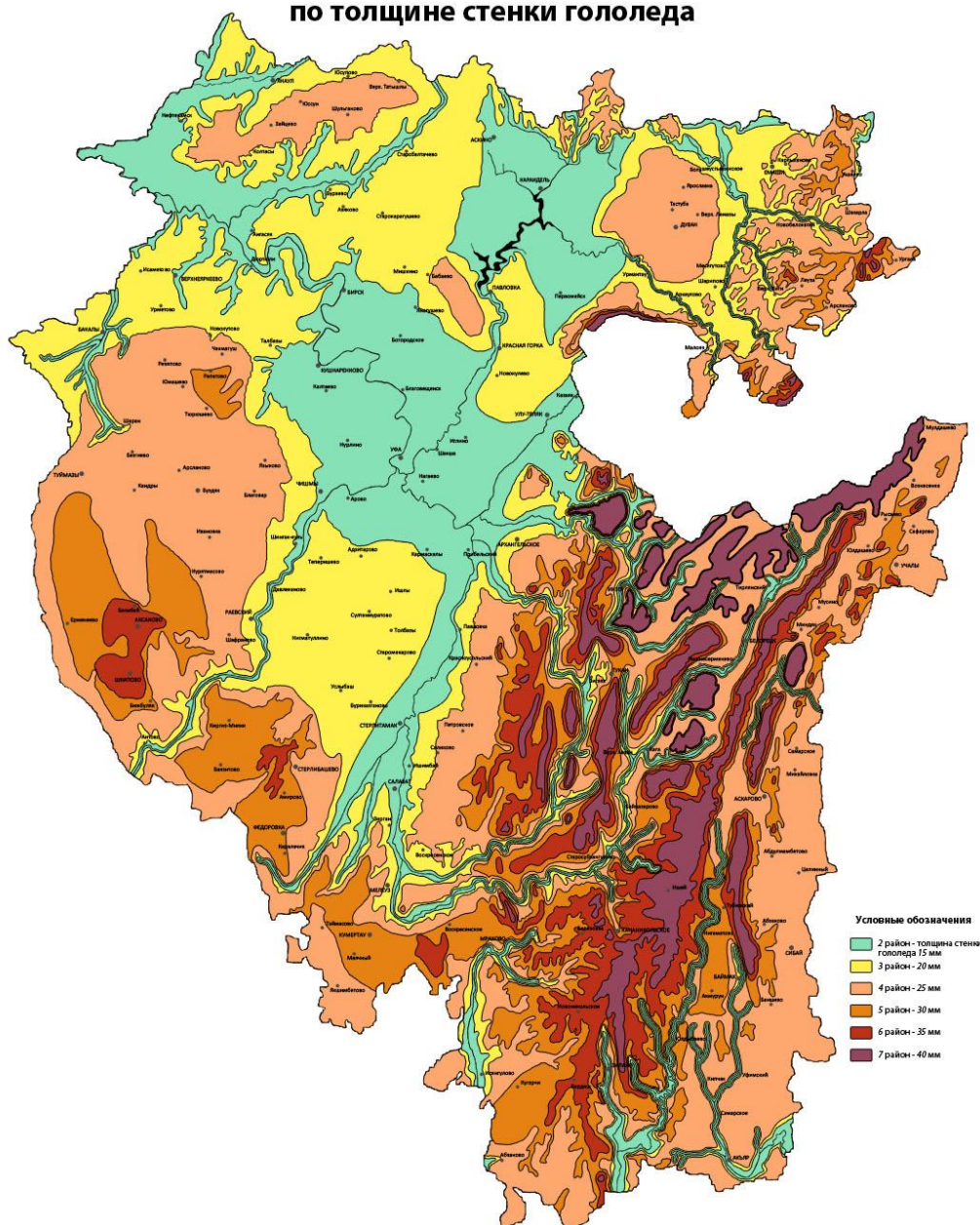


Рис. 1. Карта районирования территории Республики Башкортостан по толщине стенки гололеда

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Правила устройства электроустановок – М., НЦЭНАС, изд.7, 2003. – 692 с.
2. Данукалова И. Г., Синоптические условия образования гололеда на территории Башкирии, - Уфа, 1989.
3. Бургсдорф В.В.. Изучение и разработка расчетных климатических условий в районе Бугульмино-Белебеевской возвышенности – М.:1961.
4. Отчет «Разработка региональной карты расчетных гололедных нагрузок на воздушных линиях электропередачи на территории Башкирии». Уральская ГМС – Свердловск, 1989.
5. Руководящие указания ВНИИЭ по определению климатических параметров и нагрузок с разной обеспеченностью в зависимости от ответственности ВЛ.-М.: 2005.

А. А. КИНЯПИНА, Д. Ю. ПАШАЛИ

Kinyarina2017@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Д. Ю. ПАШАЛИ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯТОРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ И УВЛАЖНЕНИЯ

**Аннотация.** В статье проанализированы закономерности процесса возникновения и развития разрядных процессов по загрязненной и увлажненной поверхности изоляторов. Приведены соотношения для расчета влагоразрядных напряжений изоляторов.

**Ключевые слова:** оценка; изолятор; загрязнение; увлажнение; состояние; ток утечки; влагоразрядное напряжение.

Авторами рассмотрен опыт эксплуатации высоковольтной изоляции и варианты загрязнения ее поверхность в Республике Башкортостан. Сухие загрязнения обычно не приводят к снижению разрядных напряжений, т.к. имеют высокое сопротивление. При появлении туманов, морозящих дождей, росы загрязнения увлажняются, насыщаются до определенной величины, что является причиной снижения разрядных характеристик изоляторов [1]. На рис. 1. показаны зависимости аварий из-за повреждений изоляторов в зависимости от температуры и влажности воздуха. С точки зрения возможности возникновения перекрытий наиболее опасен тот период, когда влажность воздуха более 80%.

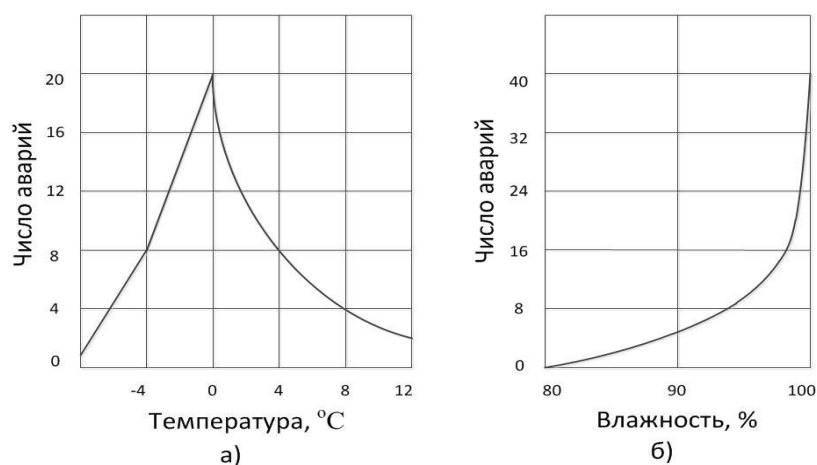


Рис. 1. Зависимость числа аварий от загрязнений и влажности воздуха:  
а – от температуры; б – от влажности воздуха



Авторами для оценки протекания и развития разряда рассмотрены механизмы перекрытия изолятора по загрязненной и увлажненной поверхности, при этом учтены реальные условия, в которых: к изолятору приложено длительное действующее напряжение; слой загрязнения увлажнен и ток утечки, проходящий через него вызывает нагрев изолятора. Загрязнение по поверхности изолятора распределено неравномерно, тогда плотность тока утечки по поверхности загрязнения и нагрев распределены неравномерно.

Распределение напряжения по поверхности изолятора меняется, так как на участках изолятора с наибольшей плотностью тока, происходит интенсивное испарение воды, что ведет к образованию подсушенных участков с повышенным сопротивлением. К подсушенным участкам будет приложено большее напряжение, результатом этого будет перекрытие их искровыми каналами. Это в свою очередь вызовет возрастание тока утечки, так как сопротивление искрового канала меньше сопротивления подсушенного участка поверхности изолятора. Ток утечки будет увеличиваться, что приведет дальнейшему подсушиванию слоя загрязнения и возрастанию сопротивления. Интенсивное подсушивание поверхности изолятора у концов его дуг приводит к их удлинению. В случае уменьшения тока утечки, происходит погасание дуг, в обратном случае частичные дуги удлиняются и ведут к перекрытию всего изолятора. Параметры и количество частичной дуги являются случайными событиями, поэтому перекрытие поверхности изолятора также случайное событие. С увеличением действующего напряжения, приводящего к росту тока утечки и удлинению частичных дуг, вероятность полного перекрытия изолятора возрастает. Влагоразрядные напряжения изоляторов в зависимости от токов утечки определяются соотношением

$$U_{вл} = I_y \frac{\rho L_y}{\pi \xi D}$$

где  $I_y$  – ток утечки по изолятору;  $\xi$  – толщина слоя загрязнения изолятора;  $D$  – диаметр гладкого цилиндрического изолятора;  $\rho$  – удельное объемное со-

противление;  $L_y$  – длина пути утечки. На рис. 2. показана зависимость, полученная при различных токах утечки.

Исследования проводились на подвесной гирлянде с ВЛ-110кВ. Тип изолятора ПФ-70. Количество элементов в гирлянде – 7 шт.

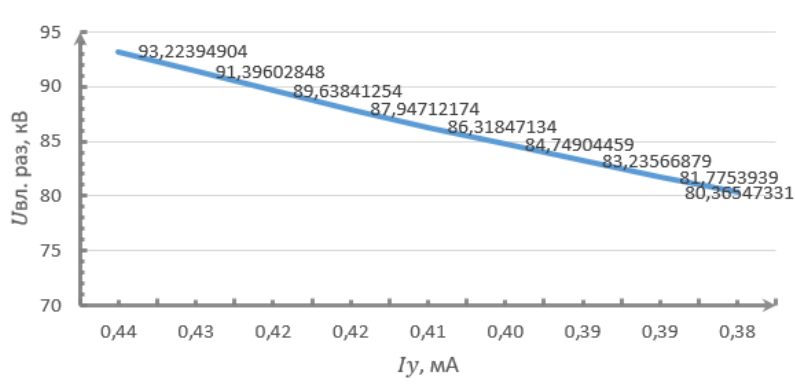


Рис. 2. Зависимость влагоразрядного напряжения от величины тока утечки

Таким образом, на влагоразрядное напряжение значительное влияние оказывают характеристика слоя загрязнения, его состав и количество, интенсивность и вид увлажнений. К числу мер, предотвращающих перекрытие по поверхности изоляторов, вследствие их загрязнения и увлажнения относят: увеличение длины пути утечки изоляторов и числа изоляторов в гирлянде; переход с открытых распределительных установок на закрытые; переход с воздушных линий на кабельные; непрерывное дождевание изоляторов слабыми струями воды; защитное покрытие изоляторов гидрофобной пастой один раз в полгода; периодическое определение интенсивности загрязнения путем измерения тока утечки на изоляторе под рабочим напряжением и его нормирование (устанавливается предельное значение тока утечки) и др.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Г.Н., Кравченко В.А., Губаев Р.С. Влияние геометрических размеров изоляторов на их электрическую прочность, в условиях естественного загрязнения. // Электротехника. 2015. №9. С.44-48.
2. Болатханулы Б.Д., Оржанова Ж.К. Влияние конфигурации подвесных изоляторов на электрическую прочность [Электронный ресурс] URL: [https://info.aues.kz/dissertations/2016/eef/esss/Annotation\\_AUES\\_Bolatkhanuly\\_3.pdf](https://info.aues.kz/dissertations/2016/eef/esss/Annotation_AUES_Bolatkhanuly_3.pdf) (дата обращения 15.08.2021).

УДК 004.01

А. Д. КИРИЛЛОВА

*kirillova.andm@gmail.com*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. В. И. ВАСИЛЬЕВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЕКТОРА АТАКИ В БАЗИСЕ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ КАРТ С УЧЕТОМ ОЦЕНОК CVSS**

**Аннотация.** Рассматривается моделирование сценариев сложных многошаговых целенаправленных кибератак. Для определения возможных сценариев реализации атаки используется Методика оценки угроз безопасности ФСТЭК России и шаблоны атак CAPEC. Вектор атаки представлен в виде графа атак с дальнейшей формализацией в виде иерархической нечеткой когнитивной карты для возможности кратного масштабного анализа. Проведен расчет количественной оценки локального относительного риска на основе уровней опасности уязвимостей с учетом контекстных метрик CVSS для автоматизированной системы управления технологическими процессами транспорта товарной нефти.

**Ключевые слова:** вектор кибератаки; сценарий; CAPEC; нечеткая когнитивная карта; оценка рисков; CVSS.

Сегодня при обеспечении кибербезопасности объектов промышленной инфраструктуры первостепенным является создание интеллектуальных средств защиты и проактивного мониторинга, позволяющих обнаруживать сложные целевые атаки на начальных этапах и оценить риски их реализации. Основным инструментом становится моделирование вектора атаки, что трудоемко без применения средств автоматизации и требует наличия высококвалифицированных специалистов. Предлагается автоматизировать процесс моделирования вектора атаки на основе формализованных мета-шаблонов в базисе нечетких когнитивных карт (НКК), что позволит в процессе анализа детализировать вектор атаки до необходимого уровня и получать количественную оценку риска, опираясь на скорректированные в зависимости от конфигурации системы значения уровней опасности уязвимостей CVSS.

Методика оценки угроз безопасности информации ФСТЭК России [1] рассматривает каждый инцидент кибербезопасности как набор последовательных действий злоумышленника в рамках некоторого сценария. Для определения всех возможных сценариев атаки используются тактики и техники, а также

информация из БДУ ФСТЭК и других баз данных компьютерных атак. БДУ ФСТЭК не имеет структурированной таксономии и не дает четкого понимания о том, как реализуется та или иная угроза. Поэтому дополнительно к Методике ФСТЭК для более полного рассмотрения всех возможных шагов злоумышленников предлагается использовать стандарт CAPEC [2], представляющий собой классификатор меташаблонов типовых атак, которые описывают используемые злоумышленником методы эксплуатации уязвимостей программного и аппаратного обеспечения инфраструктуры системы.

Сценарный подход к моделированию многошаговых кибератак с применением мета-шаблонов CAPEC рассмотрен в [3] на примере атак на автоматизированную систему управления технологическими процессами (АСУ ТП) транспорта товарной нефти (ТТН). Выделенный фрагмент базовой архитектуры АСУ ТП ТТН на рисунке 1.

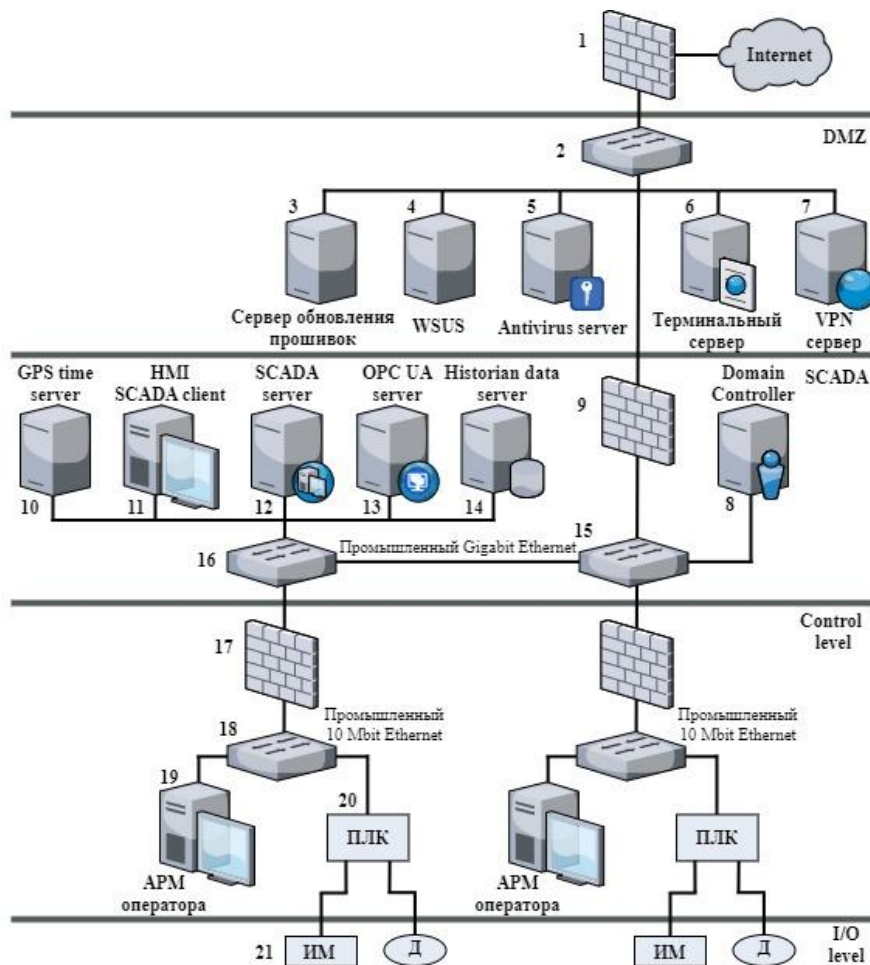


Рис. 1. Базовая архитектура АСУ ТП ТТН

На рисунке 2 граф атак построен на основе экспертного анализа архитектуры АСУ ТП ТН, БДУ ФСТЭК и базы CVE, и отражает ряд сценариев эксплуатации уязвимостей элементов базовой архитектуры внешним злоумышленником для реализации кибератак.

Номера узлов графа соответствуют номерам компонентов АСУ ТП на рисунке 1, ВЗ<sub>1</sub> – внешний злоумышленник, реализующий атаку на АСУ ТП, П<sub>I</sub> – отключение насоса, П<sub>II</sub> – нарушение целостности исторических данных, что ведет к искажению технико-экономических показателей системы баланса материальных потоков.

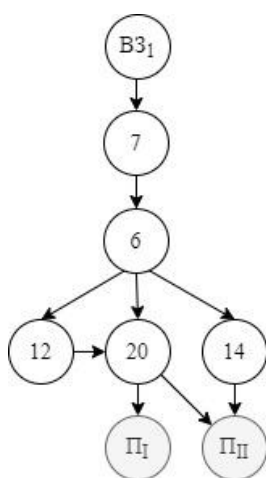


Рис. 2. Граф атак

Для более подробного описания шагов злоумышленника и автоматизации моделирования вектора атаки мета-шаблоны атак из базы CAPEC сопоставлены с основными тактиками из Методики ФСТЭК.

Далее проводится формализация графа атак в виде иерархической НКК, позволяющей анализировать векторы атак с требуемым уровнем детализации за счет механизмов декомпозиции и укрупнения [4, 5]. Наиболее детализированный уровень НКК отражает ряд действий злоумышленника на каждом этапе реализации атаки, что позволяет получить развернутую итоговую оценку риска.

Исходными данными для конструирования вектора атаки на основе мета-шаблонов являются результаты работы сканеров уязвимостей и базы данных угроз и уязвимостей, а также потенциальных слабостей программного и аппа-

ратного обеспечения. Набор показателей системы оценки уязвимостей CVSS и базы CVE и БДУ ФСТЭК позволяют формально описать уязвимость и сценарий ее эксплуатации, а также автоматизировать процесс построения цепочки возможных переходов внутри мета-шаблона.

В базах данных уязвимостей для каждой уязвимости определено значение уровня ее опасности на основе базовых метрик CVSS [6-8]. Однако для промышленных систем автоматизации базовые оценки могут не соответствовать реальной степени опасности последствий использования уязвимости. В случае АСУ ТП целесообразнее использовать контекстные метрики CVSS, т.е. принимать во внимание влияние уязвимости в среде функционирования программного обеспечения защищаемого объекта. При помощи контекстных метрик результирующая оценка позволяет уточнить представление о риске, который влечет за собой эксплуатация уязвимостей для конкретного предприятия.

Детализированная НКК, моделирующая множество сценариев атак внешнего злоумышленника на АСУ ТП ТТН, изображена на рисунке 3. Для оценки вероятностей переходов предлагается использовать соответствующие элементу мета-шаблона уязвимость и уровень ее опасности (оценка CVSS).

В результате развернута цепочка действий злоумышленника при реализации атаки на граничные элементы системы с последующими переходами к внутренним хостам сети, достижимость которых определяется из матрицы переходов графа физической и логической топологии сети с учетом наличия уязвимостей для реализации переходов между промежуточными узлами. Целевыми концептами являются хосты 14 и 20 базовой архитектуры АСУ ТП ТТН, соответствующие серверу промежуточного хранения исторических данных и ПЛК. Описанные ранее последствия реализации атаки соответствуют концептам  $C_{III}$  и  $C_{III}$ .

На рисунке 3 видно, что для уязвимостей, характерных только для промышленных систем, оценка опасности с применением контекстных метрик CVSS практически не изменилась, с учетом конфигурации рассматриваемой

архитектуры, критичность некоторых уязвимостей уменьшилась. Однако уязвимости элементов 6 и 7 (терминальный сервер и VPN сервер), характерные для информационных систем в целом, для промышленных систем оказались опаснее, чем заявлено в БДУ ФСТЭК и CVE на основании базовых метрик CVSS.

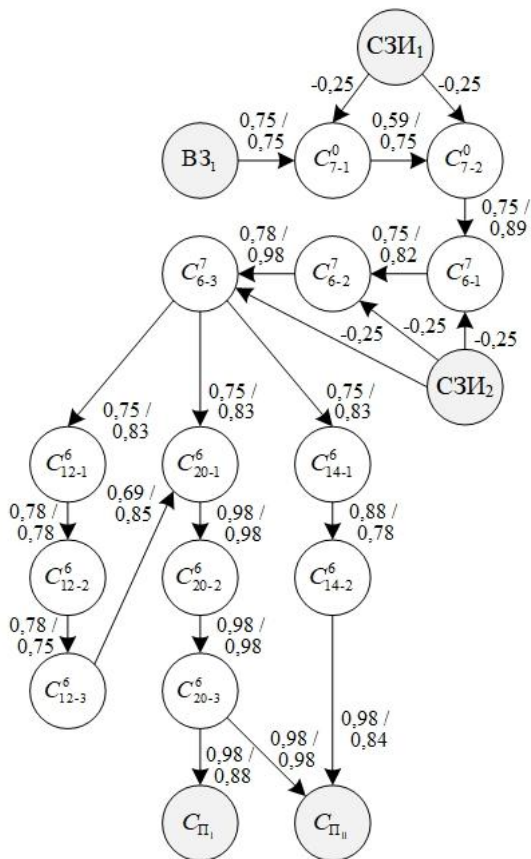


Рис. 3. НКК возможных сценариев атак на выделенные целевые концепты базовой архитектуры АСУ ТП (базовая оценка / контекстная оценка)

В таблице 1 приведены установившиеся значения показателей локальных относительных рисков, полученных на основе базовых метрик CVSS и показателей с учетом конфигураций ее базовой архитектуры и применения для их учета контекстных метрик CVSS. Таким образом, использование контекстных оценок CVSS показало, что эксплуатация выявленных на АСУ ТП уязвимостей может привести к значительным последствиям.

Рассматривается применение соответствующих дополнительных контрмер, предназначенных для организации защищенного удаленного доступа к ресурсам промышленной системы, а также способных своевременно обнаружить

и заблокировать атаки на промышленные сети, защитить от несанкционированного доступа и обеспечить соответствие требованиям законодательства.

Таблица 1

Значение целевых концептов с использованием значений оценок уязвимостей CVSS

	Отключение насоса ( $\Pi_I$ )	Нарушение целостности исторических данных ( $\Pi_{II}$ )
базовые метрики	0,1098	0,1813
контекстные метрики	0,1929	0,2946
с контрмерами	0,135	0,2072

Сценарное моделирование показало, что применение контрмер позволило снизить оценку локальных рисков на 30%.

### *Заключение*

Автоматизированное моделирование набора возможных атак позволяет получить информацию о слабых местах инфраструктуры, наиболее опасных уязвимостях и потенциальных слабостях компонентов системы, выявить наиболее успешные сценарии реализации атак и оценить их последствия для предприятия. Построение НКК для моделирования набора всех возможных атак и их сценариев реализации облегчает анализ защищенности, и позволяет на этапе архитектурного проектирования системы заложить основные средства и инструменты защиты, а также дает возможность выбирать требуемый уровень детализации вектора атаки, доводя решение до количественных оценок локального относительного риска, основываясь на оценках CVSS, скорректированных в соответствии с особенностями функционирования промышленной системы.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90078.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика оценки угроз безопасности информации. Методический документ ФСТЭК России от 5 февраля 2021 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://fstec.ru/component/attachments/download/2919> (дата обращения 27.09.2021).
2. CAPEC. Common Attack Pattern Enumeration and Classification. [Электронный ресурс]. URL: <https://capec.mitre.org/index.html> (дата обращения 27.09.2021).
3. Васильев В.И., Кириллова А.Д., Вульфен А.М. Когнитивное моделирование вектора кибератак на основе меташаблонов CAPEC // Вопросы кибербезопасности, 2021. №2(42). С. 2–16. DOI: 10.21681/2311-3456-2021-2-2-16



4. Васильев В.И., Вульфин А.М., Гузаиров М.Б., Картак В.М., Черняховская Л.Р. Оценка рисков кибербезопасности АСУ ТП промышленных объектов на основе вложенных нечетких когнитивных карт // Информационные технологии. 2020. Т. 26, № 4. С. 213–221.
5. Zhang, J.Y. Quotient FCMs—a decomposition theory for fuzzy cognitive maps // IEEE transactions on fuzzy systems. 2003. Vol. 11(5). P. 593–604.
6. Common Vulnerability Scoring System v3.0: Specification Document. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.first.org/cvss/v3.0/specification-document> (дата обращения 27.09.2021).
7. Spring J. et al. Time to Change the CVSS? // IEEE Security & Privacy. 2021. Vol. 19, № 2. С. 74–78.
8. Eduard Kovacs CVSS Scores Often Misleading for ICS Vulnerabilities: Experts // SecurityWeek, 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.securityweek.com/cvss-scores-often-misleading-ics-vulnerabilities-experts> (дата обращения 27.09.2021).

УДК 621.3

М. О. МАМБЕТОВА

*marina.mambetova.00.00@mail.ru*

Науч. руковод. – ст. преп. Т. Ю. ВОЛКОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ БАШКОРТОСТАНА ПО УСЛОВИЮ ПЛЯСКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НОВЫХ ЛЭП**

**Аннотация.** В данной статье рассмотрено такое явление, как пляска проводов линий электропередач, вред данного явления и причины его возникновения, а также цели районирования территории по условию пляски. Описан метод районирования территории по частоте повторяемости и интенсивности пляски проводов и тросов.

**Ключевые слова:** пляска проводов; ЛЭП; климатическое районирование; ветер; гололед.

Провода воздушных линий (ВЛ) электропередачи подвержены различным видам колебаний. Наиболее распространенными являются вибрация и пляска проводов (далее – пляска). Вибрация вызывается только ветром, а пляска – ветром в сочетании с гололедом. Пляска является одной из наиболее опасных разновидностей колебаний проводов ВЛ, вызываемых ветром при наличии на проводе гололеда.

Пляска является результатом воздействия на провод периодически изменяющейся подъемной силы, возникающей при его обтекании равномерным и поперечно направленным воздушным потоком скоростью от 6 до 25 м/с. Значения и направления подъемной силы и аэродинамического крутящего момента зависят от угла атаки воздушного потока по отношению к профилю гололеда. Как вертикальные, так и крутильные колебания провода вызывают изменение угла атаки, которые, синхронизируясь с одной из низших собственных частот провода в полете, является причиной развития пляски.

Известны случаи, когда пляска происходила и без гололеда, например, при косых ветрах, направленных под острым углом к трассе ВЛ, при сильных ливневых дождях, при возникновении короны и т.д. Однако, наиболее опасной и наиболее часто встречающейся является пляска с односторонним гололедом или изморозью при скорости ветра от 5 до 25 м/с с амплитудой от нескольких

метров до значений, равных стреле провеса. Поэтому борьба с пляской или снижением ее интенсивности до безопасного значения является в настоящее время одной из наиболее острых проблем на ВЛ.

Проблема пляски проводов и защиты линий от ее опасных последствий является одним из важнейших вопросов эксплуатации, проектирования и строительства воздушных линий электропередач. Целесообразно скорректировать районирование территории России по условию пляски, учитывая объективные данные о циклонах в приземном слое атмосферы, трехмерность порывов турбулентного ветра и увеличение действующей на провод ВЛ скорости ветра при осреднении его потока на полупериоде колебаний провода [1].

Определение районов по частоте повторяемости и интенсивности пляски проводов и тросов должно производиться на основании карт климатического районирования [2], составленных по утвержденным методикам с использованием многолетних наблюдений на метеостанциях за скоростью ветра, также опыта эксплуатации воздушных линий.

Определение максимальной ожидаемой амплитуды пляски одиночных проводов производится по методическим указаниям, разработанным Всесоюзным научно-исследовательским институтом электроэнергетики по районированию территорий энергосистем и трасс ВЛ по частоте повторяемости и интенсивности пляски проводов», РД 34.20.184-91 [3], согласно которым:

1. По степени активности пляски, климатическим и топографическим особенностям местности на территории энергосистем (по трассе ВЛ) выделяются районы (участки) в соответствии с таблицей 1. При выделении того или иного района пляски определяющее значение имеют эксплуатационные данные о частоте повторяемости пляски проводов ВЛ 35-750 кВ, накопленные за период 5, 10 и 15 лет.

2. При недостатке или отсутствии эксплуатационной информации о случаях пляски проводов, что характерно для труднодоступных районов, где проведение наблюдений пляски затруднено, а также для вновь осваиваемых

районов, выделение ожидаемых районов пляски производится на основании анализа многолетних наблюдений гидрометеослужбы, учета специфики местности, макро- и микрорельефа, по результатам экспертной оценки обобщенного фактора опасности пляски.

Таблица 1

Характеристики районов пляски

Район пляски	Параметры пляски по данным наблюдений на ВЛ 35-750 кВ		Климатические условия, топография местности экспертная оценка опасности пляски		
	Частота повторяемости пляски	Амплитуда пляски "пик-пик", м	Число дней в году с сочетанием ветра 6-20 м/с и гололеда (снега, изморози) толщиной 3-20 мм	Особенности рельефа и топографии местности	Обобщенный фактор опасности пляски
Район с умеренной пляской проводов	1 раз в 15 лет	До 1,5	1	Редкий или низкорослый лес, кустарник, невысокая или несплошная застройка	1-3
	1 раз в 10 лет	1,5-3	2	Ровная открытая местность	3-5
	1 раз в 5 лет	3-4	3		5-10
Район с частой и интенсивной пляской проводов	2 раза в 5 лет	4-6	5	Вершины холмов, гребни хребтов высотой до 1500 м, парящие в зимнее время естественные водоемы или пруды-охладители	10-50
	Более 2 раз в 5 лет	6-10	10 и более		50-90

На рисунке 1 приведена представленная в ПУЭ-7 [2] карта районирования территории РФ на два района по пляске: умеренная пляска проводов – частота повторяемости пляски 1 раз в 5 лет и менее; частая и интенсивная пляска проводов – частота повторяемости более 1 раза в 5 лет.

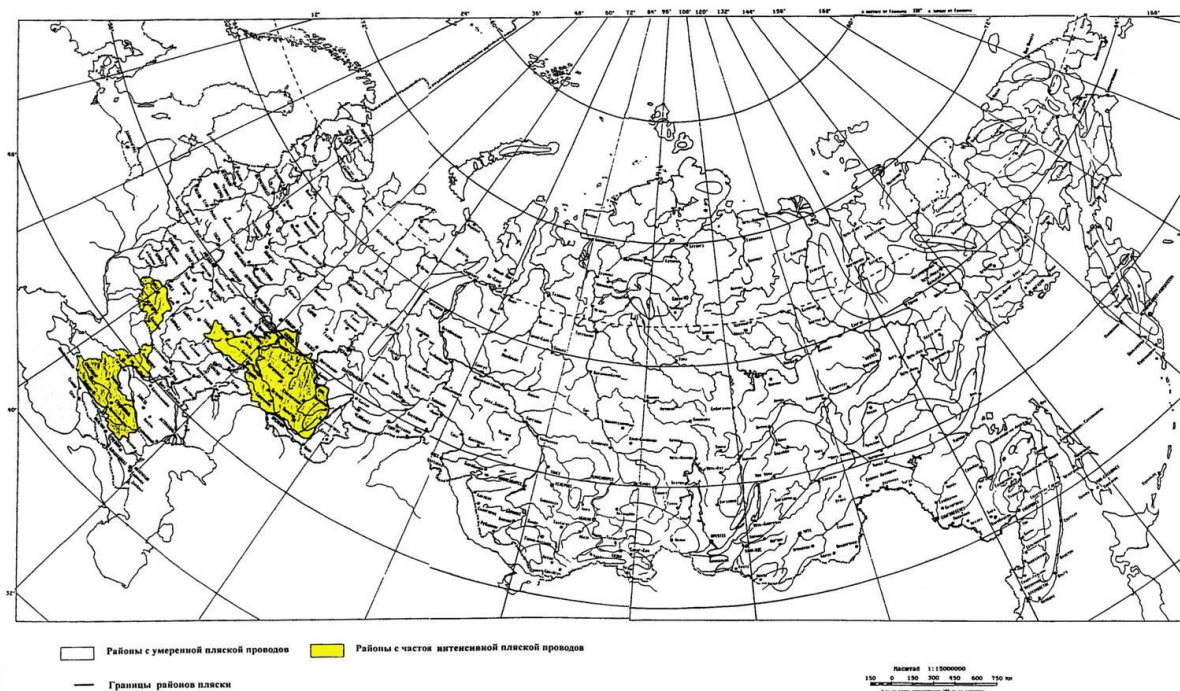


Рис. 1. Карта районирования территории РФ по пляске проводов

При составлении карты районирования территории Республики Башкортостан по пляске главным источником информации являются данные о случаях аварийного отключения линий из-за схлестывания проводов вследствие пляски на ВЛ 6-500 кВ за период с 1955 по 2020 г, локализация участков местности и трасс ВЛ, где интенсивная пляска повторяется неоднократно [3], а также опыт эксплуатирующих электросетевых предприятий.

Несовершенство на текущий момент существующих систем мониторинга за пляской проводов, и недостаток объективных данных о пляске указывают, с большой долей вероятности, на необходимость проверки электросетевых районов на факторы, оказывающие наиболее существенные влияния на частоту ее повторяемости и интенсивность, которые определяются экспертной оценки.

Обобщенный фактор опасности пляски количественно определяется путем перемножения величин отдельных факторов пляски

$$R = \prod_1^5 R_i, \quad (1)$$

где  $R$  – обобщенный фактор опасности пляски;  $\Pi$  – знак произведения значений пяти разных факторов;  $R_i$  – частные факторы опасности пляски: факторы ветровой активности  $R_1$ , гололедной опасности  $R_2$ , топографический  $R_3$ , конструктивный  $R_4$ , влияния расщепления фаз  $R_5$ .

В соответствии с вышеприведенными расчетами, данными эксплуатации и экспертной оценки, а также с учетом влияния климатических факторов, по гипсометрической карте была построена карта районирования территории Республики Башкортостан по частоте повторяемости и интенсивности пляски проводов ВЛ в соответствии с требованиями ПУЭ. Карта представлена на рисунке 2.

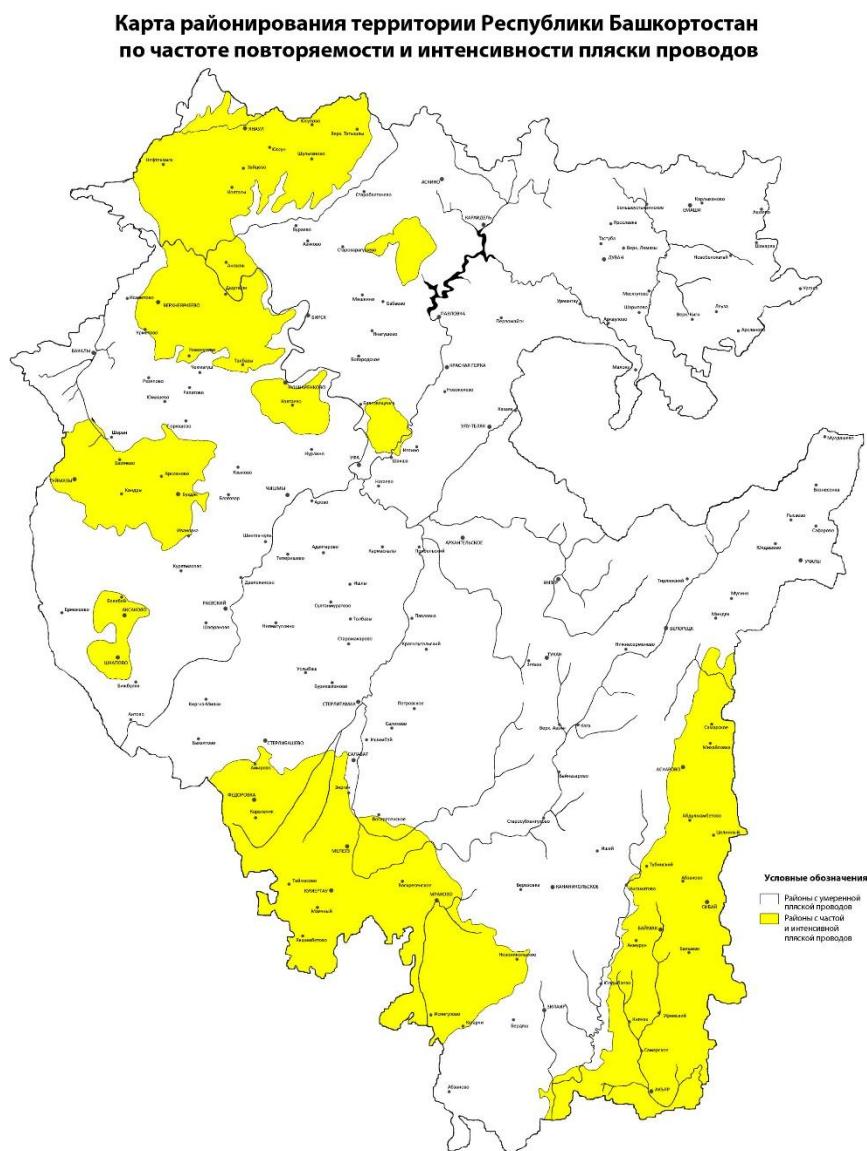


Рис. 2. Карта районирования территории Республики Башкортостан по частоте повторяемости и интенсивности пляски проводов ВЛ

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ржевский С.С. Мероприятия по защите ВЛ от пляски проводов в климатических условиях России // Электрические станции, №4, 2011. С. 33 – 39.
2. Правила устройства электроустановок – М., НЦЭНАС, изд.7, 2003. – 692 с.
3. Методические указания ВНИИЭ по районированию территорий энергосистем и трасс ВЛ по частоте повторяемости и интенсивности пляски проводов, РД 34.20.184-91.

УДК 621.31

А. С. НАГОРНОВ

*Nagornov.anton37@gmail.com*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Д. Ю. ПАШАЛИ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СЕКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ ПОТРЕБЛЕНИЯ**

*Аннотация.* В данной статье выполнен анализ общих вопросов секционирования распределительных сетей напряжением 110-220 кВ, представлена возможная методика выполнения расчетов.

*Ключевые слова:* секционирование; десекционирование; надежность; электроснабжения.

Отрасль электроэнергетики является одной из ключевых областей развития для национальной и мировой экономики, поэтому проблема надежности производства, передачи и потребления электроэнергии является наиболее важной. Стоит отметить, что по современным нормативно-техническим документам идет тенденция повышения надежной работы распределительных сетей.

В России по сравнению с другими странами СНГ наиболее часты случаи секционирования сетей высокого напряжения (110 – 220 кВ), под которым понимается вывод на подстанции в отключенное состояние некоторых высоковольтных секционных выключателей, с целью ограничения токов однофазного короткого замыкания [1].

Но в свою очередь такие меры ведут к: минимизации электрических связей, по которым происходит передача электроэнергии, увеличению общего эквивалентного сопротивления системы, что отрицательно влияет на надежность функционирования.

Таким образом ставится вопрос о последствиях секционирования сети высокого напряжения на надежность потребления, будут ли они иметь место на практике или нет [1].



Дать ответ можно лишь после ряда сложных схемных и режимных опытов, но можно ответить на вопросы теоретических последствий, которые помогут при определении методики практических опытов.

Десекционирование сети — это процесс обратный к секционированию, то есть наоборот включение на подстанции некоторых высоковольтных секционных выключателей. При десекционировании есть вероятность появления разрывов, поэтому десекционирование, как правило, объединяют с установкой устройств по ограничению тока, что в свою очередь ведет к изменению потоко-распределения на выбранном участке сети [1].

Можно отметить, что при десекционировании общая надежность сети увеличивается, но в случае, если количество секций более двух, то наиболее вероятно появление связей, шунтирующих сеть, со значительными проводимостями поперек линий электропередачи. Соответственно, часть транзитного перетока мощности будет проходить через распределительную сеть [2].

Таких проблем не имеют сети с секционированием, или десекционированные сети с установкой линейных регулировочных трансформаторов и автотрансформаторов, вводящих добавочную электродвижущую силу, идущую на регулирование напряжения.

В действительности, последствия при десекционировании напрямую зависят от вероятности образования шунтирующих связей с большими поперечными проводимостями, которые в свою очередь создают параллельные пути движения тока [3].

Для определения методики необходимо выбрать сеть, имеющую замкнутой характер, а также подстанции которой будут иметь секционирование с высокой стороны. Для этого, например, может подойти схема московского энергокольца, для которого необходимо рассмотреть сеть в ее номинальном режиме работы, максимальном режиме потребления зимних суток и минимальном режиме потребления летних суток. Выявить подверженность к перегрузкам по оборудованию и линиям электропередачи.

Необходимо определиться с конкретными схемно-режимными мероприятиями, предлагается выбрать различные вариации по секционированию и десекционированию на подстанциях с высшим напряжением 500 кВ, которые наиболее подвержены появлению разрывов при десекционировании [3].

Примерная методика может выглядеть следующим образом, указанная сеть имеет 10 подстанций, работающих в кольцевой сети, будем подвергать десекционированию шины с номинальным напряжением 110 кВ и шины с номинальным напряжением 220 кВ по отдельности на каждой подстанции и записывать результаты, в случае возникновения перегрузок, произведем одновременное десекционирование обеих секций шин, а также в конце произведем полное десекционирование всех секций шин всех подстанций.

Данная методика способна дать ряд расчетов, благодаря которым можно будет выявить первичный ряд закономерностей, по равномерности распределения нагрузки, причинах перегрузок, а также целесообразности секционирования или десекционирования подстанций на стороне высокого напряжения по отношению надежности потребления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Илюшин, П.В. Анализ секционирования сети напряжением 110 – 220 кВ [Текст] / П.В. Илюшин // Электроэнергия. – 2019. - №13. – С.50 – 57.
2. Гуревич, Ю.Е. Особенности расчетов режимов в энергорайонах с распределенной генерацией [Текст] / Ю.Е. Гуревич. – Нижний Новгород: НИУ РАНХиГС, 2018. – 280 с
3. Папков, Б.В. Оценки удельного ущерба нарушения электроснабжения промышленных предприятий [Текст] / Б.В. Папков. // Промышленная энергетика. – 1992, №3. – С. 29–32.

УДК 621.311

В. З. НАСЫРОВ

*nvz2010nvz@vadim83.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Н. Л. БАБИКОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ЦИФРОВЫЕ ПОДСТАНЦИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы практической реализации стандарта МЭК 61850. Рассмотрена ситуация с процессом цифровизации в электроэнергетике России. Показано, что техническое состояние основных энергетических объектов влияет на процессы массовой цифровизации в электроэнергетике. Для создания информационной модели цифровой подстанции направлено внимание на разработку объединенных методов унификации.

**Ключевые слова:** электроэнергетика; цифровая подстанция; техническое состояние; стандарт МЭК 61850.

Потребление электрической энергии в России увеличивается ежегодно, и соответственно, растет доля первичных энергетических ресурсов, используемых для ее выработки. Основу электроэнергетики нашей страны составляли и будут составлять существующие системы централизованного электроснабжения, базирующиеся как на крупных традиционных электростанциях (тепловых, атомных, гидроэлектростанциях), так и на солнечных и ветроэлектростанциях, функционирующих в составе электроэнергетических систем.

В соответствии с Энергетической стратегией Российской Федерации цифровая трансформация и интеллектуализация топливно–энергетического комплекса является одним из приоритетов развития энергетики страны на современном этапе [1].

Новые технологии распределенного производства электрической энергии, микрогенерации, управляемого потребления, виртуального агрегирования ресурсов создают принципиально новые условия для развития конкурентного розничного рынка электроэнергии [1].

В настоящее время множество дискуссий возникает по поводу введения новых технологий в электроэнергетике. Что такое новые технологии, как их внедрять при недостаточном финансировании, это лишь малая часть вопросов,

которые актуальны сегодня. При этом, большое внимание уделяется цифровым подстанциям. Термин «цифровая подстанция» неоднозначно трактуется. В общем понимании это – подстанция, оснащенная информационно-технологическими и управляющими системами, которая производит обмен информационными потоками между элементами подстанции, параметры информационного обмена в которой задаются моделями данных, сервисами и протоколами в соответствии с серией стандартов МЭК 61850 [2].

Цифровые технологии в последние годы проникают во все сферы человеческой деятельности. Электроэнергетика обладает рядом особенностей, определяющих исключительно важную роль цифровых технологий не только для выполнения расчетов, но и для использования непосредственно в контуре управления режимами энергосистемы и отдельных ее составляющих. К числу таких особенностей, как известно, относятся большая протяженность энергосистемы при мгновенной связи режимных параметров во всех ее частях, чрезвычайное разнообразие схемно-режимных и возможных аварийных ситуаций при быстротечности многих переходных процессов и др. Все это определило стремление электроэнергетиков максимально использовать для своих целей первые же появившиеся компьютеры и другие цифровые устройства. С небольшим сдвигом по времени относительно использования в электроэнергетике ЭВМ элементы цифровой техники стали появляться в различных устройствах защиты, автоматики и регулирования. К концу семидесятых – началу восьмидесятых годов появились первые цифровые информационно-управляющие системы на уровне крупных энергообъектов и энергосистем (АСУ, АСДУ), а также ЦСПА – централизованная система противоаварийной автоматики.

На современном этапе существует несколько направлений использования цифровой техники:

- расчеты режимов при проектировании и эксплуатации энергосистемы;
- использование цифровых устройств релейной защиты, автоматики, регулирования, комплексных цифровых устройств;

- система измерений и телекоммуникаций;
- отслеживание текущего режима и формирование совета диспетчеру по ведению режима;
- использование цифровой техники в контуре автоматического управления энергосистемой.

По всем этим направлениям идет интенсивный процесс совершенствования и увеличения объема внедрения цифровых средств в энергосистемах. На рис. 1 показана эволюция внедрения цифровой техники в технологическую деятельность электроэнергетических предприятий.

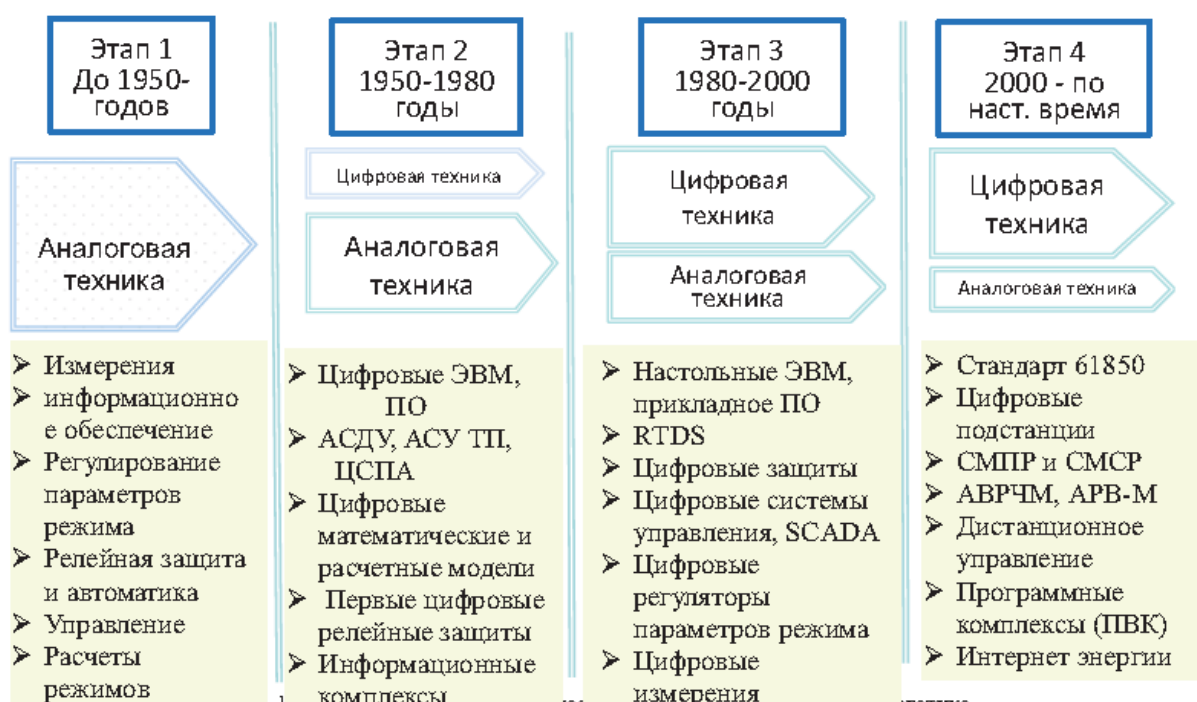


Рис. 1 Эволюция внедрения цифровой техники в технологическую деятельность электроэнергетических предприятий [3]

В настоящее время имеются отечественные вычислительные программы (*RusTab*, ДАКАР, *VMAFS*, ПВК АРУ РЗА и др.) для расчета режимов и устойчивости энергосистем, расчета параметров оборудования, исследования электромагнитных переходных процессов с оценкой перенапряжений, токов короткого замыкания, исследования волновых процессов и др. [4]. Основные направления совершенствования программ – снижение расчетного времени при мак-

симальной детализации исходных параметров и возрастании сложности расчетной схемы.

Начавшаяся более двадцати лет назад цифровая трансформация в электроэнергетике стала причиной появления первых микропроцессорных блоков релейной защиты и автоматики (МП РЗА), что позволило интегрировать их в автоматизированную систему управления технологическими процессами (АСУ ТП) по цифровым каналам связи. Затем появился термин «цифровая подстанция», у которого не было четкого определения, было лишь представление о том, что, если на подстанции установлены МП РЗА и АСУ ТП, то она относится к цифровым.

В дальнейшем термин «цифровая подстанция» (ЦПС) начал получать более конкретную форму. А с 2018 года цифровая подстанция обрела новое понимание. Под этим термином стали подразумевать подстанцию электроэнергетической системы с высоким уровнем автоматизации, в которой процессы информационного обмена между ее элементами, а также управление ее работой осуществляются в цифровом виде на основе стандартов серии МЭК 61850. Ключевым отличием данного определения от определения 2011 года является наличие в основе технологии построения ЦПС международного стандарта МЭК 61850, который детально описывает реализацию таких подстанций.

Международные стандарты серии МЭК 61850 определили, какими именно функциями должна обладать подстанция нового поколения. Согласно этим стандартам, неотъемлемой частью ЦПС являются следующие компоненты:

- передача данных между терминалами РЗА и контроллерами АСУ ТП в цифровой форме;
- телеуправление выключателями и всеми коммутационными аппаратами;
- системы, использующие синхронизированные векторные измерения (СВИ);

- системы мониторинга технического состояния оборудования подстанции;
- система контроля качества электроэнергии;
- традиционные измерительные трансформаторы в комплексе с преобразователями аналоговых сигналов (ПАС), переход на оптические измерительные трансформаторы;
- системы кибербезопасности.

По перечисленным выше компонентам видно, что на ЦПС должны быть организованы обмен, сбор, хранение и защита информации в цифровой форме [5]. Это, в свою очередь, означает, что все устройства, связанные с данными функциями, должны быть выполнены на МП-базе, а связь между ними должна быть выполнена посредством цифровых сигналов.

Помимо этого, МЭК описывает три уровня управления и обмена информацией: уровень первичного оборудования (силовые трансформаторы, выключатели, разъединители и др.), уровень присоединения (терминалы МП РЗА) и стационарный уровень (АСУ ТП). Все эти уровни подразумевают использование только цифровых сигналов, и для каждого из них описан свой протокол (SV, MMS, GOOSE). Это значит, что протокол МЭК 61850 не просто перечисляет компоненты ЦПС, но и описывает архитектуру их взаимодействия, что позволяет получить более точные представления о рассматриваемой системе. Такая стандартизация должна позволить в будущем существенно сократить расходы на проектирование, пусконаладку, эксплуатацию и обслуживание энергетических объектов.

Из перечисленного выше видно, что ЦПС отличается от подстанций старого поколения вторичными цепями, которые подразумевают использование только цифровых сигналов, для передачи которых предлагается использовать волоконно-оптический кабель. Такое изменение во вторичных цепях подстанции в теории позволит уменьшить количество медных кабельных связей, ис-

ключить появление дополнительных погрешностей и повысить электромагнитную совместимость применяемого оборудования [6].

Реализация стоящих перед российской электроэнергетикой задач может быть эффективно осуществлена эволюционным путем с применением инновационных, прорывных технологий и решений, в том числе посредством полного перехода к цифровым сетям, цифровым подстанциям и цифровому управлению компанией. Кроме того, решение данных задач откроет возможности предоставления новых сервисов, таких как формирование тарифного меню, подключение малой распределенной генерации, создание инфраструктуры для электрозаправок и т.д.

Цифровая трансформация позволит повысить энергетическую безопасность регионов страны путем создания новых инфраструктурных возможностей и обеспечить новый уровень качества жизни населения благодаря новым стандартам обслуживания [7].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Собрание законодательства Российской Федерации [Electronic resource]. URL: <http://www.szrf.ru/szrf/doc.phtml?nb=100&issid=1002020024000&docid=110> (accessed: 09.08.2021).
2. Гусева Е. В цифровых подстанциях мы видим огромный потенциал // В Цифровых Подстанциях Мы Видим Огромный Потенциал. 2016. № №1(34). Р. 6–9.
3. Ерохин П.М., Куликов Ю.А. Цифровая платформа электроэнергетики России. Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2019. Р. 26–31.
4. Аюев Б.И. Верификация цифровых моделей ЕЭС/ОЭС // Электричество. Национальный исследовательский университет “МЭИ,” 2008. № 5.
5. Могиленко А.В. Энергоэффективность в энергетических рейтингах: применяемые критерии // Энергобезопасность И Энергосбережение. Московский институт энергобезопасности и энергосбережения, 2018. № 5.
6. Лобов Б.Н., Лызарь И.О., Левчук В.Э. Понятие “Цифровая Подстанция” // Молодой Исследователь Дона. Донской государственной технической университет, 2020. № 3 (24).
7. Маякова А.В. Цифровая трансформация современного менеджмента качества // Економічний Часопис-Ххі. Інститут громадської трансформації, 2019. № 11–12.



УДК 621.365.5

А. А. НИКАНДРОВ, А. С. ГОРБУНОВ

*artjom-nikandrov2013@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. А. С. ГОРБУНОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ И ТИПОВ ИНДУКЦИОННЫХ УСТАНОВОК

**Аннотация.** В статье рассмотрены области применения индукционного нагрева деталей для различных целей: закалка, плавка, цинкование, силицирование и др., в том числе с применением добавочных проводящих сред (концентраторов), используемых для создания магнитных полей с заданным распределением, усиления поля в требуемой зоне, а также для повышения эффективности работы индукционных установок.

**Ключевые слова:** индукционный нагрев; индуктор; магнитное поле; концентратор.

Индукционная установка – это оборудование, предназначенное для высокотемпературного воздействия на проводящие электрическую энергию материалы в целях выполнения того или иного вида обработки. На сегодняшний день индукционные установки нашли для себя широкое применение в сфере металлургической промышленности, хотя могут быть использованы также и в других областях промышленной сферы [1].

В промышленности индукционный нагрев находит широкое применение также и для обработки диэлектрических материалов. В последнем случае используется косвенный индукционный нагрев, когда сначала индукционным способом нагревается металлический контейнер, в котором размещены диэлектрические детали, после чего за счет теплопроводности производится требуемый нагрев деталей.

К областям применения индукционного нагрева можно отнести следующие:

1. Индукционная закалка поверхностей металлических деталей различной конфигурации, например, участков валов, рабочих поверхностей металлических катков (рис. 1) [2].

2. Нагрев деталей или их отдельных участков для механической обработки:ковки, штамповки, гибки, развальцовки и т.д.
3. Индукционная плавка металлов в тигле (рис. 2) [3].
4. Производство труб.
5. Индукционный обогрев нефтепроводов.
6. Индукционный нагрев в установках для силицирования металлических деталей с целью повышения их коррозионной стойкости.
7. Термодиффузионное цинкование металлических деталей в электромагнитном поле (рис. 3).



Рис. 1. Процесс заковки рабочей поверхности катка (колеса)

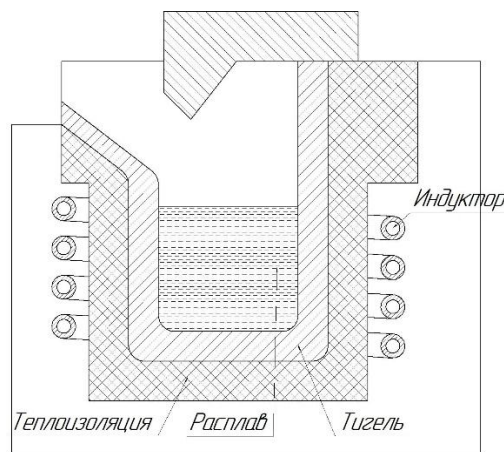


Рис. 2. Схема индукционной тигельной печи для плавки металлов

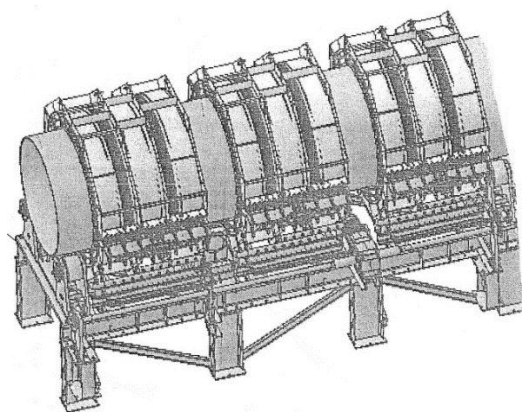


Рис. 3. Конструкция индукционной установки для термодиффузионного цинкования

В установках для силицирования металлических деталей в вакуумных печах с применением индукционного нагрева используется специальный кожух с системой откачки воздуха из внутреннего объема, графитовый электропроводящий тигель с расположенными внутри него деталями, пористая графитовая чаша, содержащая кремний. При работе установки кремний плавится и пропитывает обрабатываемые детали. Для отвода выделяющихся в процессе работы установки летучих газов предусмотрена трубка в графитовой крышке тигля [4].

В индукционных установках широко используются концентраторы магнитного потока, которые предназначены для следующих целей:

1. Получение требуемого распределения магнитного поля индуктора в области нагреваемых деталей.
2. Усиление магнитного поля в требуемой зоне на поверхности детали, подвергаемой нагреву.
3. Повышение эффективности работы индукционных установок в целом.

В зависимости от применяемой частоты тока, рассматриваемые индукционные устройства можно разделить на установки высокой частоты, средней частоты и промышленной частоты. Как известно, глубина проникновения тока в материал детали определяется по формуле [5]:

$$\Delta = \sqrt{\frac{2 \cdot \rho}{\omega \cdot \mu_0 \cdot \mu}}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление материала детали, Ом·м;  $\omega$  – угловая частота поля индуктора, рад/с;  $\mu_0$  – магнитная постоянная, Гн/м;  $\mu$  – относительная магнитная проницаемость материала детали.

Таким образом, с ростом частоты тока (и поля) индуктора падает глубина проникновения поля в материал детали. Поэтому установки высокой частоты (десятки кГц и выше) применяются для нагрева малогабаритных деталей, например, медицинских приспособлений, а также закалки поверхностей металлических деталей, когда не нужен и даже вреден сквозной нагрев материала. В свою очередь, установки для частоты 50 Гц, как, например, показанная на рис. 3, используются для обработки крупногабаритных деталей, в том числе для их сквозного нагрева. Устройство по рис. 3 предназначено для термодиффузионного цинкования крупногабаритных длинномерных деталей, например гребных валов, которые помещаются в специальный герметично закрываемый металлический цилиндр с засыпанным внутрь него цинковым порошком. За счет промышленной частоты обеспечивается эффективное проникновение поля внутрь цилиндра к деталям. При нагреве загрузки и взаимодействия ее поверхности с цинковым порошком при одновременном вращении внешнего цилиндра обеспечивается эффективное нанесение на детали цинковых покрытий высокого качества с требуемой толщиной [6].

Индукционный нагрев с применением концентраторов используется в установках испарителей (рис. 4) [7].



Рис. 4. Индуктор с тиглем для установки индукционного испарителя

Внутри показанного на рис. 4 индуктора размещен концентратор в виде разрезного полого цилиндра, внутри которого размещен тигель с нагреваемым и расплавляемым материалом. Такая установка обеспечивает получение расплавов материалов с их испарением. Над тиглем размещается подложка, на которой в результате работы установки получают тонкие пленки или покрытия из необходимого материала. Такие технологические процессы используются для изделий, применяемых в оптических приборах или электронной технике.

Индукционный нагрев не ограничивается указанными областями и данный способ нагрева может применяться при практически всех технологических процессах, связанных с предварительным нагревом деталей с последующей их обработкой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Индукционная установка – классификация и область применения. URL: <https://элсит.рф/статьи/индукционная-установка-классификация-и-область-применения> (дата обращения 20.09.2021)
2. Горбунов А.С., Рогинская Л.Э., Таназлы И.Н. Расчет индукторов и экспериментальное исследование индукционных установок с согласующими трансформаторами // Вестник Чувашского университета. 2015. № 3. С. 26-39.
3. Roginskaya L. [et al.] Features of the calculation of inductors for heating cylindrical surfaces with an additional conductive medium with a slot // 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). 2020. P. 1-7.
4. Рогинская Л.Э., Горбунов А.С., Шило Д.В., Породинский И.А., Таназлы И.Н. Некоторые вопросы структурного и параметрического синтеза системы "Индуктор - нагреваемое тело" для технологии силицирования графитовых изделий // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2018. Т. 14. № 3. С. 12-21.
5. Элементы индукционных установок / А. К. Белкин и др.; под ред. Ю. М. Гусева. М.: Энергоатомиздат, 2007. 140 с.
6. Пат. 2533400 Российская Федерация, МПК С 23 С 10/36. Способ нанесения цинкового покрытия и установка для его осуществления / Кубанцев В.И., Трачевский М.Л., Пущанский В.В., Брунова М.Ф.; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербург, МИНПРОМТОРГ РОССИИ. № 2012145441/02; заявл. 26.10.2012; опубл. 20.11.2014, Бюл. № 32.
7. Kuzmichev A., Tsybulsky L. Evaporators with Induction Heating and Their Applications. In: Advances in Induction and Microwave Heating of Mineral and Organic Materials / Ed. by S. Grundas. Rijeka: IntechOpen, 2011. P. 269-301.

УДК 621.31

Д. В. РЯЗАНОВ

*Ryazanovdenis2002@gmail.com*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Н. Л. БАБИКОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**Аннотация.** Рассмотрены виды энергии, используемые в ЛА. Показана востребованность электрической энергии при работе различных систем.

**Ключевые слова:** электроэнергетические системы; летательные аппараты; электрическая энергия.

Летательные аппараты (далее ЛА) используют различные виды энергии для выполнения своих функций. При этом важно знать, что электрическая энергия является наиболее востребованной, т.к. она может трансформироваться в любые энергии и обеспечивать безопасность и надежность работы электрооборудования ЛА.

При работе бортового оборудования летательных аппаратов потребляются различные виды энергии — гидравлическая, пневматическая, механическая, электрическая и др.

На самолетах основными потребителями гидравлической энергии являются гидроусилители, рулевые приводы, рулевые машинки, уборки и выпуска шасси, выдвижения топливоприемной рампы и т.п. На авиационных ЛА масса гидравлического оборудования составляет 1-1,5% взлетной массы для тяжелых, 2-3% для легких и 1-2% для вертолетов. Установочная мощность этого оборудования в зависимости от типа ЛА составляет 0,75 кВт-2МВт, давление 7-28мМПа, объем рабочей жидкости 6-850л, длина трубопроводов 40-5000м, рабочий диапазон температуры от -60 до 180°С. На ракетах и дистанционно-пилотируемых летательных аппаратах большой размерности, так же, как и на самолетах гидравлическая энергия может использоваться в приводах поворот-

ных крыльев, поворотной камеры жидкостного ракетного двигателя, системах питания маршевых и корректирующих двигательных установок.

Пневматическая энергия — это энергия сжатого воздуха. Основные потребители этого вида энергии: компрессоры, баллоны, редукторы, фильтры, воздухопроводы и др. Рабочим телом пневмосистемы может быть азот высокого давления, сжатый воздух, а также газ, образующийся в результате сгорания твердого или жидкого топлива. Источником пневматической энергии на ракете и КА является газобаллонные системы и газогенераторы — энергетические установки, вырабатывающие сжатый газ и регулирующие его количество расход и давление. Энергия сжатого воздуха применяется для приведения в действие турбин, вращающих электрические генераторы и гидронасосы; раскрутки турбонасосных агрегатов при запуске ЖРД; питания гидросистем на горячем газе и т.п.

Механическая энергия измеряется той работой, которую совершают механизмы и агрегаты систем ЛА при передаче механического движения от одних элементов систем к другим или при изменении своего положения в пространстве. Примером применения на ЛА могут служить механические системы управления полетом, к которым относятся системы управления аэродинамическими поверхностями, шасси, тормозами и т.п. элементами этих систем являются различные командные рычаги управления, механические передающие органы, исполнительные органы. На ряде ЛА применяются также системы, в которых используется энергия взрыва, потенциальная энергия натяжения пружин, сжатого воздуха, кинетическая энергия раскрученного маховика, набегающего потока воздуха.

Важную роль на борту ЛА играют *пироэнергосистемы*, включающие в себя элементы пироавтоматики, средства воспламенения топлива в жидкостных и твердотопливных ракетных двигателях, инфракрасные излучатели и др.

Наряду с перечисленными видами энергии наиболее универсальной является электрическая энергия. Она легко генерируется, аккумулируется, усилива-

ется, а ее расход поддается регулировке. Наиболее характерными особенностями электроэнергии является ее легкость преобразования в другие виды энергии.

В авиации используется энергетическое оборудование для обеспечения работоспособности основных функциональных систем ЛА, силовой установки и бортового оборудования различающихся по принципу действия. При этом следует учитывать, что потребление энергии однотипными системами различно в зависимости от назначения ЛА.

Типовое бортовое оборудование ЛА имеет разное функциональное назначение, однако состав входящих в него потребляющих электроэнергию элементов достаточно однородный. Исходя из этого, нагрузочное оборудование систем ЛА можно разбить на следующие сходные по выполняемым функциям и устройству группы:

- Устройства дискретной электроники;
- Устройства аналоговой электроники;
- Электродвигатели и электромашинные преобразователи;
- Электромагнитное оборудование;
- Устройства освещения и индикации;
- Нагревательные и терморегулирующие устройства.

Основным назначением устройств *дискретной электроники* является передача информации о состоянии логического элемента. Из условий большей экономии энергии большинство современных дискретных элементов, интегральных схем или больших интегральных схем работает при напряжении  $\pm 5\text{В}$ . Потребление электроэнергии по данному номиналу достигает 80-90% общего потребления ЦВМ. Остальные 10-15% энергопотребления при напряжении  $\pm 15\text{В}$  идут на питание запоминающих устройств.

К устройствам *аналоговой электроники* относятся все виды операционных усилителей, приемопередающие устройства, элементы автоматики и т.п. Усилительные элементы при этом работают в линейном режиме. Для аналоговых устройств необходимо значительно большее количество номиналов напря-



жения, поэтому обязательным их компонентом является преобразовать для согласования уровней напряжения.

Авиационные *электродвигатели* используются как самостоятельные исполнительные устройства для приведения в действие различных агрегатов и механизмов, так и в качестве вспомогательных устройств. Современный самолет имеет более ста различных электроприводных устройств с использованием электродвигателей и электромагнитов мощностью от единиц ватт до единиц и десятков киловатт.

В авиационных приводах используются электродвигатели постоянного и переменного тока — двухфазные и трехфазные асинхронные электромеханические преобразователи. Электропривод работает от бортсети постоянного тока напряжением 27В и переменного тока напряжением 200/115В стабилизированной частоты 400Гц.

*Система электроснабжения* вырабатывает электроэнергию необходимых параметров и качества, а также обеспечивает ее передачу и распределение потребителям. Система электроснабжения состоит из системы генерирования и системы передач и распределения электроэнергии.

Система генерирования представляет собой совокупность устройств, обеспечивающих производство электрической энергии и поддержание ее характеристик в заданных пределах в точках регулирования при всех режимах работы.

В состав систем генерирования в разных сочетаниях входят:

- Источники электроэнергии;
- Преобразователи электроэнергии;
- Устройства, осуществляющие управление. Регулирующие и защиту источников и преобразователей;
- Устройства, обеспечивающие параллельную работу источников;
- Аппараты встроенного контроля и диагностики.

Комплекс устройств, передающих электроэнергию от устройств и преобразователей к распределительным устройствам и от них к потребителям, называется системой *передачи и распределения* электроэнергии.

Система включает в свой состав следующие элементы:

- Провода;
- Аппараты управления, защиты и коммутации;
- Контрольно-измерительные устройства;
- Монтажно-установочное оборудование;
- Устройства, предназначенные для уменьшения помех.

Особое место в системе электроснабжения занимают накопители энергии – устройства, позволяющие накапливать энергию какого-либо вида в течение времени заряда  $t_z$ , а затем при заряде продолжительностью  $t_p$  передавать ее существенную часть потребителю непосредственно преобразования в другие виды энергии.

Несмотря на то, что формально по функциональному назначению и составу электрооборудование летательного аппарата (ЭЛА) и других транспортных средств аналогично, на практике использование агрегатов общепромышленного и другого электрооборудования на борту ЛА недопустимо. Электроэнергия должна обладать заданными характеристиками, для данного типа ЛА, которая должна легко генерироваться, аккумулироваться, усиливаться и регулироваться.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грузков С.А., Останин С.Ю., Сугробов А.М., Токарев А.Б., Тыричев П.А. Электрооборудование летательных аппаратов: учебник Э 455 для вузов. В двух томах/под редакцией С.А. Грузкова.— М.: Издательство МЭИ, 2005.— Том 1. Системы электроснабжения летательных аппаратов. —2005.—568с.: ил.

УДК 621.3

А. Р. СИРАЗЕТДИНОВ

*aydar.sirazetdinov.99@mail.ru*

Науч. руковод. – доц. Т. Ю. ВОЛКОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ВЕТРОВАЯ НАГРУЗКА НА ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ. МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ВЕТРОВЫМИ НАГРУЗКАМИ**

*Аннотация.* В данной работе рассмотрено влияние ветровой нагрузки на воздушные линии электропередач. Приведен эффективный метод борьбы с ветровыми нагрузками.

*Ключевые слова:* ветровая нагрузка; ЛЭП; ветер; гаситель вибрации.

Климатические факторы – основа исходных данных технических условий проектирования, расчетов, а также эксплуатации любых ЛЭП и контактных сетей, относящихся к устройствам наружной установки. Воздействия ветра определяют расчетные горизонтальные и вертикальные нагрузки на подвешенные провода и элементы других подсистем контактных сетей и ВЛ. От нагрузки собственного веса проводов, распределенных в пролете, также зависит их натяжение. ВЛ должны работать при любых атмосферных условиях, поэтому при расчетах необходимо учитывать наиболее опасные сочетания нагрузок и климатических факторов, установленные действующими нормами и правилами. Любые отступления от правил должны быть обоснованы.

Нагрузки, действующие на провода и конструкции, подразделяют на постоянные, временные и особые. К постоянным нагрузкам относят вес всех элементов и усилия в устройствах, вызываемые натяжением проводов. К временным нагрузкам относят гололедные и снежные образования на проводах и конструкциях, давление ветра на них и нагрузки (изменение нагрузок), которые появляются при изменениях натяжений проводов, а также вес электромонтера с инструментом и нагрузки, возникающие при монтаже конструкций. Временные (добавочные) нагрузки необходимо учитывать при расчете, т.к. большинство разрушений воздушных линий происходит при гололеде и ветре. При расчетах проводов добавочные нагрузки принимают равномерно распределенными и

равными среднему значению. Особые нагрузки на конструкции создаются при обрыве проводов.

Одним из основных расчетов при строительстве ЛЭП, является расчет ветровой нагрузки. Определяется габаритный пролет  $l_{габ}$ , зависящий от стрелы провеса  $f$  рис.1.

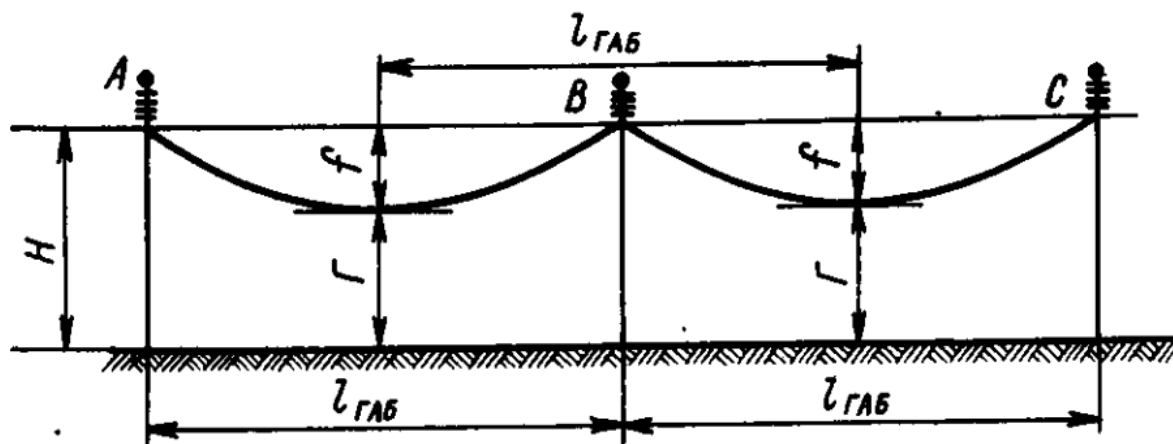


Рис. 1. Линия электропередач

На конкретных линиях профиль не бывает идеально ровным, и пролеты между опорами получаются различными. Нагрузка, передаваемая на опору от давления ветра на провода и тросы, зависит от величины полусуммы пролетов по обе стороны от опоры. Пролет, при котором определяют давление ветра на провода, называется ветровым пролетом и обозначается  $l_{ветр}$ . В расчетах опор обычно принимают  $l_{ветр} = l_{габ}$ . При расстановке опор по профилю конкретной линии надо следить, чтобы полусумма примыкающих к опоре пролетов не превышала ветрового пролета, принятого в расчете опоры. Ветровая нагрузка на провода и тросы определяется путем умножения ветрового пролета на ветровую нагрузку на 1 м длины провода, соответствующую принятой в расчете скорости ветра и ветровой зоне по высоте.

Таким образом, нормативная ветровая нагрузка на провода и тросы, воспринимаемая опорой, определяется по формуле (1):

$$P^н = \alpha \cdot C_x \cdot q \cdot d \cdot \sin^2 \varphi \cdot l_{ветр} \cdot 10^{-3}, Н. \quad (1)$$

где  $C_x$  — аэродинамический коэффициент, принимаемый равным 1,1 для проводов и тросов диаметром 20 мм и более, свободных от гололеда; 1,2 для всех проводов и тросов, покрытых гололедом, и для проводов и тросов диаметром менее 20 мм, свободных от гололеда;  $q$  — нормативный скоростной напор ветра в рассматриваемом режиме, Н/м<sup>2</sup>;  $d$  — наружный диаметр провода (с учетом толщины стенки гололеда в гололедных режимах), мм;  $\varphi$  — угол между направлением ветра и осью ВЛ;  $l_{\text{ветр}}$  — ветровой пролет, м.  $\alpha$  — коэффициент, учитывающий неравномерность скорости ветра по пролету, при соответствующих значениях скоростного напора (в Н м/м<sup>2</sup>) принимаются следующие значения  $\alpha$  рис. 2:

<b>Скоростной напор</b> . . . . .	<b>&lt;270</b>	<b>400</b>	<b>550</b>	<b>760</b>
<b><math>\alpha</math></b> . . . . .	<b>1,0</b>	<b>0,85</b>	<b>0,75</b>	<b>0,7</b>

Рис. 2. Коэффициент  $\alpha$

По итоговому значению ветровой нагрузки рассчитываются провода и тросы.

При ветре, направленном поперек линии, за проводами (тросами) возникают и срываются воздушные вихри. Эти вихри вызывают силы, действующие на провод то снизу, то сверху. Совпадение частоты образования вихрей с частотой колебания натянутых проводов приводит к появлению на линии стоячих волн вибрации с амплитудой колебаний в несколько сантиметров. Вибрация наблюдается при скорости ветра 0,5—10 м/с. В результате вибрации провода и тросы испытывают знакопеременные напряжения, приводящие, в конечном счете, к излому и обрыву отдельных жил в тех местах, где они соприкасаются с зажимами.

Основной метод защиты от вибрации является оснащение ВЛ 35 кВ и выше гасителями вибрации. Согласно ПУЭ одиночные алюминиевые и сталеалюминиевые провода сечением до 95 мм<sup>2</sup> в пролетах длиной более 80 м, сечением 120-240 мм<sup>2</sup> в пролетах более 100 м, сечением 300 мм<sup>2</sup> и более в пролетах

более 120 м, стальные провода и тросы всех сечений впролетах более 120 м должны быть защищены от вибрации, если напряжение при среднегодовой температуре превышает: 3,5 даН/мм<sup>2</sup> (кгс/мм<sup>2</sup>) в алюминиевых проводах, 4,0 даН/мм<sup>2</sup> в сталеалюминиевых проводах, 18,0 даН/мм<sup>2</sup> в стальных проводах и тросах.

В пролетах, меньше указанных выше, защита от вибрации не требуется. Защита от вибрации не нужна также на линиях с расщеплением фазы на два провода, если напряжение при среднегодовой температуре не превышает 4,0 даН/мм<sup>2</sup> в алюминиевых и, 4,5 даН/мм<sup>2</sup> в сталеалюминиевых проводах.

Как правило, снижение напряжений в проводах линий до значений, при которых не требуется защиты от вибрации, экономически невыгодно. Поэтому на линиях напряжением 35–330 кВ обычно устанавливаются виброгасители, выполненные в виде двух грузов, подвешенных на стальном тросе.

Виброгасители поглощают энергию вибрирующих проводов и уменьшают амплитуду вибрации около зажимов. Виброгасители должны быть установлены на определенных расстояниях от зажимов, определяемых в зависимости от марки и напряжения провода. Существуют двухчастотные и многочастотные гасители вибраций.

Опыт применения ОАО «ФСК ЕЭС» показал низкую эффективность двухчастотных гасителей вибрации, к типовым представителям двухчастотных гасителей относятся гасители: ГВН, ГПГ и ГПС. Низкая эффективность объясняется малым энергопоглощением в демпферном тросе, частотные характеристики гашения вибрации имеют две узкие зоны эффективного поглощения. Это приводит к невозможности подавления вибрации во всем спектре возникающих частот колебаний провода и его фактической незащищенности в широких диапазонах частот. Вместо двухчастотных ОАО «ФСК ЕЭС» применяет многочастотные гасители вибрации типов ГВ, ГВП (и его унифицированную модификацию ГВУ рис.3). Гасители вибрации ГВУ – самые современные виброгасители, имеют широкую частотную характеристику, удобство монтажа, повышен-

ную рассеяние энергии ветра, высокую выносливость на вибрационные нагрузки, потери на корону и радиопомехи соответствуют нормам.

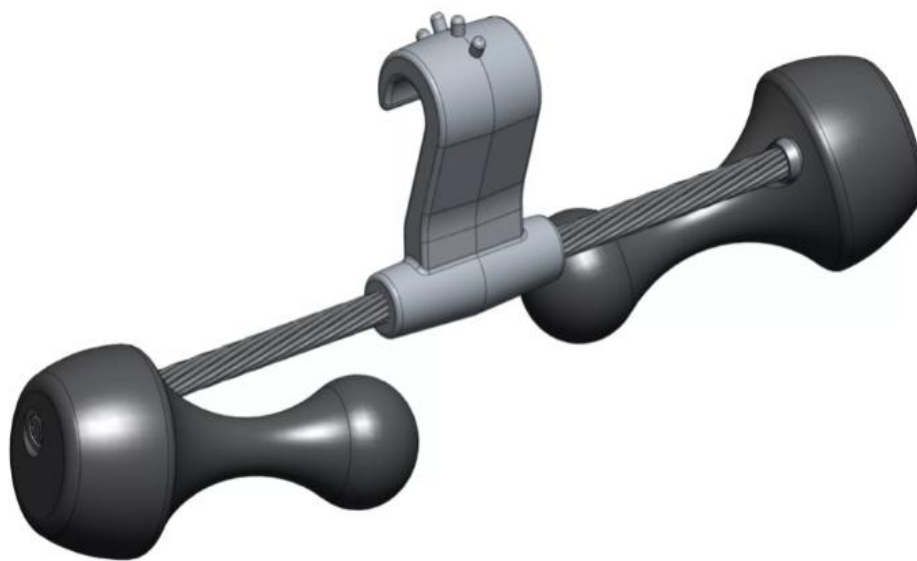


Рис. 3. Гаситель вибрации ГВУ

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок, раздел 2.-М., НЦЭМАС, 2003. №7.
2. Железнов Д.Ф., Смирнов Д.В. Контактные сети и линии электропередач. М.: МИИТ, 2010. 322 с.
3. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС», Защитная арматура для ВЛ. Общие технические требования, 2018.
4. Климатические факторы и расчетные нагрузки, действующие на элементы линий электропередач [Электронный ресурс] URL: <http://scbist.com/scb/uploaded/kontaktная-set/3.htm> (Дата обращения 20.09.2021).
5. Расчет опор ЛЭП [Электронный ресурс] – URL: <https://forca.ru/knigi/arhivy/konstrukcii-i-raschet-opor-lep/Page-8.html> (Дата обращения 20.09.2021).
6. «Положения о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС» [Электронный ресурс] – URL: [https://www.fsk-ees.ru/media/File/evolution\\_technology/techpolicy1.pdf](https://www.fsk-ees.ru/media/File/evolution_technology/techpolicy1.pdf) (Дата обращения 20.09.2021).

А. М. СУЛТАНОВ, Л. И. ЛЕВЧЕНКО

azat2507957@gmail.com, lev.igorevich.levchenko@gmail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук А. В. СТЫСКИН

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## СПОСОБ УСИЛЕНИЯ РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ В ИМПУЛЬСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

**Аннотация.** Внимание уделено рассмотрению несимметричного моста с изменением некоторых параметров в схеме и с возможностью усиления рекуперации энергии.

**Ключевые слова:** несимметричный мост; рекуперация; компенсация напряжения.

В импульсных преобразователях существует незаметный на первый взгляд изъян, во время рекуперации энергии обмотка трансформатора или другого устройства является источником ЭДС самоиндукции и преодолевает напряжение источника питания, совершая при этом некоторую работу. Работа тока самоиндукции по преодолению напряжения источника питания вместе с потерями на всех элементах определяет КПД рекуперации. От этих же параметров зависит и время переходного процесса при рекуперации. В случае ограничения времени переходного процесса в цепь рекуперации включают дополнительные сопротивления или организуют подачу повышенного напряжения. Если такого ограничения нет, например, когда длительность импульса намного меньше периода, возникает желание каким-то образом повысить КПД рекуперации [1].

Традиционная схема силовой части однотактного преобразователя, обладающего функцией рекуперации это несимметричный (косой) мост (рис. 1) [2].

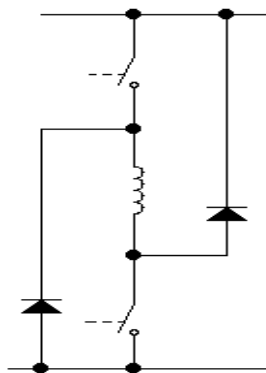


Рис. 1. Схема несимметричного моста



Для компенсации напряжения питания и облегчения «жизни» обмотки нужна какая-то накопительная емкость напряжение которой складывалось бы с ЭДС обмотки. В схемах драйверов силовых транзисторов такие конденсаторы существуют и их принято называть бутстрепными. На рис. 2 изображены две схемы несимметричного моста с бутстрепными конденсаторами. На рис 2(а) схема с передачей напряжения питания в цепь рекуперации на рис. 2(б) - без передачи напряжения питания в цепь рекуперации.

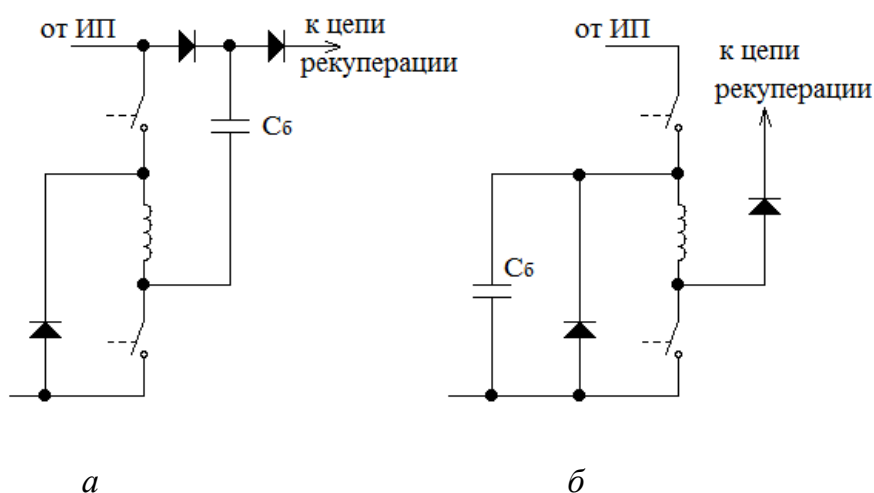


Рис. 2. Схема несимметричного моста с передачей напряжения в цепь рекуперации (а), схема несимметричного моста без передачи напряжения питания в цепь рекуперации (б)

Моделирование схемы проводилось в программе Electronics Workbench [3]. Схема первого варианта модели, представленная на рис. 3 и рис. 4 создана на основе идеальных ключей, управление ключами осуществляется с частотой 5 кГц и скважностью 50%. Емкость накопительного конденсатора составляет 1 мкФ, для его коммутации использован ключ, управляемый клавишей «пробел». В качестве датчиков тока использованы сопротивления номиналом 0.1 Ом. Второй вариант модели представлен на рис. 5 и рис. 6, в которой применен генератор импульсов с управляемой скважностью (установлена 30%) и изменены некоторые другие параметры.

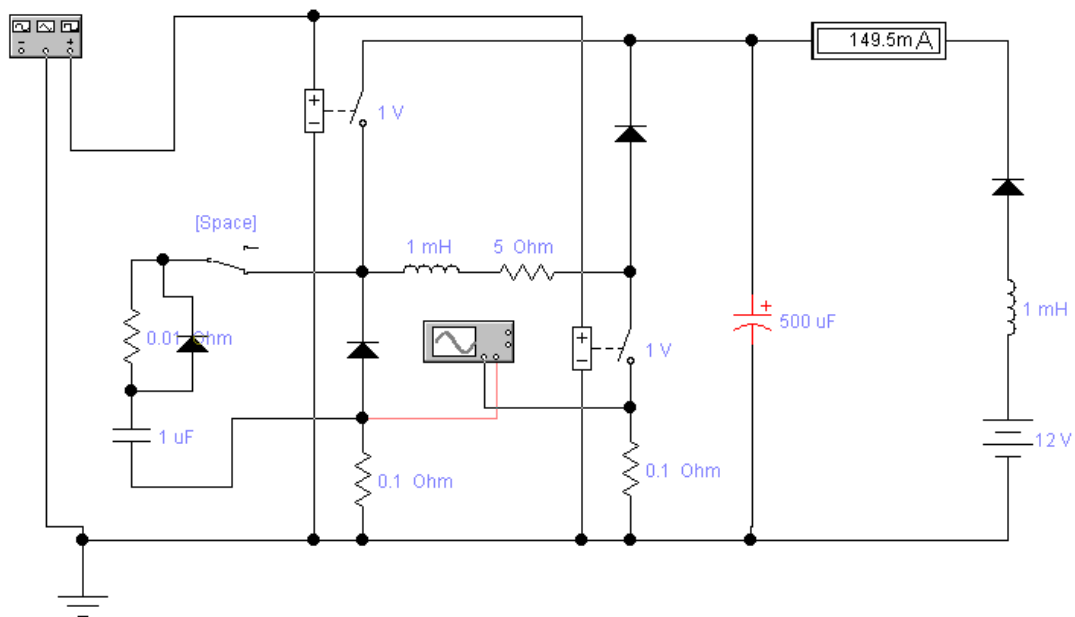


Рис. 3. Схема первой модели (накопительная емкость подключена)

При использовании накопительной емкости значение тока составляет 149,5 мА.

При отключении накопительной емкости (рис. 4) значение тока составляет 113,4 мА.

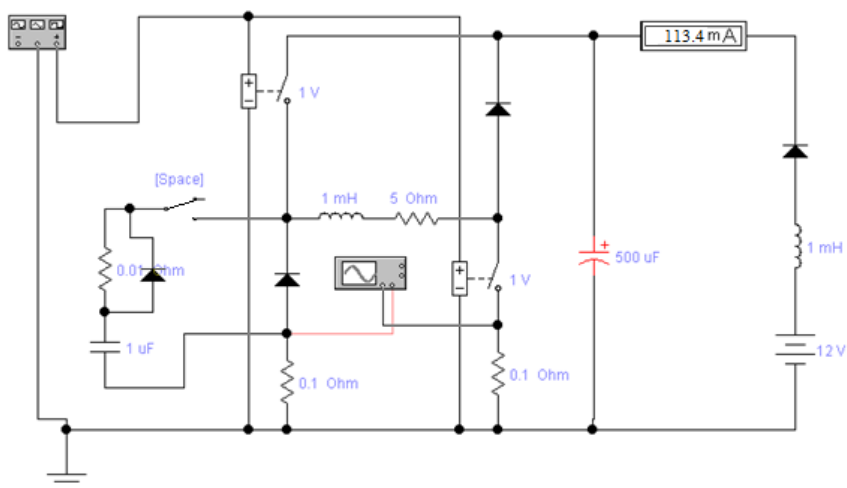


Рис. 4. Схема первой модели (накопительная емкость отключена)

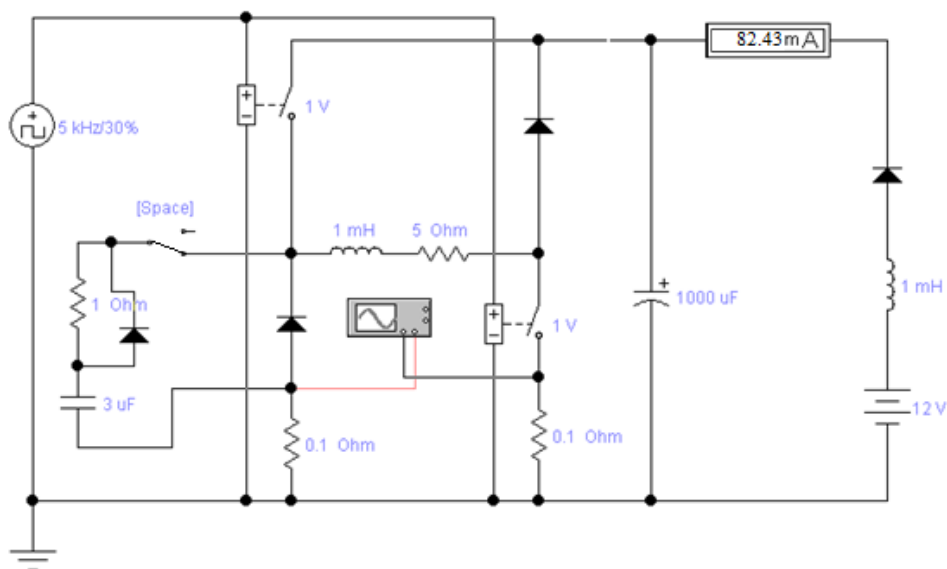


Рис. 5. Схема второй модели (накопительная емкость подключена)

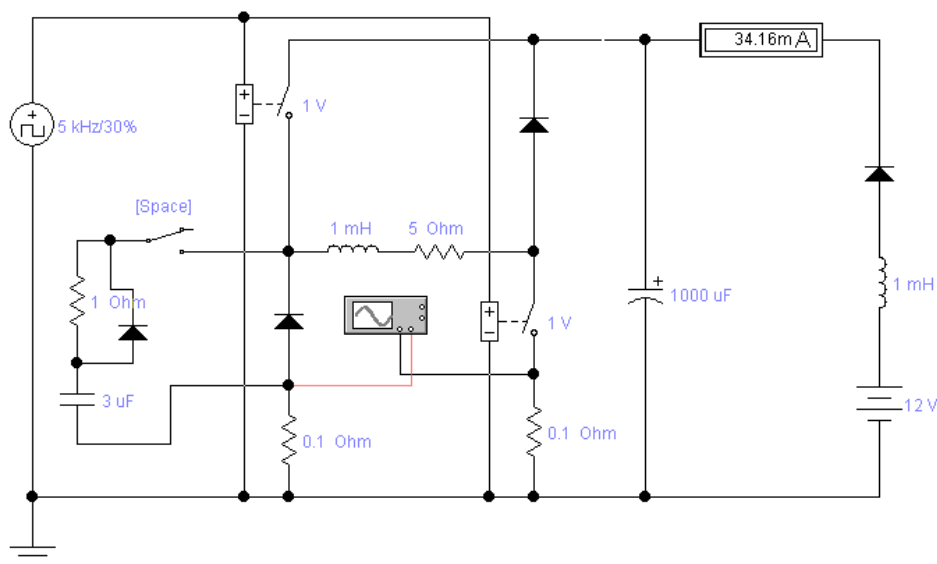


Рис. 6. Схема второй модели (накопительная емкость отключена)

К сожалению, моделирование принесло негативный результат. При введенной емкости в обеих схемах ток, потребляемый от источника оказался больше чем без нее. В первой схеме 149.5 и 113.4 мА, и соответственно 82.43 мА и 34.16 во второй схеме. На рис. 7 и 8 представлены осциллограммы токов потребления и рекуперации второй схемы. Верхний «луч» - ток потребления, нижний «луч»- ток рекуперации, причем на рис. 8 положительный импульс нижнего луча это импульс заряда накопительного конденсатора, а отрицательный импульс — это импульс тока рекуперации.

Тем не менее из представленных осциллограмм видно, что импульс тока рекуперации оказался все-таки больше в схеме с накопительным конденсатором. Это можно использовать в тех случаях, когда нужно обеспечить наибольшее напряжение импульса при спаде тока, а ток потребления при этом не важен, например, в обратноходовых преобразователях для некоторых применений.

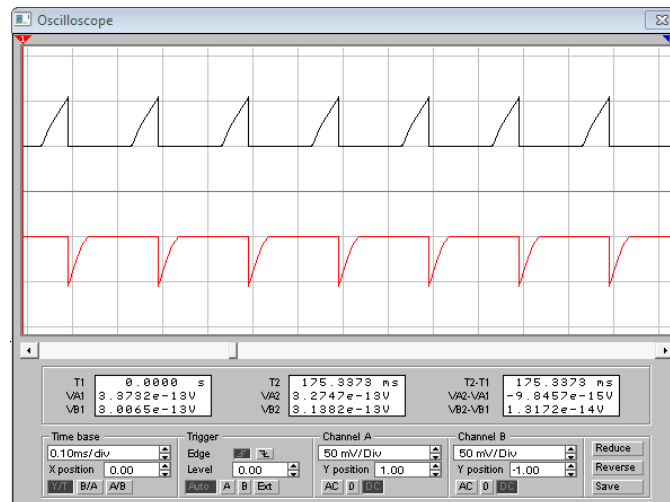


Рис. 7. Осциллограммы тока потребления и рекуперации при отключенном накопительном конденсаторе

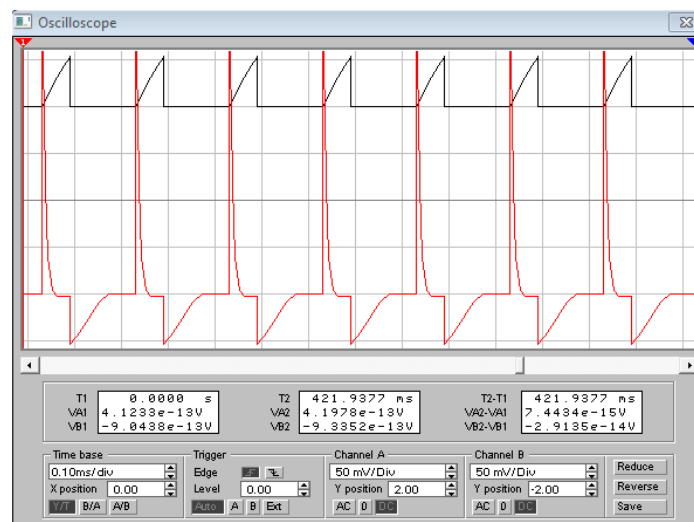


Рис. 8. Осциллограммы тока потребления и рекуперации при подключенном накопительном конденсаторе

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саттаров Р. Р., Уразбахтина Н. Г., Стыскин А. В. Моделирование схемы форсирования переходных процессов в электромагнитных механизмах //Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2018. – Т. 22. – №. 2 (80).
2. Уразбахтина Н. Г. и др. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФОРСИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЗМАХ (ВАРИАНТЫ). – 2018.
3. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC (3-е издание).

УДК 621.3

Э. И. ФАУЗИЕВА

*e.fauzieva@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Н. К. ПОТАПЧУК

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НЕЛИНЕЙНЫЕ В ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА КЛАССЫ НАПРЯЖЕНИЯ 110 И 220 КВ**

**Аннотация.** В статье анализируются виды перенапряжений, а также ограничители перенапряжений нелинейные в полимерной изоляции на классы напряжения 110 и 220 кВ и проводится оценка эффективности применения ОПН на ВЛ 110-220 кВ.

**Ключевые слова:** линия электропередач; ОПН; перенапряжение; высоковольтные линии; коммутационные перенапряжения; климатические перенапряжения; опора ВЛ.

*Цель:* исследование защиты линии электропередач от перенапряжений

В процессе эксплуатации изоляция оборудования подстанций (ПС) подвергается воздействию рабочего напряжения, а также различных видов перенапряжений. Наиболее распространенными защитными аппаратами (ЗА), обеспечивающими ограничение грозовых и коммутационных перенапряжений, являются вентильные разрядники (РВ) и нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН). При построении или модернизации уже существующих схем защиты от перенапряжений оборудования ПС с помощью ОПН и РВ необходимо решать две основные тесно связанные друг с другом задачи:

- выбор числа, мест установки и характеристик ЗА, которые обеспечат надежную защиту изоляции от грозовых и коммутационных перенапряжений;
- обеспечение надежной работы самих ЗА при квазистационарных перенапряжениях, для ограничения которых они не предназначены.

Рассмотрим, что же такое перенапряжение и их виды.

Перенапряжение – это скачкообразное увеличение уровня напряженности в любой точке ЛЭП или электроустановки. Это явление опасно для состояния изоляции электрооборудования и, следовательно, представляет угрозу для оборудования и здоровья людей.

Перенапряжения могут быть двух видов – климатическими (внешними) и коммутационными (внутренними). Природные перенапряжения – это явление атмосферного электричества. Коммутационные перенапряжения возникают непосредственно в электрических сетях, причинами их проявления могут быть большие перепады нагрузки на линиях электропередач, феррорезонансные явления, послеаварийные режимы работы электрических сетей.

#### *Устройство и принцип действия ОПН*

Ограничители представляют собой защитные аппараты, состоящие из последовательно соединенных высоконелинейных оксидноцинковых сопротивлений (варисторов) без искровых промежутков, заключенных в полимерный синтетический корпус. С целью обеспечения равномерного распределения напряжения вдоль колонки варисторов, ограничители перенапряжений снабжены экранными кольцами. При изготовлении внешней изоляции ограничителей наружной установки применяется высококачественная кремнийорганическая резина. Для установки на месте монтажа и присоединения к сети ограничитель снабжен фланцами из коррозионностойкого металла.

Полимерный синтетический корпус ОПН состоит из цилиндра, обеспечивающего механическую прочность ОПН, на который методом высокотемпературного литья под давлением напрессовывается кремнийорганическая оболочка с ребрами. В цилиндре имеются герметичные взрывопредохранительные клапаны. Клапаны срабатывают при возникновении внутри ОПН электрической дуги тока короткого замыкания, разрывая внешнюю кремнийорганическую оболочку, обеспечивая тем самым снижение избыточного давления в корпусе до безопасной величины, предотвращая тем самым взрывное разрушение аппарата с разлетом осколков.

Защитное действие ОПН обусловлено высокой нелинейностью варисторов ограничителя, сопротивление которых резко уменьшается при возникновении в сети перенапряжений, вследствие чего через аппарат начинает протекать значительный импульсный ток. В результате максимальное значение перена-

пряжения снижается до уровня безопасного для изоляции защищаемого оборудования. При снижении напряжения в сети до величины длительного рабочего перенапряжений приведена на Рис 1.

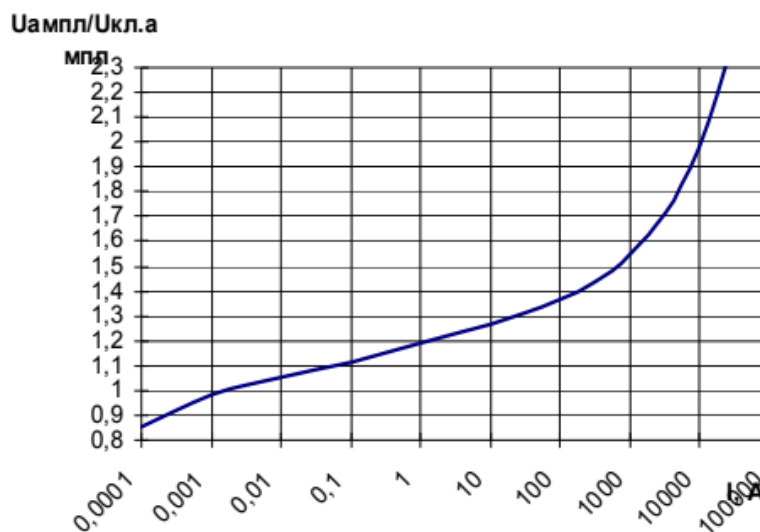


Рис. 1. Вольтамперная характеристика

#### *Оценка числа отключений ВЛ с учетом троса и без него*

Годовое число ударов молнии в ВЛ 110-220 кВ зависит от многих факторов, но, прежде всего, от протяженности ВЛ и грозовой активности. С точки зрения грозовых перенапряжений для изоляции ВЛ 110-220 кВ основную опасность представляют прямые удары молнии в ВЛ [1], которые условно можно разделить на: - удары молнии в трос (точка 1 на рис.1) и опору (точка 2); - удары молнии в фазный провод (точка 3). Среднее соотношение числа ударов в элементы ВЛ 110-220 кВ, определенное по различным существующим отечественным и зарубежным методикам [1-3], приведено в табл.1

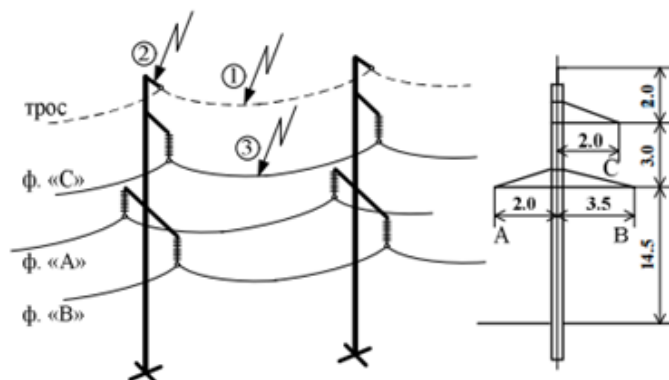


Рис. 2. Основные источники грозовых перенапряжений на изоляции одноцепной ВЛ 110-220 кВ и эскиз ж/б опоры типа ПБ110-1

Упрощенно будем считать, что каждое импульсное перекрытие изоляции ВЛ 110-220 кВ в сетях с заземленной нейтралью переходит в силовое короткое замыкание (ряд методик называют вероятностью установления силовой дуги несколько менее 1). Тогда число отключений ВЛ, вызванных грозовыми перенапряжениями, составит:

$$N_{ВЛ} = (D_T \cdot P_T + D_O \cdot P_O + D_\Phi + P_\Phi) \cdot n \cdot \frac{L_{ВЛ}}{100} \cdot \frac{T_{ч}}{100} \quad (1)$$

где  $P_T$ ,  $P_O$ ,  $P_\Phi$  – вероятности (о.е.) перекрытия изоляции ВЛ соответственно при ударах молнии в трос в пролете, в опору, в фазу;  $n$  – удельное число ударов молнии в ВЛ, определенное по [1-2], составляющее в среднем  $n = 100$  раз на каждые 100 км длины ВЛ и 100 грозových часов;  $L_{ВЛ}$  – длина ВЛ (км);  $T_{ч}$  – число грозových часов в году в районе ВЛ (в среднем по России  $T_{ч} = 50$ ).

Таблица 1

Распределение числа ударов для рис.2

Доля $D$ ударов	Есть трос	Нет троса
в трос в пролете $D_T$	0.5	0
в опору $D_O$	0.5	0.5
в фазные провода $D_\Phi$	0.005	0.5
$D_T + D_O + D_\Phi$	$\approx 1$	1

В заключении следует сказать, что в настоящее время в отечественных сетях 110-220 кВ наметилась тенденция снимать молниезащитные (грозозащитные) тросы, выполняющие важную функцию снижения числа отключений воздушных линий (ВЛ) от грозových перенапряжений. Предлагается массово устанавливать ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перенапряжения [Электронный ресурс] URL: <http://pue8.ru/elektrotehnik/464-chto-takoe-perenapryazhenie-vidy-perenapryazhenij-i-ikh-opasnost.html> (дата обращения 16.12.2018)
2. Баптиданов Л.Н., Козис В.Л., Неклепаев Б.Н., Нечаев Б.В., Околович М.Н., Солдаткина Л.А., Тарасов В.И., Церазов А.Л. Электрические сети и станции. – 1963. – с. 461.
3. Kuznetsov V.G., Tugay Yu.I., Kuchanskiy V.V., Lyhovoyd Yu.G., Melnichuk V.A. The resonant overvoltage in non-sinusoidal mode of main electric network, 2018



М. С. ЧИРКОВ, Р. Я. ХАЛИУЛЛИН  
*maks.4upkob@mail.ru, ramil\_ufa99@mail.ru*

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ

**Аннотация.** В данной статье рассмотрена защита электродвигателя от короткого замыкания, с помощью кварцевого преобразователя температуры. Электрический сигнал, которого передается по оптоволокну.

**Ключевые слова:** электродвигатель; термодатчик; оптоволокну.

При эксплуатации электродвигателей могут возникнуть короткие замыкания у потребителя или другими словами после распределительного устройства, а также в самом электродвигателе. Короткое замыкание, которое происходит после распределительной коробки, отключается с помощью автоматических выключателей. Но они не могут полноценно защитить электродвигатель от короткого замыкания на корпус или замыкания между витками обмотки.

Чтобы полностью защитить электродвигатель, от внутреннего короткого замыкания, нужно не только выключить электродвигатель от сети, но и остановить сам электродвигатель т.к. в нем протекают токи короткого замыкания. Конечно, такой метод опасен разрушением изоляции обмоток электродвигателя и перегревом электромеханического преобразователя, что может привести к замыканию на обмотке электродвигателя или к его возгоранию. Во избежание такой аварийной ситуации, могу предложить измерять температуру обмотки с помощью оптоволокну для контроля температуры и при случае заранее отключать электродвигатель от сети.

Сейчас в качестве термодатчиков используют термопреобразователи на основе кварца, принцип их работы - взаимодействия кварца и температуры, отражаемого частотной зависимостью, а также используют резистивные термодатчики – RTD, которые меняют свое сопротивление в зависимости от температуры.

В преимущества кварцевого термопреобразователя входят: достаточно большой диапазон работы от  $-80$  до  $+250^{\circ}\text{C}$ , высокая точность измерения, стабильность, разрешение и сигнал от резонаторов можно сразу обрабатывать в цифровой форме, что удешевляет процесс контроля температуры. У резистивных термодатчиков диапазон работы ниже от  $-40$  до  $+250^{\circ}\text{C}$ , хотя точность показаний такая же, как и кварцевом термообразователи, но в отличии от него резистивный датчик нельзя контролировать дистанционно в режиме online.

По сравнению с прямым показателем термодатчика в расчетах на тепловой модели получают наименьшую температуру на обмотке. Поэтому, в ходе работы электродвигателя в режиме перегрузок, изоляция обмоток разрушается быстрее, чем это предусмотрено в расчетах конструкции, что приводит к повышенному риску возникновения короткого замыкания между витками обмотки электродвигателя.

К датчику будет подключаться провод из оптоволоконна, чтобы передавать сигнал об остановке электродвигателя, применяется кварц ( $\text{SiO}_2$ ) – оксид кремния.  $\text{SiO}_2$  – используется в качестве чувствительного элемента, пьезоэлектрического резонатора с сильной зависимостью чистоты от температуры.

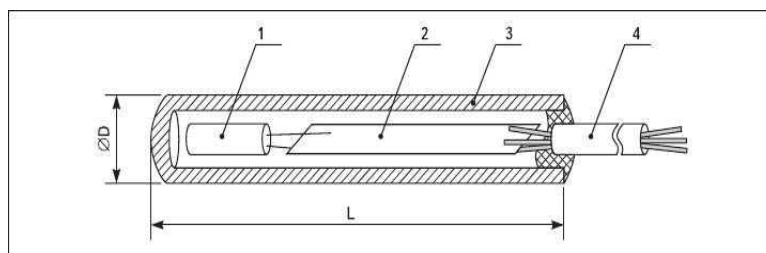


Рис. 1. Малогабаритный преобразователь температуры ПТК-0,05-3М

Разберем преимущества кварцевого датчика на рис.1. Он имеет минимальный габаритный размер  $\text{Ø}5 \times 30$  мм и состоит из: кварцевого термочувствительного резонатора РКТВ206 (1); автогенератора (2); защитной гильзы 12X18H10T (3); оптоволоконного кабеля для связи с частотомером и подачи питания (4). Диапазон рабочих температур датчика от  $-80$  до  $+250^{\circ}\text{C}$ . Верхний

предел температуры ограничен применяемыми электронными компонентами автогенератора.

Датчик имеет частотный выход соответственно значение температуры можно вычислить по формуле

$$t=t_0+C_1(\Delta F-F_0)+C_2(\Delta F-F_0)^2+C_3(\Delta F-F_0)^3$$

где,  $t$  – измеряемая температура;  $\Delta F$  – текущее значение частоты преобразователя;  $F_0$  – частота, соответствующая опорной температуре  $t_0$ ;  $C_1, C_2, C_3$  – коэффициенты, определенные при калибровке в интервале рабочих температур индивидуально для каждого преобразователя и указаны в паспорте.

#### *Примечание*

Если использовать более длинный измерительный щуп, то это даст возможность уменьшить погрешность, вызванную изменениями температуры внешней среды и увеличивает диапазон высоких температур за счет выноса генератора из горячей зоны.

#### *Заключение*

Принятие этих мер позволит исключить межвитковые замыкания электродвигателя и выгорания обмотки, которые могут отрицательно сказаться на долговечности электродвигателя.

Применение данного вида измерения температуры более целесообразно для мощных электродвигателей. С помощью данного термодатчика можно получить более точные измерения температуры. Еще одно преимущество кварцевый термодатчик не требует калибровок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малов В. В. Пьезорезонансные датчики. Энергоатомиздат, 1989.
2. Поляков А. Заднепрянный И., Поляков В., Симонов В. Прецизионные кварцевые датчики // Компоненты и технологии. 2005. № 6.
3. А. В. Булычев, А. А. Наволочный. Релейная защита в распределительных электрических сетях. -202с
4. Дмитриев С.А. Слепов Н.Н. Волоконно-оптическая техника: Современное состояние и перспективы. -256с

И. И. ЯМАЛОВ, Р. Я. ХАЛИУЛЛИН, М. С. ЧИРКОВ  
*yamalov.i.i@mail.ru, ramil\_ufa99@mail.ru, vlad020795@mail.ru*  
Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. И. И. ЯМАЛОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

*Аннотация.* Статья посвящена вопросам электромагнитной совместимости вторичных источников питания. Проведен обзор статей по теме. Рассматриваются проблемы и существующие методы решения проблем связанных с электромагнитной совместимостью элементов.

*Ключевые слова:* электромагнитная совместимость вторичных источников питания; электромагнитная совместимость импульсных источников питания; электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств.

### *Введение*

Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС), с каждым годом имеет все большее значение. Значимость проблемы ЭМС определяется не только значительным ростом, многообразием и сложностью самих радиоэлектронных средств (РЭС), являющимися естественным следствием внедрения радиоэлектроники в различные сферы производства и потребления, но и проявляющейся иногда ее недооценкой, непосредственно отвечающими за нормальное функционирование РЭС.

Несмотря на многочисленные публикации по различным сторонам проблематики ЭМС аппаратуры, в том числе по импульсным источникам питания, интерес к этой теме не ослабевает. Это связано с индивидуальным характером разработки некоторых систем и средств электропитания, с развитием электронной компонентной базы, особенно интегрированных силовых модулей, и со специфическими условиями эксплуатации аппаратуры в ряде случаев.

*Основные проблемы ЭМС в импульсных источниках вторичного электропитания*

Как уже отмечалось ранее, импульсные ИВЭ подвержены воздействию электромагнитных помех различного вида. Помехи могут поступать из сети

электропитания, заводиться внешними высокочастотными магнитными полями. Поэтому, с одной стороны, импульсный источник питания, как и любое ТС, должен обладать необходимым уровнем помехоустойчивости. С другой стороны, импульсный ИВЭ является источником (генератором) электромагнитных помех в широком диапазоне частот и поэтому должен иметь уровень помехоэмиссии, соответствующий принятым нормам. При этом следует учитывать, что сам импульсный источник питания состоит из функциональных узлов и модулей различного назначения, работающих в различных частотных диапазонах, с разными энергетическим уровнями, требованиями к чувствительности, точности. Таким образом, проблемы обеспечения ЭМС импульсных ИВЭ необходимо решать конкретно в трех основных направлениях:

- 1) Мероприятия по подавлению (ослаблению) электромагнитных аномалий и помех со стороны сети электропитания (входа).
- 2) Мероприятия по ослаблению собственных (внутриобъектовых) помех.
- 3) Мероприятия по подавлению (ослаблению) кондуктивных помех на выходе ИВЭ.

*Общие методы обеспечения ЭМС импульсных источников питания*

*Электромагнитные воздействия со стороны электропитания:*

Провалы напряжения

– Медленные снижения напряжения:

Применение схемы ИВЭ с универсальным входом.

Применение схемы ИВЭ с корректором коэффициента мощности.

– Быстрые снижения напряжения:

Оптимальное значение величины емкости конденсатора сетевого выпрямителя или выходного конденсатора в ККМ.

– Броски напряжения (перенапряжения):

Рациональный выбор параметров импульсного управления, включая введение управляющего сигнала по изменению входного напряжения.

Высшие гармонические составляющие входного тока:

Применение схем ИВЭ с ККМ/PFC:

А) пассивный ККМ (НЧ-дрессель) – для маломощных AC/DC – преобразователей

Б) активный ККМ – для AC/DC – преобразователей повышенной и большой мощности

Кондуктивные помехи

Импульсные помехи:

Применение варисторов на входе сетевого помехоподавляющего фильтра (ППФ).

Низкочастотные помехи:

Применение корректора мощности ККМ.

Высокочастотные помехи и радиопомехи:

Применение высокоэффективного сетевого ППФ и рациональный выбор его компонентов.

Помехи излучения:

Экранированный корпус, правильное заземление, минимизация площади контуров с повышенным индуктивным сопротивлением.

*Собственные помехи ИВЭ*

Кондуктивные помехи:

Применение в ККМ и преобразователе напряжения высококачественных компонентов, оптимальная компоновка узлов и компонентов.

Помехи излучения:

Оптимизация площади и поперечного сечения силовых контуров с большими токами.

Оптимизация конструкции и топологии намотки высококачественных силовых трансформаторов преобразователей ИВЭ.

*Кондуктивные помехи на выходе*

Импульсные помехи:

Использование квазирезонансного метода преобразования.

Использование в выходном ВЧ-выпрямителе:

- диодов Шоттки или сверхбыстродействующих диодов
- ограничителей скорости нарастания напряжения
- демпферов для шунтирования силовых диодов.

Шунтирование электролитических конденсаторов – керамическими конденсаторами.

Использование на выходе проходных конденсаторов.

Оптимальная компоновка узлов и компонентов ИВЭ.

Рациональный электромонтаж.

Низкочастотные помехи:

Выбор повышенной частоты преобразования и оптимального закона и регулирования.

Помехи на частоте преобразования

Применение высокоэффективного ППФ (двухзвенного).

Рациональный выбор компонентов ППФ:

– ВЧ-дресселей с величиной индуктивности, обеспечивающей его неразрывный ток

– специальных конденсаторов с низким импедансом на высоких частотах, в том числе трех- и четырехвыводных.

*Заключение*

На сегодняшний день проблема обеспечения ЭМС является одной из актуальных задач современной радиоэлектроники и радиотехники и самостоятельным научно-техническим направлением. Его особенностью заключается в том, что проблема обеспечения ЭМС проникает в большинство существующих современных направлений радиоэлектроники. В конкретном практическом случае задача обеспечения ЭМС решается путем системного подхода, что является необходимостью и особенностью нового направления. Причем изучение электромагнитных свойств различных технических средств и использование, полу-

ченных знаний в практической деятельности постоянно обогащает базу радио-электроники.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электромагнитная совместимость технических средств. Справочник / Под ред. Кармашева В. С. М.: 2001.
2. Уильямс Т. ЭМС для разработчиков продукции. М.: Технологии. 2003.
3. ГОСТ Р 50397-92. Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения.
4. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
5. Дмитриев С. Международные стандарты электромагнитной совместимости электронной аппаратуры II Электронные компоненты. 2000. No 1.
6. Барнс Дж. Электронное конструирование: методы борьбы с помехами. М: Мир. 1990.



УДК 629.331.5

Р. М. ЯРКИНБАЕВ

*yark.20137@gmail.com*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. С. В. ПАВЛОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АНАЛИЗ РЕЛЕВАНТНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ**

**Аннотация.** В данной статье описываются перспективы замены транспортных средств, работающих на двигателях внутреннего сгорания на транспорт, который работает на основе электродвигателя.

**Ключевые слова:** моделирование; прогноз, электромобиль, процесс, электроэнергия, ДВС, АЭС, ГЭС, аккумулятор.

Моделирование – это очень важный (порой необходимый) в наше время способ исследования объектов познания, особенно если говорить о моделировании природных и/или техногенных процессов.

Качество моделирования, по мнению автора, зависит от количества учитываемых по ходу моделирования факторов, зависит от точности, достоверности используемой информации и от качества задействованных в моделировании инструментов, которые могут отличаться в зависимости от используемой технологии моделирования. Например, имплементация компьютерного моделирования происходит с использованием алгоритмов реализации компьютерной модели.

К сожалению, бывают случаи, когда качеством моделирования пренебрегают, что иногда приводит к печальным последствиям. Автор статьи считает, что всегда необходимо просчитывать максимально возможное количество тех или иных исходов, учитывать их.

Известно, что результаты моделирования позволяют формировать некоторые прогнозы, и, несомненно, качество моделирования будет напрямую влиять на качество прогнозов.

Заблаговременное оповещение населения о возможном стихийном бедствии может спасти человеческие жизни, как и хорошо спроектированное, с учетом проведенных сеансов моделирования, транспортное средство.

В рамках данной статьи будет проведено небольшое моделирование (касающееся многих природных и техногенных процессов), чтобы разобраться, что нам могут предложить электромобили – будущее без углеродных следов или что-то иное.

Автомобили, не создающие по ходу своей работы выхлопные газы, негативно влияющие на нашу окружающую среду – звучит действительно здорово. Электромобили не генерируют токсичных газов по типу оксидов азота или полициклических углеводородов, однако это не значит, что их популяризация и дальнейшее применение приведет к углеродной нейтральности.

Однако правительства некоторых государств так не считают, и готовы отказаться от выпуска автомобилей, использующих ДВС, к 2035-2050 году. Автор полагает, что к принятию таких решительных шагов надо относиться со всей серьезностью и пониманием последствий.

Почему автор статьи не считает электромобили решением проблемы выхлопных газов? Потому что есть несколько нижеописанных нюансов, которые представляют собой несовершенства процессов получения и хранения электроэнергии. Перечислим их.

Первая причина – электрические аккумуляторы. Под электромобилем мы будем рассматривать именно транспортные средства, которые не используют электрические рельсы и имеют свой автономный источник энергии, то есть электрический аккумулятор. Он (аккумулятор) является химическим источником тока, что означает получение электрической энергии в результате химических реакций. Существуют несколько типов аккумуляторов, но все они требуют тех или иных химических элементов, добыча которых очень дорога и часто приводит к опустыниванию местности. И уже сегодня существует проблема с дефицитом необходимых для аккумуляторов химических элементов, а теперь представьте, насколько нужно будет увеличить производство этих элементов, чтобы хотя бы каждый 5 имел свой электромобиль (Сейчас электромобилей менее 1 процента из всего количества автомобилей).

Вторая причина – источники электроэнергии. По данным, полученных из открытых источников, можно увидеть, что до сих пор в качестве основных источников электроэнергии выступают уголь, торф и природный газ. Эти элементы просто сжигают для получения энергии, а выбросов они генерируют изрядно. А если увеличится потребление электроэнергии (что непременно случится при повсеместном использовании электромобилей), то увеличится и количество ТЭС, генерирующих токсичные выбросы. Не каждая страна захочет брать ответственность и построить АЭС, возобновляемые источники тоже не без недостатков. Например, для построения солнечных панелей необходимо использование дефицитного кремния, но генерация энергии не постоянна (зависит от погоды). Ветряные мельницы тоже не постоянно генерируют энергию, являются причиной вибраций (рядом жилые здания не поставят) и очень дороги в строительстве и обслуживании. Исключением является гидроэнергетика, ведь она возобновляема и стабильна в генерации энергии. Сила воды действительно может питать целые государства (Исландия, Канада, Швеция и Парагвай), однако сможет ли она в одиночку справиться с запросами электромобилей? Сомнительно. Но если ГЭС хотя бы позволит снизить количество ТЭС, то это уже будет небольшая победа.

Третья причина – ценовой фактор. Сейчас компании, занимающиеся производством электромобилей, живут за счет дотаций и налоговых послаблений, но некоторые из них все равно разоряются из-за сильной нерентабельности данного бизнеса. Электромобили стоят очень дорого из-за использования высокотехнологичных аккумуляторов, которые не и думают терять в цене. Пока что электромобили могут позволить себе только обеспеченные люди, и государству нужно будет тратить солидную часть бюджета на дотации, которые позволят обычным людям приобщиться к электромобилям. Если государство хочет этого, конечно. Нужно еще обеспечить людей зарядными станциями и генерировать огромное количество энергии, а точнее более чем в два раза, чем сейчас.

Судьба электромобилей, по мнению автора, сейчас зависит от науки. Если появятся научные разработки, которые решат вышеописанные проблемы, то это будет действительно достойная замена автомобилям с ДВС. А если нет, то тогда сомнительна польза от отсутствия выхлопов непосредственно от электромобиля.

У автомобилей с ДВС тоже есть свои недостатки: вышеописанный выброс токсичных газов, низкий КПД(30-40%) и так далее. Вред от ДВС можно снизить, отказавшись от личного транспорта в пользу общественного транспорта и велосипеда, однако человечеству трудно отказаться от чувства комфорта и социального самоутверждения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кашкаров А. П. Современные электромобили. Устройство, отличия, выбор для российских дорог // ДМК-Пресс, 2018. - 92 с.
2. Щетина В. А., Морговский Ю. Я. Электромобиль. Техника и экономика // Машиностроение. 1987. - 253 с.

## СЕКЦИЯ 3.6 СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.313.84

Р. А. АПТЫКАЕВ

*aptykaev2016@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук В. Е. ВАВИЛОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

### СТАРТЕРЫ-ГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ МАРШЕВЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**Аннотация.** Основное внимание в работе акцентируется на сочетании стартера и генератора в одном устройстве. По сравнению с турбокомпрессорными и воздушными пусковыми устройствами, электрические перспективнее за счет низких массогабаритных показателей.

**Ключевые слова:** стартер-генератор; газотурбинные двигатели.

Запуск газотурбинного двигателя производится принудительно, в процессе которого стартер является важным составляющим. Поэтому огромное внимание уделяется на сочетание функций стартера и системы генерирования электрической энергии в одном устройстве, который в дальнейшем будет называться «стартер-генератор».

Данная технология позволит выполнить требования растущим потребностям к энергоэффективности и надежности авиационных систем.

При этом система предельно автоматизируется, с целью предоставления заданной стабильности протекания процессов запуска и устранения механических и тепловых перегрузок элементов двигателя.

Из-за небольшого пространства целесообразным решением для ЛА является использование стартер-генераторов, встраиваемые в газотурбинные двигатели, для поддержки двигателя в достижении нужной скорости холостого хода, выработки энергии для привода вспомогательных средств и роста общей эффективности системы.

В зависимости от газотурбинного двигателя, в них могут использоваться один и более стартер-генераторы, так, например, АИ-20, оборудована двумя стартер-генераторами СтГ-12, АИ-24 оборудован одним СтГ-18.

В двигателях внутреннего сгорания они работают высоким показанием КПД, когда стартер-генератор производит энергию в качестве вспомогательной нагрузки двигателя и подводит ее в аккумуляторную батарею или берет ее для поддержания работоспособности двигателя, минимизирует выброс выхлопных газов, а также просты по конструкции и управлению, не трудные в автоматизации процесса запуска, имеют высокую надежность. Но с увеличением мощности растет их масса и габариты.

Во время запуска газотурбинного двигателя стартер-генератор работает как стартер (в двигательном режиме), а когда газотурбинный двигатель запустится, переходит в генераторный режим и, принимая механическую энергию от ГТД, работает как источник электроэнергии на борту самолета.

Электрические стартер-генераторы чаще используются для небольших газотурбинных двигателей в гражданской авиации. Но в последние годы происходит стремительное развитие авиастроения в сторону более электрических самолетов, которая предполагает уход от гидравлических, пневматических и механических блоков к электрическим системам, предполагающие минимальные потери на преобразование энергии и возможно регулирование на высшем уровне.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лёвин А.В., Халютин С.П., Жмуров Б.В. Тенденции и перспективы развития авиационного электрооборудования // Научный вестник МГТУ ГА. 2015, вып. № 213. С. 50-57.
2. Исмагилов Ф.Р. Имитационная модель авиационного стартер-генератора // Авиакосмическое приборостроение. – 2014. – № 9. – С. 27.
3. Электрический самолет. Концепция и технологии / А.В. Лёвин, С.М. Мусин, С.А. Харитонов, К.Л. Ковелев, А.А. Герасин, С.П. Халютин; под ред. С.М. Мусина. – Уфа: УГАТУ, 2014. – 388 с.
4. Волокитина Е.В. Исследования по созданию системы генерирования и запуска маршевого двигателя в концепции полностью электрифицированного самолета. Часть 1 // Электроснабжение и электрооборудование. 2011, вып. № 4. С. 29- 33.

УДК 621.313.84

Д. М. АЛЬМУХАМЕТОВ

*Dinis.99.99@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук В. Е. ВАВИЛОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **СТАРТЕРЫ-ГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

**Аннотация.** В данной статье сделан обзор существующих систем стартер-генераторов. Системы в стартерном режиме позволяют производить запуск ДВС намного быстрее и с меньшим уровнем шума. В генераторном режиме системы позволяют питать бортовую сеть и системы ДВС.

**Ключевые слова:** стартер-генератор; авиационные поршневые двигатели.

В настоящее время газотурбинные двигатели потеснили авиационные поршневые двигатели, сдвинув их тем самым на задний план в современном авиастроении. Причиной тому послужили явные недостатки АПД в виде: низкого соотношения мощности к весу, ограничению по тяге, так как такие двигатели как правило имеют винт, поверженный “эффекту запираения” и т.д., но несмотря на недостатки, данный тип двигателя все еще активно используется в гражданской авиации. Главная причина востребованности таких двигателей в их экономности и простоте изготовления, по сравнению с ГТД.

Первые АПД запускали путем поворота гребного винта - это самый старый и простой метод, отсутствие какой-либо бортовой стартовой системы, дающее ощутимую экономию веса. Но из соображений безопасности были разработаны и в дальнейшем применялись такие способы запуска АПД как: запуск при помощи стартера Хакса, натяжного шнура, стартера Коффмана, пневматического стартера, а в дальнейшем и электростартера, который в последствии совершенствовался и предстал перед нами в виде стартер-генератора.

Стартер-генератор – это представляет собой шестиполюсную машину постоянного тока, шунтового возбуждения, теплостойкого исполнения. Стартер-генератор используется при работе в стартерном режиме – для запуска двигате-

лей, а при работе в генераторном режиме – для питания самолетной бортовой сети.

Плюсом такой конструкции является ее безусловно низкие массогабаритные показатели, которые является одними из основных при проектировке самолетов гражданской авиации. За счет уменьшения массогабаритных показателей, появляется возможность снарядить самолет полезной массой (грузом).

На сегодняшний день был разработан стартер-генератор для двигателя АПД-500 мощностью 500 л.с., установленный на самолете Як-18Т для проведения летных испытаний. Данный проект был представлен Центральным институтом авиационного моторостроения имени П. И. Баранова (ЦИАМ им. П. И. Баранова)

Так же есть и зарубежные разработки – это стартер-генератор 250SG125Q-1, производимый Американской компанией Gelbyson SRL, с номинальной мощностью 7,5 кВт в генераторном режиме, при номинальном напряжении 27В.

К сожалению, на данный момент в мире очень мало успешных проектов стартер-генераторов для АПД. Но данное изобретение довольно перспективно в должном исполнении, ведь СТГ имеет явные преимущества, которые внесут весомый вклад в развитие авиастроения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Техническое обслуживание электрооборудования самолета Як-18Т: Метод, указания /Самарский гос. аэрокосмический унив-т. сост.: Н.Н. Игонин: Самара 2020 с. 41
2. Генделевич А.М. Электрооборудование самолета М-101Т и его летная эксплуатация: учеб. Пособие / А.М. Генделевич. –Ульяновск: УВАУ ГА, 2006. – 95 с.
3. Системы запуска авиационных двигателей: Метод , указания / Самар, гос. аэрокосм, ун - т; Сост. И .В. Таммекиви. Самара, 2002. 34 с.



УДК 621.31

Р. М. АМИНЕВ

*ramil-aminev@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. М. В. ОХОТНИКОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **БЕСПРОВОДНОЕ ЗАРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО НА ОСНОВЕ ИНДУКЦИОННЫХ КАТУШЕК**

**Аннотация.** В данной работе рассматривается система беспроводной передачи энергии с использованием низкочастотных магнитных полей, выполненная из двух индукционных катушек. Представлены перспективы использования электромобилей в современном обществе. Приведены компоненты данной беспроводной зарядки.

**Ключевые слова:** беспроводная зарядка; индукционная катушка; электромобиль; электродвигатель.

На сегодняшний день ведущие компании автомобилестроения активно ведут производство и продажи электромобилей, так как двигатели внутреннего сгорания, работающие на бензиновом и дизельном топливе, имеют ряд недостатков перед электродвигателями [1]. Одним из преимуществ электродвигателей является то, что обслуживание и ремонт такого электромобиля намного дешевле, так как его конструкция устроена довольно просто [2]. Главным же преимуществом является полное отсутствие выхлопов, которые загрязняют окружающую среду, а так же электроэнергия, расходуемая аккумуляторами, намного доступнее топлива, в том числе аккумулятор имеет возможность восполнять свою энергию даже во время поездки [3]. Для подзарядки такого аккумулятора применяются различные типы зарядных устройств, такие как: питание от сети с напряжением 220/380 Вольт, от бензогенераторов, постоянным током, а так же беспроводное питание. Преимуществом беспроводного типа зарядного устройства заключается в том, что такой тип полностью освобождает от проблем с проводами и разъемами.

Предлагаемая авторами конструкция способна заряжать небольшие аккумуляторы. Данное исполнение позволяет повторять форму заряжаемого объекта, независимо от формы поверхности.

В качестве основы используется плоский силиконовый материал, который способен выдерживать рабочую температуру до 200 градусов, имеет толщину всего 1 мм. Для возможных экспериментов были выполнены несколько модификаций элементов имеющие габариты 20,5x10x0,2 см., представленные на рис. 1.

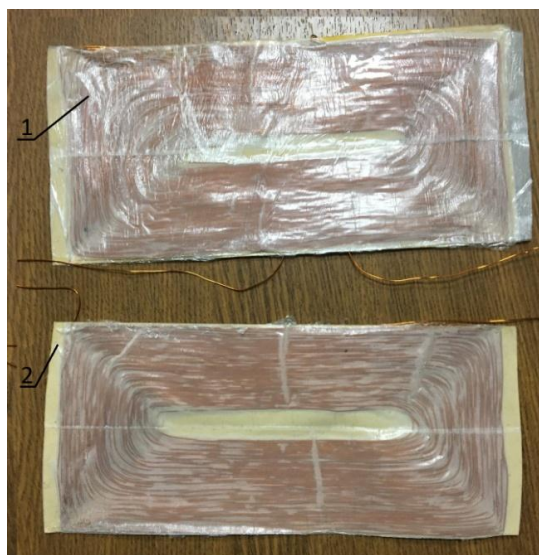


Рис. 1. Элементы индукционного зарядного устройства:  
*1 – обмотка; 2 – изолирующий экран*

Экспериментальное устройство может работать от напряжения в 220 В с частотой  $f=50$  Гц. Катушка выполнена из меди диаметром  $d=0,5$  мм ГОСТ 5307-50 длиной  $l=25$  м.

Область применения подобных систем, позволяющие восполнять энергию различных аккумуляторов бесконтактно, довольно обширна. Возможностями предлагаемой системы является использование их в различных сферах эксплуатации, такие как: сухопутных, водных и воздушных. Так же есть возможность применить данные компоненты в создании беспроводной, бесконтактной зарядки, которая будет осуществлять питание аккумуляторов во время движения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев Д.М., Радченко А.Д., Чакмин И.А., Богданов В.А., *Электромобиль // Новые импульсы развития: вопросы научных исследований*, 2021.
2. Тойлыбек А.Е., Сейимхан С., *Электромобиль - транспорт будущего // Universum: технические науки*, 2018.
3. Ивлев С.Н., Мирзоев Г.К., *Электромобили ОАО “АвтоВАЗ” // Транспорт на альтернативном топливе*, 2012.

УДК 621.365

Р. М. АМИНЕВ, А. Р. МИРСАЯПОВ

*ramil-aminev@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. М. В. ОХОТНИКОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## УНИВЕРСАЛЬНАЯ ИНДУКЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБОГРЕВА ТРУБОПРОВОДОВ ГИДРОЗАКЛАДОЧНОГО КОМПЛЕКСА «ИНДУКЦИОННОЕ ОДЕЯЛО»

**Аннотация.** В работе рассматривается система индукционного обогрева в виде «гибкого одеяла», выполненная с возможностью обогрева сложных поверхностей, в частности как вариант обеспечения необходимого температурного режима трубопроводов гидрозакладочного комплекса. Рассмотрена роль трубопроводного транспорта в топливно-энергетическом секторе экономики России, а так же приведена модель «гибкого одеяла».

**Ключевые слова:** парафин; индукционное одеяло; трубопровод; транспортировка; индукционный нагрев.

Парафины — смесь предельных углеводородов (алканов), содержащихся в нефти в растворенном или кристаллическом состоянии. Парафины в виде кристаллов могут выделяться из нефти, если ее температура опустится ниже определенного порога — температуры начала кристаллизации парафинов, который зависит от химического состава нефти и от молекулярной массы растворенных в ней парафинов [1]. Парафины могут отлагаться в любом месте нефтепромысловых систем. Отложение парафинов в трубопроводах приводит к снижению их пропускной способности и к возрастанию перепада давления по длине трубопровода вплоть до полной его остановки в результате образования глухой парафиновой пробки. Это создает потенциальную экологическую угрозу, так как из-за повышения давления могут происходить порывы трубопроводов. Данная проблема актуальна в России и за рубежом, поэтому прогнозирование образования отложений парафинов в трубопроводах является важной задачей.

Для транспортировки нефти по нефтепроводам, необходим индукционный нагрев, который предотвращает отложения на стенках труб и затвердевание [1]. Индукционный нагрев позволяет уменьшить вязкость транспортируе-

мых веществ и обеспечить работоспособность этих трубопроводов. Индукционный нагрев характеризуется выделением тепла в проводящем нагреваемом объекте и бесконтактной передачей энергии. Индукционный нагреватель работает следующим образом: при пропускании переменного тока по индукционным катушкам создается электромагнитное поле, которое концентрируется на металле и нагревает ее вихревыми токами [2]. Предлагаемая авторами конструкция, способна решить недостатки применения существующих конструкций индукционного нагрева за счет выполнения устройства из отдельных сегментов, состоящих из нескольких катушек, соединенных параллельно. Данное исполнение позволяет, полученному нагревательному элементу повторять форму обогреваемого объекта, которое предоставляет возможность использования его на различных участках трубопровода. При этом каждая катушка системы покрывает небольшую поверхность обогреваемого объекта, повторяя его форму, не зависимо от формы поверхности.

Общие характеристики системы:

Система является модульной и подстраиваемой под требуемые параметры;

Размеры составного элемента индукционного одеяла - 20,5x10x0,2 см;

Максимальные размеры зависят от конкретного объекта обогрева;

Питающее напряжение - 24/220/380 В;

Частота питающего тока - 50 Гц;

Рабочая температура - 65-120 °С;

Устройство (рис. 1) имеет модульную конструкцию, универсальное исполнение и является саморегулируемой системой обогрева, с возможностью отключения невостребованных элементов, возможность оптимизации под геометрию обогреваемой поверхности. Срок изготовления промышленного образца составит от трех до девяти месяцев.

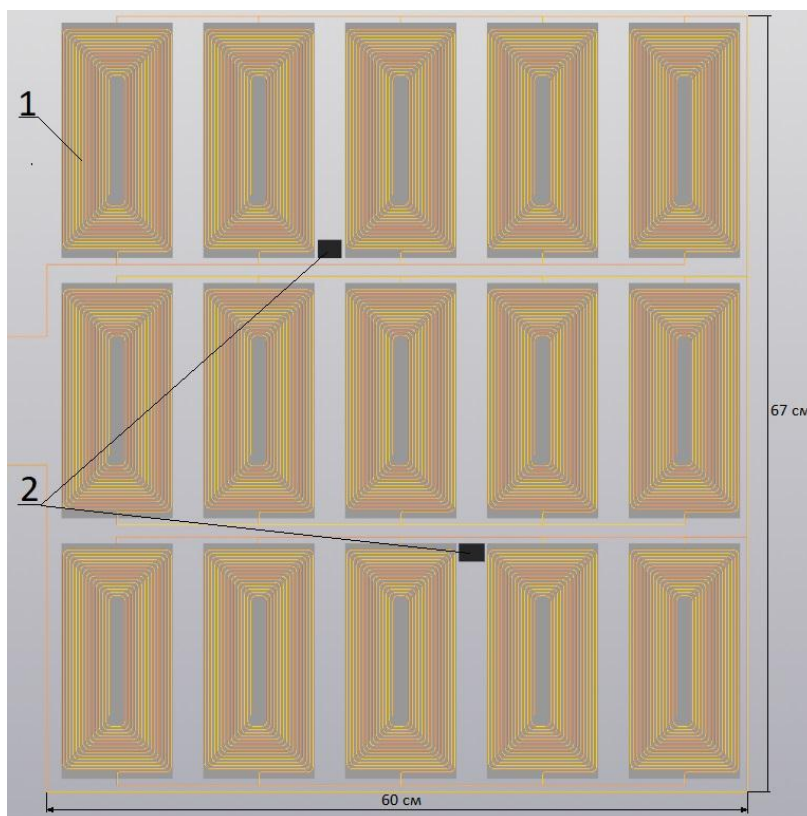


Рис. 1. Конструктивная схема индукционного одеяла:  
*1 – медная катушка; 2 – датчики температуры*

Трубопроводный транспорт в России является одним из ключевых составляющих топливно-энергетического сектора экономики страны. На сегодняшний день это самый дешевый способ по доставке нефти на места непосредственного потребления [3]. На данный момент длина магистральных трубопроводов в нашей стране составляет примерно 220 тыс. км. Трубопроводный транспорт позволяет круглогодично, практически бесперебойно перекачивать нефть на любые расстояния, с минимальными потерями груза и затратами. Данная система особенно необходима для нагрева различных трубопроводов в зимнее время года, а так же в условиях крайнего севера.

На данный момент изготовлен опытно конструкторский образец индукционного одеяла. Конструкция имеет высокую температуру нагрева, а так же обладает малыми массогабаритными характеристиками. Опубликованы научные работы с представлением необходимости данной конструкции индукционного нагрева, модель индукционного одеяла и расчет основных параметров. Есть возможность оптимизации предлагаемой системы для железнодорожной и

машиностроительной отраслей, в том числе для использования ее в качестве разогрева деталей автомобилей в полевых условиях крайнего севера при питании от бортовой сети автомобиля 12-24 В.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маркин А.Н., Суховерхов С.В., Исследование кинетики выделения парафинов из нефти // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук, 2011.
2. Дмитриевский В.А., Прахт В.А., Сарапулов Ф.Н., Индукционный нагрев движущихся стальных трубных заготовок // LAP Lambert Academic Publishing, 2011.
3. Проворная И.В., Трубопроводный транспорт России в системе поставок углеводорода // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2012.

М. А. БЕРЛОВ, Р. Д. КАРИМОВ, Д. А. КАЮМОВ  
*berlov.mihail@mail.ru, ruslan-k88@yandex.ru, atsfya@bk.ru*  
Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Р. Д. КАРИМОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АНАЛИЗ КОНФИГУРАЦИЙ ГИБРИДНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ АВИАЦИИ**

**Аннотация.** В данной статье рассматривается состояние современных гибридно-электрических силовых установок, а также проводится анализ типов конфигураций подключения электродвигателя и двигателя внутреннего сгорания. Рассмотрена актуальность таких установок в настоящее время.

**Ключевые слова:** гибридная силовая установка; электродвигатель; авиация; электрический самолет; конфигурации ГСУ.

Такая проблема как изменение климата, привлекает все большее внимание к воздействию выбросов на окружающую среду. Это заставляет авиационную промышленность исследовать больше электрических и гибридных электрических силовых установок в качестве потенциального пути снижения выбросов в течение последних нескольких десятилетий. Также это было мотивировано вниманием со стороны регулирующих органов, таких как Международная организация гражданской авиации (ИКАО), которая ввела стандарты сертификации уровней шума и  $\text{NO}_x$  на коммерческих рейсах на 2020-е годы [1]. На авиацию приходится 2% выбросов  $\text{CO}_2$  и 3% выбросов углекислого газа. Прирост парниковых газов во всем мире в долгосрочной перспективе ожидается в среднем на 4–5% ежегодно. Если не будут приняты меры по контролю за этим, ИКАО ожидает, что выбросы примерно утроятся к 2050 году, что будет составлять 25% мировых выбросов углерода [2]. Внедрение в самолеты гибридных силовых установок это один из способов снижения расхода топлива и выбросов в атмосферу.

Несмотря на то, что небольшой полностью электрический самолет уже существует, вес и надежность электроприводов и накопителей энергии затрудняет применение электрической тяги в коммерческих транспортных самолетах.

В этой статье рассматривается состояние современных гибридно-электрических силовых установок, а также сравнивается три типа конфигураций подключения электродвигателя и двигателя внутреннего сгорания.

Гибридная силовая установка (ГСУ) представляет собой симбиоз теплового и электрического двигателя. В качестве теплового используется поршневой или газотурбинный. В авиационной ГСУ электрическая часть подключается на взлете и посадке летательного аппарата, в то время как основная часть полета происходит за счет только тепловой машины. ГСУ считается одним из наиболее перспективных направлений развития современного двигателестроения. Развитие ГСУ и их интеграция в состав летательных аппаратов различного назначения является одной из наиболее актуальных тенденций развития рынка авиадвигателей. На сегодняшний день существует три типа конфигураций ГСУ: последовательная, параллельная и последовательно-параллельная [3].

В последовательной конфигурации винт приводится в движение непосредственно от электрической машины. Химическая энергия топлива преобразуется в механическую энергию, а затем в электрическую с помощью генератора и, наконец, хранится в батареях. Затем накопленная энергия подается в электрическую машину, которая вращает винт для создания движущей силы. Эта электрическая энергия может храниться в батарее или напрямую использоваться для запуска электрической машины. Несмотря на то, что это простейшая конфигурация, долгий путь преобразования энергии приводит к значительным потерям. Последовательная конфигурация обладает большим весом, и лучше всего подходит для применения в системах с низкой скоростью и высоким крутящим моментом.

В параллельной конфигурации винт может приводиться в движение либо ДВС, либо электрической машиной, либо их комбинацией. И ДВС, и электрическая машина подсоединены через механическую муфту к винту, который может находиться на валу ДВС или электрической машины, и может включаться или отключаться в зависимости от режима работы. В качестве альтернативы



ДВС может приводить в движение как винт, так и электрическую машину в качестве генератора для выработки электроэнергии и тем самым заряжать аккумулятор. Эта конфигурация обычно используется в гибридных наземных транспортных средствах.

Последовательно-параллельная конфигурация — это режим, который представляет собой комбинацию последовательной и параллельной конфигурации; эту конфигурацию также можно назвать конфигурацией с разделением мощности. Винт, электрическая машина, генератор и ДВС подключены к планетарной передаче. Возможность комбинировать два источника питания эффективно улучшает общую конструкцию конфигурации с разделением мощности и может привести к повышению топливной эффективности при одновременном снижении выбросов. В отличие от системы с параллельной конфигурацией, конфигурация с разделенной мощностью не включает муфту для передачи механической энергии на винт. Это устройство является сложным и тяжелым, и его нельзя использовать ни в пилотируемых, ни в беспилотных самолетах. Таким образом, конфигурация с разделением мощности в основном используется в наземных транспортных средствах.

Исходя из всего вышесказанного при выборе оптимальной гибридной силовой установки нужно сравнивать параллельную и последовательную конфигурацию в зависимости от мощности и назначения самолета. Ниже приводится краткое сравнение этих двух конфигураций.

Параллельно-гибридная компоновка с 0% гибридизации — это, по сути, обычная силовая установка, а параллельно-гибридная компоновка со 100% гибридизацией фактически является полностью электрической силовой установкой. Как показано в исследованиях [4,5], последовательная схема включения гибрида всегда хуже, чем параллельный гибрид при аналогичном наборе параметров. Это вызвано дополнительной массой, которую добавит система генератора к самолету, соответствующим снижением тягового КПД и тот факт, что электродвигатель должен быть рассчитан на максимальное  $P / W$ . Преимуще-

ство последовательных гибридных систем в том, что они обладают геометрической гибкостью. Электродвигатель может быть установлен независимо от расположения двигателя внутреннего сгорания. Это позволяет создавать схемы распределенных силовых установок, которые могут воспользоваться благоприятным взаимодействием с двигателем. Таким образом, применение последовательной гибридной схемы с одной стороны ведет к увеличению веса двигательной установки, а с другой к улучшенной аэродинамической эффективности.

Малогабаритные, полностью электрические самолеты теперь возможны с использованием относительно маломощных электрических машин и приводов; тем не менее, применение мощных электрических машин и приводов остается проблемой, которую необходимо решить для создания более крупных электрических самолетов. Это объясняется необходимостью уменьшать вес и объем всех частей системы по мере того, как технология продвигается к более высокому уровню мощности электродвигателя.

Несмотря на то, что большому полностью электрическому самолету еще далеко до воплощения в реальность из-за проблем с хранением энергии, несколько небольших полностью электрических самолетов было успешно продемонстрировано по всему миру (Boeing Aerospace eFlyer 2, Solar Impulse 2, Airbus E-Fan, Extra EA 330LE-Siemens, White Lightning, Lilium). И в настоящее время активно продолжается проведение летных демонстраций с гибридными и полностью электрическими самолетами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. B. J. Brelje and J. R. R. A. Martins, "Electric, hybrid, and turboelectric fixed-wing aircraft: A review of concepts, models, and design approaches," *Prog. Aerosp. Sci.*, vol. 104, pp. 1–19, Jan. 2019.
2. The International Council on Clean Transportation. Accessed: Nov. 14, 2019. URL: <https://theicct.org/publications/co2-emissions-commercial-aviation-2018> (дата обращения 18.09.2021)
3. Каюмов Д.А., Каримов Р.Д., Берлов М.А. Обзор гибридных автомобилей. Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей VII международной научной конференции. 30–31 июля 2021 г. – Казань: ООО «Конверт», – 2021 - С. 54-55

4. Finger, D. F., Braun, C., and Bil, C., “Initial Sizing Methodology for Hybrid-Electric General Aviation Aircraft,” *Journal of Aircraft*, Vol. 57, No. 2, 2020, pp. 245–255. <https://doi.org/10.2514/1.C035428>
5. Finger, D. F., Braun, C., and Bil, C., “Case Studies in Initial Sizing for Hybrid-Electric General Aviation Aircraft,” *AIAA/IEEE Electric Aircraft Technologies Symposium (EATS)*, AIAA Paper 10 Article in Advance / FINGER, BRAUN, AND BIL Downloaded by UNIVERSITY OF GLASGOW on June 2, 2020 | <http://arc.aiaa.org> | DOI: 10.2514/1.C035897 2018-5005, 2018. <https://doi.org/10.2514/6.2018-5005>

М. А. БЕРЛОВ, Р. Д. КАРИМОВ, Д. А. КАЮМОВ  
*berlov.mihail@mail.ru, ruslan-k88@yandex.ru, atsfya@bk.ru*  
Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Р. Д. КАРИМОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНО-СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ

**Аннотация.** В данной статье путем сравнения самолетов авиации общего назначения, транспортных самолетов, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и воздушного такси с вертикальным взлетом и посадкой (VTOL), определяется вид самолетов в котором внедрение гибридной силовой установки принесет наибольшую выгоду. Рассмотрена актуальность гибридно-электрических самолетов в настоящее время.

**Ключевые слова:** гибридная силовая установка; электродвигатель; авиация; электрический самолет.

Пожалуй, самое многообещающее решение для сокращения выбросов в атмосферу от авиации — это разработка нового самолета с гибридно-электрическими силовыми установками. К сожалению, существует ряд проблем, создающих препятствия для успешной разработки гибридно-электрического самолета. Ключевым элементом этих проблем является система накопления энергии. Чаще всего аккумулятор, используемый в гибридно-электрических самолетах, обладает низкой удельной энергией, термической нестабильностью, ограниченным сроком службы (циклы зарядки-разрядки) и требует длительного времени для зарядки [1,2]. В то же время электрические двигатели обладают очень высоким КПД и малой массой на единицу мощности. Для двигателей внутреннего сгорания КПД невысокий, а масса на единицу мощности большая. Тем не менее, их компактные и легкие системы хранения энергии (топливо на основе углерода) по-прежнему делают их очень востребованными для самолетов. В связи с этим на данном этапе развития технологий более перспективным является внедрение в самолеты гибридно-электрических силовых установок.

В автомобильной промышленности гибридно-электрические трансмиссии используются для повышения эффективности силовой установки [3]. Каждая

часть двигательной системы спроектирована таким образом, чтобы общая производительность находилась на максимальном уровне, и каждая часть работала с максимальной производительностью. Таким образом, двигатели внутреннего сгорания обеспечивают постоянную мощность, а электрические системы включаются в короткие периоды для увеличения мощности во время разгона. Такой режим работы также выгоден для гибридных электрических самолетов.

Гибридно-электрические двигательные системы больше всего подходят для самолетов с изменяющейся мощностью [4]. Лучше всего обеспечить постоянную базовую нагрузку на двигатель внутреннего сгорания. Кратковременные требования к высокой мощности могут восполняться электрической силовой установкой. Такая оптимизация приведет либо к уменьшению максимальной взлетной скорости самолета, либо позволит создать самолет с пониженным энергопотреблением, в зависимости от цели оптимизации. Самолеты, выполняемые с постоянной мощностью, которая не снижается значительно во время полета, вряд ли получают выгоду от гибридно-электрических силовых систем. В данной статье путем сравнения самолетов авиации общего назначения, транспортных самолетов, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и воздушного такси с вертикальным взлетом и посадкой (VTOL), определяется вид самолетов в котором внедрение гибридной силовой установки принесет наибольшую выгоду. Ожидания того, как будут работать гибридные электрические силовые установки для этих типов самолетов, описаны ниже.

Обычно самолеты авиации общего назначения больше характеризуются скоростью, чем эффективностью. В самолетах авиации общего назначения действует почасовая оплата и поэтому они часто летают на максимальной крейсерской скорости. Однако, поскольку Сертификационные спецификации требуют для этих самолетов низкой посадочной скорости, они часто проектируются с относительно низкой нагрузкой на крыло  $W/S$ . Таким образом, большее отношение подъемной силы к лобовому сопротивлению  $L/D$  достигается на низких скоростях, в то время как такой самолет летает на высокой скорости. Это тре-

бует большого количества энергии, что, в свою очередь, также помогает самолету достичь хорошей скороподъемности и короткой взлетной дистанции. По летно-габаритным характеристикам такой самолет является ограниченно крейсерским, так как характеристики во время крейсерского полета доминируют над всеми остальными требованиями к производительности. Поскольку основную часть времени такой самолет проводит в полете, этот этап также является энергоемким. Так как постоянная высокая нагрузка в крейсерском полете является доминирующей, мало ожидаемо усовершенствование технологией гибридно-электрической силовой установки для самолетов авиации общего назначения.

В то же время региональные турбовинтовые транспортные самолеты летают намного быстрее, чем авиация общего назначения, их внимание больше уделяется рентабельности, чем скорости. При этом пролетные расстояния больше. Следовательно, даже больше, чем у самолетов авиации общего назначения, крейсерский полет преобладает в энергопотреблении транспортных самолетов. В них нагрузка постоянна при высоком значении тяги. Поскольку преобладает постоянная нагрузка в крейсерском полете, мало ожидаемо усовершенствование технологии гибридно-электрической силовой установки для транспортных самолетов.

Самолеты вертикального взлета и посадки спроектированы с особым упором на взлет и фазу посадки. Для самолетов вертикального взлета и посадки требуется высокая мощность, так, подъем с электроприводом доступен на фазах полета в режиме зависания. Этот класс самолетов ограничен (вертикальным) взлетом, так как в их конструкции преобладает фаза зависания. Хотя высокие крейсерские скорости возможны, благодаря большой установленной мощности, экономические соображения запрещают использование полной мощности во время полета. Потребляемая мощность при взлете делает эту фазу доминирующей с точки зрения энергопотребления как при малых дальностях полета, так и для городской воздушной мобильности. Если необходимо преодолеть большие

расстояния, то считается, что большая часть энергии потребляется в крейсерском полете. Найти хороший баланс между этими крайностями довольно сложно. Поскольку высокие пиковые нагрузки должны поглощаться во время взлета, а средняя нагрузка в полете сравнительно невысокая, ожидается, что двигательная технология гибридной силовой установки улучшит характеристики воздушного такси вертикального взлета и посадки.

Беспилотные летательные аппараты зачастую рассчитаны на максимальную выносливость, поскольку они в основном используются для целей наблюдения. Это требует способности эффективно задерживаться на низком уровне мощности. В то же время способность обеспечить быстрый вход и выход в и из целевой области, а также возможность работы с небольших аэродромов, требует большой мощности на короткие периоды. Это означает, что преобладает потребление энергии на фазе ожидания, при постоянной низкой мощности, но установленная мощность продиктована второстепенными фазами полета. Как и воздушное такси, этот класс самолетов сложно сбалансировать, так как разные полеты требуют разной мощности. Поскольку высокие пиковые нагрузки должны поглощаться во время взлета, набора высоты, а скорость рывка к цели и средняя нагрузка в свободном полете сравнительно низки, гибридно-электрическая силовая установка, способна улучшить характеристики БПЛА.

Таким образом гибридные трансмиссии больше всего подходят для улучшения летно-технических характеристик самолетов с приводом вертикального взлета и небольшой крейсерской мощности. Подбор электрической части силовой установки в соответствии с требованиями к пиковой мощности позволит использовать небольшие двигатели, а также вес батареи будет сведен к минимуму, потому что батарея используется только в течение небольшой части общего времени полета.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gal I, Rohacs D, Rohacs J. Developing the unmanned unconventional cargo airplanes with hybrid propulsion system, 31st congress of the international Council of aeronautical sciences (ICAS), belo horizonte, Brazil, sept. 09. e 2018;14.

2. Rohacs J, Rohacs D. Conceptual design method adapted to electric/hybrid aircraft developments. *International Journal of Sustainable Aviation* 2019;5(3):175e89. <https://doi.org/10.1504/IJSA.2019.103498>
3. Берлов М.А., Каримов Р.Д., Каюмов Д.А. Схемы тяговых систем гибридных автомобилей. Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей VIII международной научной конференции. 30-31 августа 2021 г. - Казань: ООО «Конверт», - 2021. – С. 26-27
4. Finger, D. F., Braun, C., and Bil, C., “Comparative Assessment of Parallel-Hybrid-Electric Propulsion Systems for Four Different Aircraft,” *Journal of Aircraft*, Vol. 57, No. 2, 2020, pp. 1–11. <https://doi.org/10.2514/1.C035897>



УДК 621.315

Д. А. ВЕДЕШКИН

*vedeshkin.daniil@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, проф. М. В. ОХОТНИКОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

**Аннотация.** В данной работе рассматривается альтернативный источник энергии для устройств осмотра и диагностики высоковольтных линий электропередач, и контактных проводов. Работа предлагаемого источника энергии на использовании электромагнитного поля наводимого вокруг контактного, токопроводящего провода. Напряжение, передаваемое по проводу воздушных линиях электропередач достаточно высокое, и создает сильное магнитное поле вокруг себя, практически никак не используемое.

**Ключевые слова:** линия электропередачи; перемещение по проводу; робот; устройство перемещения.

На данный момент для осмотра линий электропередач (ЛЭП) и контактных проводов электротранспорта создаются роботизированные устройства, которые могут в полной мере производить диагностические операции и проводить профилактические мероприятия по устранению дефектов ЛЭП. Питание для таких устройств является слабым местом, емкость аккумуляторов не позволяет в полной мере производить продолжительные диагностические мероприятия. Некоторые участки ЛЭП имеют продолжительную длину, например между городами, для осмотра таких участков необходим постоянный источник питания.

Устройство для диагностики ЛЭП позволяет проводить диагностические мероприятия без непосредственного участия человека вблизи влияния ЛЭП, соответственно, робот может находиться на высоковольтных линиях электропередач (ВЛЭП) без необходимости отключения их от напряжения. В качестве источника электропитания для автоматизированного устройства можно использовать: аккумуляторную батарею, солнечную энергию, энергию ветра. По отдельности эти методы имеют ряд недостатков, батарею необходимо регулярно заряжать, солнечные батареи могут работать лишь в светлое время суток, а ветрогенераторы стабильно работают при наличии ветра. Рассматривая другие системы перемещения и диагностики такие как дрон «Стрекоза» компании Са-

bleWalker, имеющий время работы 20 минут [1], и устройство LineROVer, компании Hydro-Québec время работы которого составляет 30 минут [2], явным недостатком которых оказывается непродолжительное время работы, для увеличения рабочего времени которых необходим альтернативный источник энергии. Универсальным источником энергии может являться электромагнитное поле ЛЭП, возникающее вокруг провода при протекании тока, индукцию [3] которого можно рассчитать, как:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi b} \quad (1)$$

где  $\mu$  - магнитная проницаемость среды,  $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \text{ Н/А}^2$  – магнитная постоянная,  $I$  – сила тока в проводнике,  $b$ - расстояние от проводника до данной точки поля.

Для наиболее полной возможности ее использования можно рассмотреть тороидальный сердечник (рис 1), с помощью которого можно сконцентрировать данное поле и в последствии индуцировать ЭДС на вторичной обмотке. Форма такого сердечника позволит устройству перемещения по ЛЭП активно использовать индукцию провода, и преобразовывать ее в электрическую энергию. Однако для размещения тороидальный сердечника на проводе потребуется выполнить разрыв непосредственно в теле магнитопровода (рис. 1).

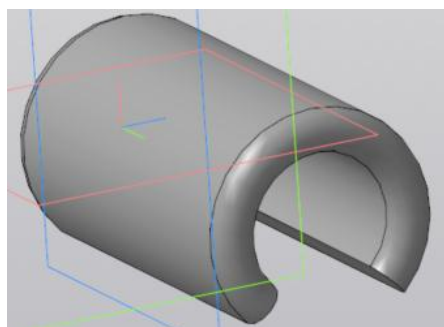


Рис. 1. Тороидальный сердечник с зазором

Тороидальный трансформатор можно рассчитать по известным методикам [3]. Согласно проведенным исследованиям определено, что для активной зарядки аккумуляторной батареи на небольших автономных устройствах необ-

ходимо напряжение в 12 В и ток 1 А. Следовательно, мощность обмотки подобного тороидального трансформатора будет равна:

$$P = I * U = 12 \text{ Вт}$$

Размеры внутреннего диаметра окружности рассчитывается исходя из размеров провода, на котором предполагается производить работу, но с учетом воздушного зазора необходимого для перемещения данного магнитопровода вдоль провода ЛЭП и сечения проводов обмотки самого трансформатора. Так, к примеру, для провода марки *СИП-3 ТУ 16-705.500-2006* диаметр которого равен 17 мм, внутренний диаметр трансформатора будет не менее 22-24 мм. Также необходимо учитывать возможные неровности провода, и его изгибы. В этом случае максимальная мощность которая будет определяться данным магнитопроводом можно рассчитать как:

$$P_{\text{вых}} = \frac{B_{\text{max}} J K_{\text{ст}} S_{\text{ст ф}} S_{\text{ок}}}{0,901} = 24 \text{ Вт}$$

где  $B_{\text{max}}$  – магнитная индукция,  $J$  – плотность тока,  $K_{\text{ст}}$  - коэффициент заполнения магнитопровода сталью,  $S_{\text{ст ф}}$  - фактическое сечение стали имеющегося магнитопровода в месте расположения катушки,  $S_{\text{ок}}$  - фактическая площадь окна в имеющемся магнитопроводе.

Таким образом в идеальном случае мы можем получить мощность на выходе равном 24 Вт. Такой мощности будет достаточно для зарядки аккумуляторной батареи и полной автономной работы универсального устройства диагностики ЛЭП.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2558002 Российская Федерация. Устройство для диагностики воздушных линий электропередач / А.Г. Шастин, Л.О. Виноградова, А.В. Лемех опубл. 03.02.2014 Бюл. № 33.
2. L. D. Gitelman, ASSET MANAGEMENT IN GRID COMPANIES USING INTEGRATED DIAGNOSTIC DEVICES, Int. J. of Energy Prod. & Mgmt., Vol. 4, No. 3 (2019) 230-243.
3. С.В. Котёнов, А. Н. Евсеев Расчет и оптимизация тороидальных трансформаторов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. -287 с.: ил.

УДК 621.31

Т. Р. ГАРИПОВ, Р. М. АМИНЕВ

30timuur99@gmail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. И. И. ЯМАЛОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВКАХ

**Аннотация.** В данной работе рассматриваются существующие виды электродвигателей, применяемые на компрессорных установках. Описаны преимущества и недостатки эксплуатируемых в настоящее время электродвигателей используемых на компрессорных установках. Приведены примеры различных типов приводов расположенных на компрессорах.

**Ключевые слова:** компрессорная установка; привод; электродвигатель; постоянный ток; переменный ток; линейный электропривод.

На сегодняшний день компрессоры широко применяются в быту и промышленности, в особенности для сжатия воздуха и других газов с целью обеспечения работы различных инструментов и оборудования. Компрессоры состоят из нескольких основных частей: привод, нагнетающая установка, емкость для сжатого газа и соединительных шлангов и труб [1]. В роли привода компрессорной установки в зависимости от ситуации используют различные типы приводов: электроприводы, приводы от двигателя внутреннего сгорания, газотурбинные приводы и в редких случаях гидроприводы [2]. В большинстве случаев приводом компрессорной установки служит электродвигатель, вследствие простоты их устройства и обслуживания, надежности в работе, а так же простоты конструкции.

Для работы компрессорных установок применяют электродвигатели постоянного и переменного тока. Электродвигатели постоянного тока имеет высокий пусковой момент и стабильную работу в условиях больших перегрузок. Главным же недостатком такого двигателя является возможность эксплуатации только при наличии источника постоянного тока или преобразователя переменного напряжения в постоянный ток. В настоящее время электродвигатели постоянного тока применяются гораздо реже, чем раньше. Их практически вытес-

нили асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Двигатели переменного тока подразделяются на синхронные и на асинхронные. Как показывает практика, в компрессорных установках предпочтительней использовать синхронные электродвигатели, так как они имеют большое количество преимуществ: при одинаковых размерах синхронные электродвигатели мощнее, КПД синхронных двигателей выше на несколько процентов, у них очень высокий коэффициент мощности ( $\cos=1$ ), они не очень восприимчивы к изменениям нагрузки и при эксплуатации в режиме перевозбуждения синхронные электродвигатели отдадут в электросеть реактивную мощность. Тем не менее, несмотря на все достоинства синхронных электродвигателей, асинхронные электродвигатели применяются сравнительно чаще, поскольку они имеют целый ряд преимуществ: простая конструкция, повышающая надежность, простая схема запуска, простая система управления оборотами и сравнительно низкая стоимость.

Помимо вышеперечисленных видов электродвигателей существуют линейные электроприводы [3]. Такие электроприводы бывают электромагнитными, магнитоэлектрическими и индукционными. У них очень низкий КПД, однако, все равно эффективны, за счет отсутствия потерь на трение.

Итак, при выборе электродвигателя для компрессорных установок необходимо определить техническую возможность применения электродвигателя в данных условиях, а так же найти наилучший вариант из технически возможных, учитывая род тока и напряжения, конструктивное исполнение и необходимый уровень шума и вибрации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдурашитов С.А., Тупиченков А.А., Вершинин И.М., Тененголец С.М., Насосы и компрессоры // Издательство «Недра», 1974;
2. Айметов И.О., Логачев А.Г., Хасанов Ш.Р., Импортозамещение электродвигателей // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика, 2016.
3. Абдуллаев М., Маткасимов М., Каримжонов Д., Применение линейных двигателей в электроприводах // Universum: технические науки, 2020.

УДК 621.313

О. А. ГЛАЗКОВ

*Oleg\_glazkov\_1999@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. А. В. ЛОБАНОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **СОВРЕМЕННЫЙ ЭЛЕКТРОВАЗ С АСИНХРОННЫМ ТЯГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**

*Аннотация.* В статье рассмотрен современный электроваз с асинхронным тяговым двигателем. Выявлена типовая конструкция двигателя, а также определены его технические характеристики.

*Ключевые слова:* электроваз; асинхронный тяговый двигатель.

Повышение эффективности железнодорожных грузоперевозок в настоящее время невозможно без своевременного обновления действующего парка электроподвижного состава и повышения его технического уровня. С учетом тяжелых эксплуатационных условий на железных дорогах сибирского и дальневосточного регионов и продолжающегося ежегодного увеличения грузопотока наиболее перспективным видом локомотивов для этих условий могут стать электровазы с асинхронными тяговыми двигателями.

В мировом опыте железнодорожного машиностроения развитию электровазов с асинхронными тяговыми двигателями (АТД) давно придается приоритетное значение. Благодаря малому удельному расходу активных материалов АТД, по сравнению с коллекторными двигателями, имеют лучшие массогабаритные показатели, требуют меньших затрат на их обслуживание, а высокая жесткость электромеханических характеристик позволяет реализовать большие значения коэффициента сцепления.

Одним из таких электровазов является магистральный грузовой двухсекционный электроваз пятого поколения 2ЭС5 («Скиф») выпущен на Новочеркасском электровазостроительном заводе (НЭВЗ, входит в состав ЗАО «Трансмашхолдинг»), Локомотив предназначен для вождения грузовых поездов на железных дорогах колеи 1520 мм, электрифицированных на переменном токе напряжением 25 кВ промышленной частоты 50 Гц.



Рис. 1. Электровоз 2ЭС5

Наличие в тяговой системе электровоза 2ЭС5 индивидуальных преобразователей для питания тяговых двигателей вызывает индивидуальную реакцию каждого из двигателей на изменение внешних условий работы хотя бы одного из них. Это снижает вероятность возникновения боксования, а при его появлении обеспечивает быстрое гашение. Таким образом, асинхронный тяговый привод с индивидуальными инверторами напряжения и поосным регулированием позволяет улучшить тяговые характеристики, снизить энергопотребление и затраты на техническое обслуживание.

На электровозе применен тяговый асинхронный двигатель 6 FRA 4567G. Он предназначен для преобразования электрической энергии, получаемой от статического преобразователя, в механическую, передаваемую с вала тягового двигателя на колесную пару электровоза. Техническая характеристика двигателя представлена в табл. 1.

Тяговый двигатель выполнен для опорно-осевого подвешивания и представляет собой шестиполусный двигатель переменного трехфазного тока с короткозамкнутым ротором и независимой системой вентиляции. Охлаждающий воздух подается в тяговый двигатель со стороны редуктора через вентиляционный люк и выходит из тягового двигателя со стороны, противоположной редуктору через вентиляционные отверстия, закрытые сеткой.



Рис. 2. Тяговый асинхронный двигатель 6 FRA 4567G

*Статор.* Механическая сборка выполняется с помощью восьми продольных пластин, которые расположены вокруг магнитной цепи, приварены к концевым пластинам и также приварены снаружи вдоль всей магнитной цепи. Механическая прочность обеспечивается за счет снятия напряжений (прокаливание при температуре примерно 600 °С). Данное решение позволяет обеспечить жесткую конструкцию двигателя.

*Ротор.* Состоит из листов магнитной стали толщиной 0,5 мм, изолированных друг от друга, с низким коэффициентом электрических потерь. Листы собраны на валу под действием высокой температуры и зажаты между двумя концевыми пластинами. Изоляция обеспечивается за счет фосфатирования после вырезки и снятия заусенцев или путем использования предварительно изолированных стальных листов.

Клетка ротора выполнена из медных стержней и колец, соединенных с помощью высокочастотной индукционной пайки твердым припоем. Конечная форма придается стержням непосредственно на последней стадии изготовления. Кольца штампуются необходимого размера и подвергаются тепловой об-



работке для обеспечения конечных механических характеристик. Двигатель динамически сбалансирован.

*Подшипники.* Подшипник роликового типа установлен с противоположной стороны редуктора. Подшипник заправляется консистентной смазкой с высокими температурными показателями. Еще одним новшеством является то, что для смазывания подшипника предусмотрено специальное смазывающее устройство, позволяющее периодически добавлять смазку, не снимая двигатель. Подшипник со стороны редуктора, являющийся частью конструкции двигателя, также является роликовым и смазывается веществом редуктора.

*Коробка выводов.* Электрические силовые соединения выполняются с помощью водонепроницаемой соединительной коробки. Подсоединение и разъединение проводов, без съема двигателя, выполняется с помощью разъединительного устройства, предполагающего предварительный разогрев соединенных частей, под кузовом локомотива.

Таблица 1

Основные параметры асинхронного тягового двигателя электровоза 2ЭС5

Наименование показателя	Значение	
	часовой	продолжительный
Номинальный режим работы		
Номинальная мощность, кВт	981	949
Номинальное напряжение, В	1860	
Фазный ток, А	360	350
Номинальная частота вращения, об/мин	1038	
КПД, %	95,4	
Расход вентилирующего воздуха при полном напоре 1850 Па, не менее, (м <sup>3</sup> /мин)	90	
Класс изоляции	класс 200 (класс С)	
Масса двигателя, кг	2660 ± 5 %	

В заключение можно сказать, что повышение эффективности железнодорожных грузоперевозок в настоящее время невозможно без своевременного обновления действующего парка электроподвижного состава, с учетом тяжелых эксплуатационных условий на железных дорогах наиболее перспективным видом локомотивов для этих условий могут стать электровозы с асинхронными тяговыми двигателями.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новочеркасский электровозостроительный завод <https://www.nevz.com/2es5.php> (30 июля 2014). Дата обращения: 18 июня 2018.
2. Часть 4. Электрические машины специального назначения. Раздел 20. Тяговые электрические машины // Справочник по электрическим машинам / Под общ. ред. И. П. Копылова, Б. К. Клокова. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — Т. 2. — 688 с.
3. Магистральный грузовой электровоз переменного тока 2ЭС5 <http://www.pult.gudok.ru/archive/detail.php?ID=1005049>

А. С. ГОРБУНОВ, Г. А. МЕРИЛОВ, И. Р. САЛАВАТОВ  
*freizer-anton@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. А. С. ГОРБУНОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ОСОБЕННОСТИ СУХИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности силовых трансформаторов с масляным и воздушным охлаждением для питания жилых домов. Приведены сведения об используемых в них магнитопроводах и обмотках. Рассмотрена технология изготовления магнитопроводов трансформаторов с современными магнитными системами на базе аморфных сплавов.

**Ключевые слова:** трансформатор; магнитопровод; обмотка.

В настоящее время для электроснабжения жилых зданий, в том числе многоквартирных жилых домов, используются трансформаторные подстанции с масляными и сухими трансформаторами. В зависимости от количества жильцов, величины жилого здания, нормативными документами предусматривается соответствующая категория электроснабжения, от которой зависит количество используемых на подстанции трансформаторов для электропитания потребителей в жилом доме. На рис. 1 показана упрощенная схема передачи электрической энергии от генератора до питаемого дома [1].

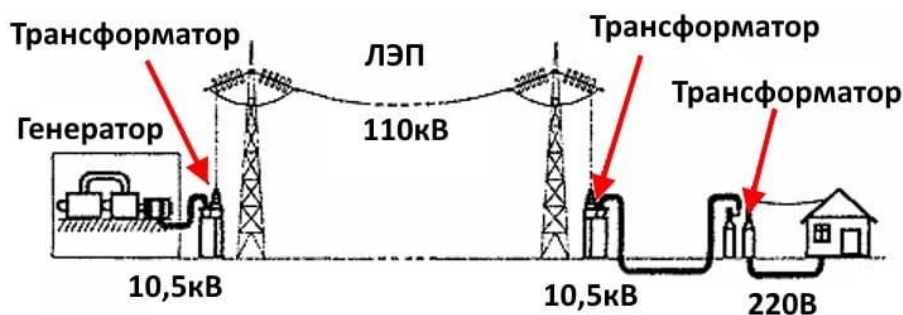


Рис. 1. Схема передачи электроэнергии

Как видно, электрическая энергия при ее передаче от генератора до нагрузки (потребители в жилом доме) несколько раз преобразуется с изменением величины напряжения при помощи силовых трансформаторов. На последней ступени преобразования электроэнергия с напряжением, например, 10 кВ

преобразуется до напряжения 380/220 В для питания потребителей в жилом доме. В таких подстанциях для преобразования напряжения для бытовых потребителей используются масляные или сухие трансформаторы. Масляные трансформаторы по сравнению с сухими обладают рядом преимуществ, к основным из которых можно отнести:

1. Более эффективный отвод тепла от активных элементов при помощи масла.
2. Более высокие величины магнитных индукций в магнитопроводе и плотностей тока в обмотках, что позволяет снизить габариты трансформатора.
3. Более эффективная изоляция в масляных каналах между элементами трансформатора по сравнению с воздушными каналами, благодаря чему размеры масляных каналов меньше, чем воздушных.

Однако недостатки масляных трансформаторов, в первую очередь связанные с применением масла, такие как: пожароопасность, опасность разлива масла из бака, необходимость периодического обслуживания (в том числе замены) масла, обуславливают применение трансформаторов сухого типа, если они располагаются в непосредственной близости к потребителям.

Основными активными элементами силовых трансформаторов являются магнитопровод и обмотки. В трехфазных трансформаторах (масляных и сухих) наибольшее распространение получила плоская трехстержневая конструкция магнитопровода (рис. 2) [2].

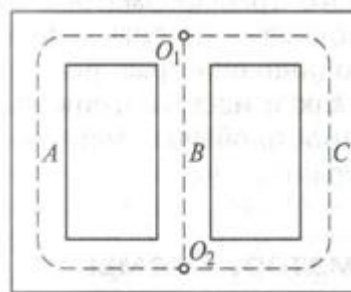


Рис. 2. Трехстержневой магнитопровод

В ранее использовавшихся силовых трансформаторах, в том числе предназначенных для питания жилых зданий, применялся способ шихтовки листов

магнитопроводов с получением косых стыков и прямых стыков в углах магнитной системы, но в настоящее время в производимых трансформаторах широко используется способ шихтовки «*Step-Lap*» (рис. 3), при котором пакеты магнитопровода собираются со смещением относительно друг друга, что позволяет минимизировать области с направлением линий магнитного потока, не совпадающим с направлением прокатки листа [3].

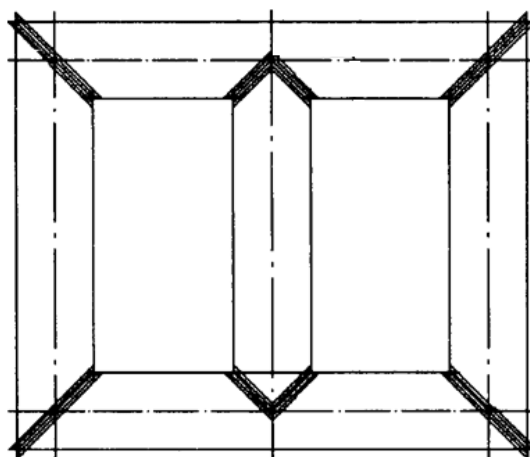


Рис. 3. Шихтовка магнитопровода по системе «*Step-Lap*»

В качестве обмоток сухих трансформаторов используются цилиндрические, винтовые, непрерывные катушечные обмотки. В качестве обмоточных проводов могут выполняться провода круглого, прямоугольного сечения, а также алюминиевая лента. В последнее время среди сухих трансформаторов все большее распространение получают трансформаторы с литой изоляцией (ТЛС) (рис. 4), благодаря чему повышается механическая прочность обмоток при коротких замыканиях, электрическая прочность, обеспечивается пожаробезопасность, экологическая безопасность [4].



Рис. 4. Сухой трансформатор с литой изоляцией

В настоящее время расширяется применение аморфной стали в качестве материала магнитопроводов трансформаторов, работающих не только при высоких частотах, но и в силовых трансформаторах промышленной частоты. В таких трансформаторах используются стержневые и бронестержневые витые магнитные системы из ленты (рис. 5) [5].

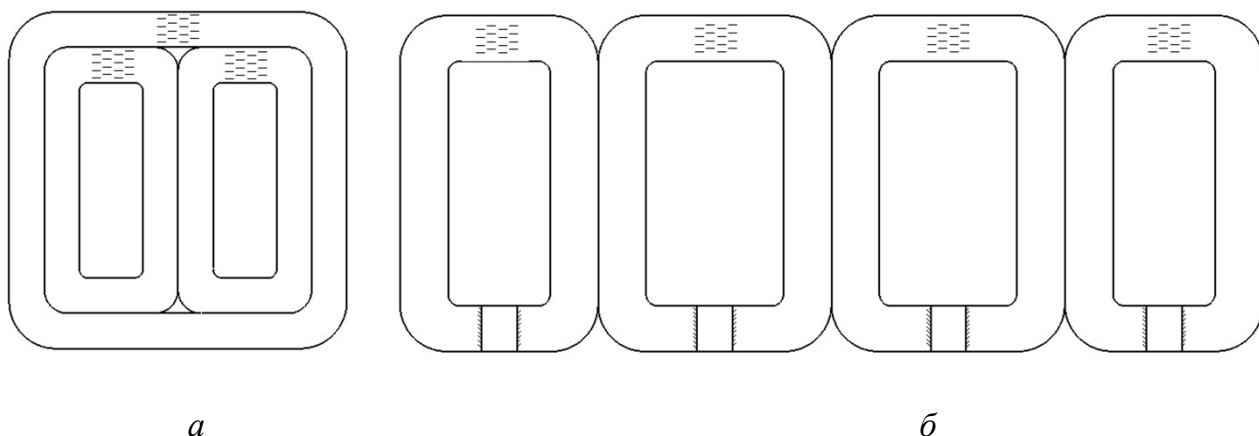


Рис. 5. Магнитные системы силовых трансформаторов из аморфных сплавов:  
*а – стержневой магнитопровод; б – бронестержневой магнитопровод*

Для изготовления таких магнитопроводов используются собранные вместе пакеты, набранные из аморфных лент, которые в дальнейшем фиксируются на оправке и скрепляются в единый магнитопровод (рис. 6).



Рис. 6. Изготовление магнитопровода из аморфной ленты

Несмотря на известные недостатки, присущие магнитопроводам из аморфной ленты, по сравнению с устройствами на базе электротехнической стали – малый коэффициент заполнения, небольшая максимально допустимая температура нагрева, ухудшение магнитных свойств при перегреве магнитопровода, более высокие массогабаритные параметры и стоимость, за счет существенно меньших магнитных потерь и малого тока холостого хода применение таких трансформаторов эффективно и они расширяют свое применение в тех областях, где применяются силовые трансформаторы с магнитопроводами из стали 3408, 3409 и подобными магнитными материалами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Характеристика и классификация сухих трансформаторов с литой изоляцией URL:<https://34rozetki.ru/svet/obmotki-suhih-transformatorov.html> (дата обращения 21.09.2021).
2. Гольдберг О.Д., Хелемская С.П. Электромеханика: учебник для студ. высш. учеб. заведений / под ред. О. Д. Гольдберга. 2-е изд., испр. М: Издательский центр «Академия», 2010. 512 с.
3. Магнитопроводы силовых трансформаторов. URL: <https://forca.com.ua/transformatori/praktika/magnitoprovody-silovyh-transformatorov.html> (дата обращения 21.09.2021).
4. Характеристика и классификация сухих трансформаторов с литой изоляцией URL: <https://otransformatore.ru/vopros-otvet/harakteristika-i-klassifikatsiya-suhih-transformatorov-s-litoj-izolyatsiej/> (дата обращения 21.09.2021)
5. Roginskaya L. [et al.] Features of amorphous steel magnetic cores for transformers operating at mains frequency // 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). 2020. P. 1-5.

И. А. ЗУБКОВ, Л. И. ЛЕВЧЕНКО, Ш. Н. ШАРАФУТДИНОВ

*zubkovv.ilya@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. И. И. Ямалов

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **К ВОПРОСУ О КОНСТРУКТИВНЫХ ИСПОЛНЕНИЯХ РОТОРОВ ВЫСОКОМОЩНОГО ГЕНЕРАТОРА НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ**

**Аннотация.** На сегодняшний день к электромеханическим преобразователям энергии (ЭМПЭ) для воздушных судов (ВС) предъявляются достаточно строгие требования по устойчивости к различному виду нагрузок и воздействий, так же не стоит забывать и о надежности всей системы. Наиболее перспективными ЭМПЭ, которые соответствуют всем необходимым требованиям для ВС, являются магнитоэлектрические ЭМПЭ, представляющие собой синхронный генератор с постоянным магнитом в роторе. Важной задачей при проектировании ЭМПЭ с постоянными магнитами является выбор конструкции ротора, так как это напрямую влияет на выходные параметры проектируемой ЭМПЭ. В данной работе рассмотрены ротора синхронных ЭМПЭ с постоянными магнитами.

**Ключевые слова:** ЭМПЭ; синхронный магнитоэлектрический генератор; ротор; конструкция ротора.

На сегодняшний день к электромеханическим преобразователям энергии (ЭМПЭ) для воздушных судов (ВС) предъявляются достаточно строгие требования по устойчивости к различному виду нагрузок и воздействий, так же не стоит забывать и о надежности всей системы. Наиболее перспективными ЭМПЭ, которые соответствуют всем необходимым требованиям для ВС, являются магнитоэлектрические ЭМПЭ, представляющие собой синхронный генератор с постоянным магнитом в роторе. Одним из основных преимуществ этих типов генераторов является отсутствие щеточно-коллекторного узла, а наличие высококоэрцитивных постоянных магнитов в качестве полюса ротора позволяет повысить мощность генератора и увеличить его КПД.

В конструкции синхронных генераторов используются две основные рабочие детали – вращающийся ротор и неподвижный статор. На валу ротора располагаются постоянные магниты. Статор синхронного генератора с постоянными магнитами ничем не отличается от статора асинхронной машины. Такая конструкция генератора позволяет устранить скользящие контакты в цепи



нагрузки генератора и надежно изолировать рабочую обмотку от корпуса машины, что весьма существенно для современных генераторов, изготовляемых на большие мощности при высоких напряжениях [1]. Также важно отметить, что для синхронных генераторов с постоянными магнитами справедливо отметить, что целесообразно применять дробные обмотки, форма э. д. с. которых лучше (ближе к синусоидальной), чем в целых обмотках [2].

Наиболее дорогостоящим узлом синхронного генератора является ротор с постоянными магнитами. От конструктивного исполнения ротора зависят как основные электромагнитные параметры изделия, так и его стоимость, простота производства и т. д. Поэтому выбор конструкции ротора является важной задачей при проектировании электрического генератора на постоянных магнитах. Поэтому далее рассмотрены конструкции ротора синхронного генератора с постоянными магнитами.

Самым простым является ротор с монолитным цилиндрическим магнитом кольцеобразного типа. Магнит 1 заливается, закрепляется на валу с помощью втулки 2, к примеру, из сплава алюминия. Магнит намагничивается в радиальном направлении на многополюсной намагничивающей установке. При высоких линейных скоростях магнит помещают в бандаж из немагнитного материала, из-за небольшой механической прочности магнитов [3].

Другим вариантом ротора с цилиндрическим магнитом является сборный ротор из отдельных сегментов 1 из немагнитной стальной оболочки 3 (рисунок 1. б). Радиально намагниченные сегментные магниты 1 закреплены на втулке 2 из магнитомягкой стали и, например, заклеены, с помощью клея. Генераторы с таким ротором при стабилизации магнита в свободном состоянии обладают формой кривой ЭДС, близкой к синусоидальной. Достоинством роторов с цилиндрическим магнитом является простота и технологичность конструкции. Недостатком – низкое использование объема магнита ввиду небольшой длины средней силовой линии полюса  $h$ . При увеличении количества полюсов значение  $h$  уменьшается и использования объема магнита ухудшается [4].

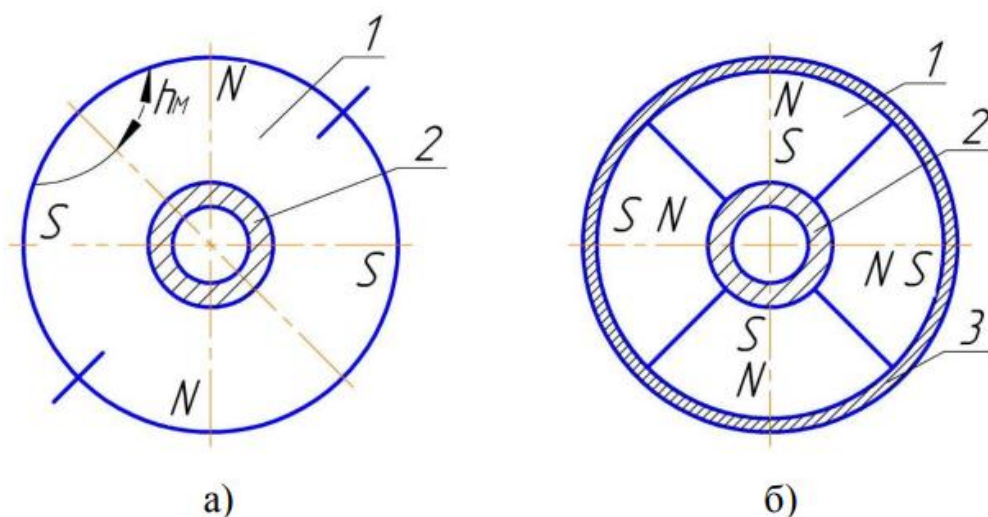


Рис. 1. Роторы с цилиндрическим магнитом:  
*а – монолитный; б – сборный*

Далее рассмотрим ротор со звездообразным магнитом с явно выраженными полюсами без полюсных башмаков. Чаще всего применяются в синхронных генераторах мощностью до 5 кВА (рисунок 2). В этом случае магнит-звезда крепится на валу посредством заливки немагнитным сплавом 2. В некоторых случаях на роторе располагают демпферную систему 3, чтобы снизить размагничивающую действия поля реакции якоря при ударном токе КЗ. Демпферную систему можно осуществить путем заливки ротора алюминием. Магнит бандажируется при больших частотах вращения. Но края полюсов могут несимметрично перемагничиваться, во время перегрузок СГ, из-за поперечной реакция якоря. Это ведет к искажению формы поля в рабочем промежутке и формы кривой ЭДС.

Для того чтобы уменьшить действие поля якоря на поле магнита используют полюсные башмаки из магнитомягкой стали. Изменив ширину полюсных башмаков, а именно, регулируя поток рассеяния полюсов, можно добиться оптимального использования магнита. К тому же, изменив взаимоположение полюсных башмаков, можно получить нужную форму поля в рабочем промежутке синхронного генератора.

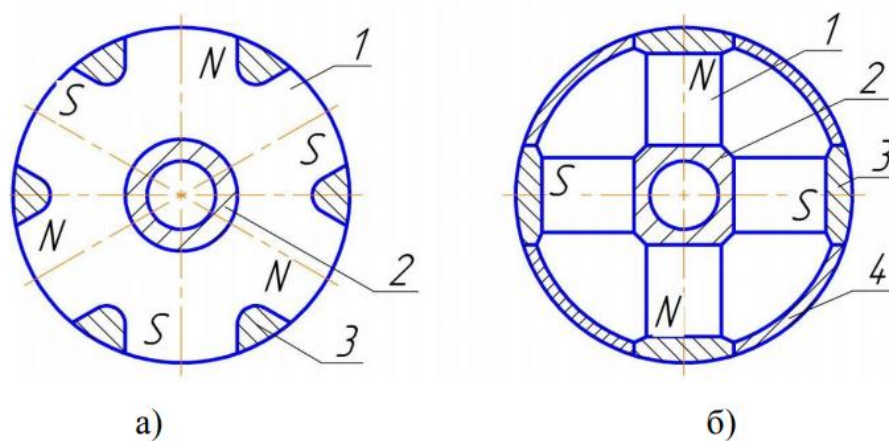


Рис. 2. Роторы звездообразного типа:  
*а – без полюсных башмаков; б – сборный, с полюсными башмаками*

На рисунке 2 б изображена конструкция сборного ротора со звездообразным типом с призматическими постоянными магнитами с полюсными башмаками. Радиально намагниченные магниты 1 установлены на втулке 2 из магнитомягкого материала. На полюсе магнитов наложены полюсные башмаки 3 из магнитной стали. Для того чтобы обеспечить механическую прочность башмаки привариваются к немагнитным вставкам 4, которые образуют бандаж. Промежутки между магнитами заполняются алюминиевым сплавом или компаундом. Недостатками звездообразных роторов с полюсными башмаками является сложная конструкция и уменьшение заполнения магнитами объема ротора.

Также есть конструкция ротора с когтеобразным полюсом. Данный вид используют в синхронных генераторах с большим числом полюсов. Когтеобразный ротор (рисунок 3) содержит цилиндрический магнит 1, намагниченный в аксиальном направлении, который размещают на втулке из немагнитного материала 2. К торцам магнита примыкают фланцы 3 и 4 из магнитомягкой стали, которые имеют когтеобразные выступления, образующие полюса. Выступления, которые расположены на левом фланце, значатся северными полюсами, а выступления расположенные на правом фланце – южными. Выступления фланцев чередуются по окружности ротора, в свою очередь, образуя многополюсную систему возбуждения. Если расположить на валу несколько магнитов с когтеобразными полюсами, то реально увеличить мощность синхронного генератора. Этот принцип называется модульным.

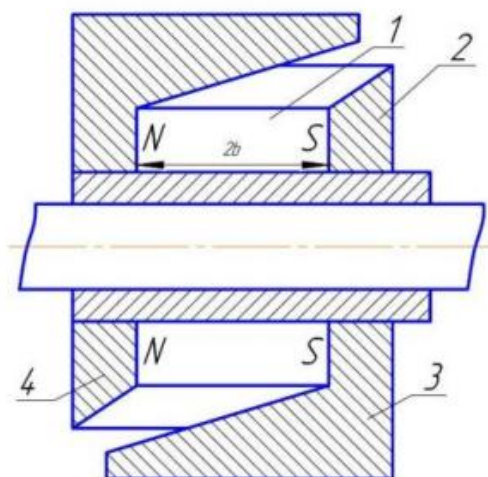


Рис. 3. Ротор когтеобразного типа

К недостаткам когтеобразных роторов можно отнести: некую сложность конструкции, сложность намагничивания магнита в собранном роторе, большие потоки рассеяния, возможный отгиб концов выступлений при высоких частотах вращения, также уменьшение заполнения магнитом объема ротора.

Итак, выбор конструкции ротора является важным этапом проектирования электрического генератора на постоянных магнитах. От выбора конструкции ротора зависят выходные параметры проектируемого ЭМПЭ. Выбор конструкции ротора может происходить не только исходя из целей достижения максимальных выходных параметров проектируемого ЭМПЭ, но и исходя из соображений минимизации стоимости, упрощения и конструкции. Поэтому при проектировании новых ЭМПЭ с постоянными магнитами, в том числе генераторов, необходимо тщательно прорабатывать вопрос выбора конструкции ротора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евсюков А. А. Электротехника: Учеб. пособие для студентов физ. спец. пед. ин-тов.— М.: Просвещение, 1979.— 248 с. (дата обращения: 03.04.2021).
2. Якорные обмотки и обмотки возбуждения [Электронный ресурс] URL: <https://websor.ru/osnovy/elektromashiny/elektricheskie-mashiny-peremennogo-toka/yakornjeob/> (дата обращения: 03.04.2021).
3. Синхронные генераторы с постоянными магнитами [Электронный ресурс] URL: [https://studbooks.net/83035/tehnika/sinhronnye\\_generatory\\_postoyannymi\\_magnitami](https://studbooks.net/83035/tehnika/sinhronnye_generatory_postoyannymi_magnitami) (дата обращения: 17.04.2021).
4. Генераторы с возбуждением постоянными магнитами [Электронный ресурс] URL: <https://artyar.ru/generatory-s-vozbuzhdeniem-postoyannymi-magnitami-sinhronnye.html> (дата обращения: 17.04.2021).

УДК 621.315.62

С. Р. КАЛИМУЛЛИН, А. М. ПАШАЛИ

*salavat.kalimullin.2015@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Д. Ю. ПАШАЛИ

*Уфимский государственный авиационный технический университет  
МАОУ «Гимназия № 91» г. Уфа*

## **ПРОМЫШЛЕННЫЕ ШРЕДЕРЫ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

**Аннотация.** В статье проанализированы конструкции промышленных шредеров для переработки твердых бытовых отходов, выбран аналог для разработки двигателя асинхронного для промышленного шредера.

**Ключевые слова:** шредер; твердые бытовые отходы; переработка; асинхронный двигатель.

Актуальной проблемой, как в России, так и во всем мире является постоянный рост твердых бытовых отходов (ТБО), поэтому вопросы управления этим процессом стоят чрезвычайно остро. Существующая в Российской Федерации система обращения с твердыми бытовыми отходами основана на захоронении или сжигании их основной массы на полигонах. Из-за малого развития отдельного сбора и обезвреживания ТБО на эти полигоны вместе с макулатурой, полимерной, стеклянной и металлической тарой поступают пищевые, медицинские отходы, ртуть содержащие отходы и т.д. Все эти ТБО разлагается, образуя биогаз и фильтрат, создавая условия для размножения и распространения возбудителей инфекционных и паразитарных заболеваний человека и животных, а неорганическая фракция под воздействием жидкой составляющей вступает в химические процессы, распространяя токсичные загрязнения в водоносные горизонты и атмосферный воздух. Развитие технологий сортировки отходов ограничено в связи с низким качеством вторичного сырья, отбираемого из смешанных ТБО, ограничением номенклатуры отходов, которые могут быть использованы в качестве вторичного сырья. Вместе с тем приоритетом развития отрасли переработки отходов потребления в настоящее время является сортировка ТБО и переработка отобранного вторичного сырья. Выходом из этой ситуации является новые технические и технологические подходы, которые смог-

ли бы обеспечить требуемую производительность переработки ТБО с запасом на будущее увеличение его объема

Известна конструкция промышленного шредера *FORUS Special Edition 250* [1], он является отличным мощным агрегатом, который соответствует потребностям для переработки мусора. Дробилки доступны для всех типов древесины, производит переработку без усилий дробления древесных отходов после сноса деревьев, зеленых черенков и корневищ. Так же эффективно измельчает пленку, бумагу, отходы, мусор и отходы электронного оборудования. В зависимости от задач настраивается управление дисковыми жерновами и управление ножом мясорубки. Преимущества: гидравлический подъемник, оцинкованная система удаления, дробления и сортировки отходов, гидравлический подъемник при дроблении и сортировки бревен, беспроводной пульт дистанционного управления. Недостатком является высокая стоимость устройства.

Известен шредер *XR* – энергоэффективный измельчитель для переработки старой древесины, пульпы, получения топливозаменителей и др. [2]. Это высокопроизводительные измельчители для производства топливозаменителей, которые можно использовать для предварительного измельчения или в качестве одноступенчатой системы обработки. При желании модель класса *XR* может быть оснащена системой рипперной, каттерной или *X*-каттерной резки. Благодаря запатентованной прутковой системе *XR* и различным видам перфорированных сит возможно регулировать размер фракции в диапазоне от 400 до 30 мм. Пропускная способность зависит от свойств материала и диаметра перфорированного сита и составляет от 10 до 70 т/ч. Области применения: промышленные и коммерческие отходы; бытовые отходы; старая древесина класса 1–4 (например, строительный лесоматериал и т. д.); легкая фракция и спрессованная пластмасса; спрессованные пластиковые мячи; пульпа; и т.д. Преимущества: не требуют частого обслуживания, очень просты в обслуживании и поэтому долговечны; возможность дистанционного устранения неполадок обеспечивают непрерывность эксплуатации вашей установки.

Известны промышленные шредеры серии *DB*, имеют два вращающихся вала, что позволяет им перерабатывать очень твердые и крупные материалы [3]. Благодаря высокой прочности ножей (*58HRC*) и системе шестигранных валов, они способны раздробить твердые и вязкие материалы, например стеклопластик. Все шредеры поставляются с автоматической системой контроля нагрузки и регулирования оборотов вала с обратным вращением (реверсом). При превышении нагрузки на редукторы, система автоматически включает реверс и равномерно распределяет сырье по камере дробления.

Двухвальные шредеры работают по принципу разрыва и резания сырья. Сырье поступает в камеру дробления. В камере установлены два шестигранных фрезерованных вала. На валах установлены ножи специальной формы и твердости. Сами ножи имеют ТВЧ или объемную закалку что позволяет им иметь заявленную твердость *58HRC (Hardox 600)*. С помощью мощных цилиндрических мотор-редукторов ножи проводятся в действие и разрывают (режут) сырье в камере дробления. Скорость валов регулируется электронным блоком и позволяет настраивать производительность, а также крутящий момент под заказчика. Завод располагает 6 видами ножей, что позволяет разрывать или резать практически любой материал. С помощью противорежущих пластин, установленных по бокам камеры, материал не наворачивается на валы и полностью измельчается. Преимущества конструкции: ножи из особых видов сталей; высокая износостойчивость кромок; удобная чистка и обслуживание машины; все узлы разборные; прямой привод силовой установки, муфта отсутствует; высокая производительность и крутящий момент; высокая надежность и простота обслуживания; компактность и мобильность шредера; низкая цена от производителя. Полный цикл изготовления на заводе.

Известна конструкция шредера *ТОПТЕХНО ТТ* [4]. Предназначен для первичной переработки бытовых отходов (ТБО), крупногабаритного мусора (КГО), строительного мусора, использованной древесины, шпал, покрышек, картона, бумаги, жестяной банки, матрацев, текстиля и т.д. Благодаря уникаль-

ной конструкции зоны дробления, даже при использовании одного дробящего вала вместо двух, достигается высокая производительность и крутящий момент. Ножи легированы сварочной проволокой высокой твердости – 60 HRC, что позволяет эксплуатировать их годами, лишь восстанавливая наплавку.

Проведен анализ промышленных шредеров для ТБО и предложена конструкция асинхронного двигателя. Автором был разработан двигатель со следующими характеристиками: мощность – 30 кВт; частота вращения – 1000 об/мин; высота оси вращения – 225 мм; степень защиты – IP 55. За аналог разработки выбран электродвигатель серии M2BAX от компании ABB (Швеция) [5]. Двигатель имеет короткозамкнутый ротор, чугунный корпус закрытого дизайна, воздушную систему охлаждения и соответствуют по показателям работы классам энергоэффективности IE2. Двигатели M2 BAX могут быть адаптированы под самые разнообразные технологические процессы, различные позиции монтажа и усиление компонентов и уровней защиты для тяжелых и особых условий эксплуатации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Промышленные шредеры [Электронный ресурс] URL: <http://eggersmann-rus.ru/forum-special-edition-250/> (дата обращения 12.08.2021).
2. Промышленные шредеры [Электронный ресурс] URL: <https://merkatorgroup.ru/equipment/obrashchenie-s-otkhodami/izmelchiteli-tbo/shredder-untha-xr/> (дата обращения 15.08.2021).
3. Промышленные шредеры [Электронный ресурс] URL: <https://infelko.ru/drobilki/shredder-dvuhvalnyy-db.html> (Дата обращения 12.08.2021).
4. Промышленные шредеры [Электронный ресурс] URL: [www.toptechno.com](http://www.toptechno.com) (дата обращения 16.08.2021).
5. Промышленные шредеры [Электронный ресурс] URL: <https://arve.ru/product/dvigatel-asinhr-m2vah-160mla-ie2-11-kvt-3000-obmin-imb3-3gba161410adc/> (дата обращения 17.08.2021).



УДК 621.3.07

Л. И. ЛЕВЧЕНКО, Р. Р. ФАИЗОВА, А. М. СУЛТАНОВ  
*lev.igorevich.levchenko@gmail.com, radmila.faizova@bk.ru,*  
*azat2507957@gmail.com*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. И. И. ЯМАЛОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, ИНТЕГРИРОВАННЫХ В КОНСТРУКЦИЮ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

*Аннотация.* В данной работе рассмотрены термоэлектрические генераторные сборки и устройства, а также возможности их применения в конструкциях газотурбинных двигателей.

*Ключевые слова:* термоэлектрический генератор; газотурбинный двигатель; летательные аппараты; системы электроснабжения.

Выработка электроэнергии на летательном аппарате представляет собой сложную инженерную задачу, так как требуется автономное электроснабжение летательного аппарата, в том числе без использования вращающихся электрических машин. В качестве преобразователя тепла в энергию, поступающую в сеть летательных аппаратов может выступать термоэлектрический генератор. Когда возможность работы без обслуживания более важна, чем КПД, им отдаются предпочтение благодаря высокой надежности и простота устройства. На сегодняшний день термоэлектрические преобразователи энергии обладают достаточно стабильностью рабочих параметров и приемлемыми характеристиками полезного действия.

Сегодня источники электропитания на борту имеют высокую удельную мощность (до 3,3 кВт/кг) и являются очень эффективным. Перед разработчиками новых технологий для гражданской авиации, стоят следующие задачи: повышение экологичности, увеличение ресурсов и эффективности, а значит, снижения затрат на полеты в условиях постоянного роста цен на топливо и запчасти. Следовательно, для снижения удельного веса самолета существует потребность в новых высокоэффективных бортовых системах питания.

По итогам последних десятилетий в разных промышленно развитых странах были разработаны, испытаны и запущены в серийное производство термоэлектрические генераторы мощностью от нескольких микроватт до десятков киловатт [1]. Их можно использовать при больших и малых разностях температур. Последнее становится еще более важным, учитывая, что при температуре поверхности до 300 °С выделяется до 90% тепловой энергии (отходов), выделяемой промышленными объектами и оборудованием.

Термоэлектрическая генераторная сборка в упрощенной конфигурации состоит из металлической теплораспределительной пластины со стороны источника тепла, термоэлектрического генераторного модуля и охлаждающего радиатора, отводящего тепло, проходящее через модуль в окружающую среду и создающего необходимый для работы перепад температур. Выходная мощность генераторов определяется типом и числом термоэлектрических модулей, входящих в состав генератора, а также конструкцией радиаторов [2].

Наиболее теплонагруженным элементом летательного аппарата без сомнения является силовая установка. При этом температурное поле по тракту двигателя характеризуется значительным градиентом (рис. 1).

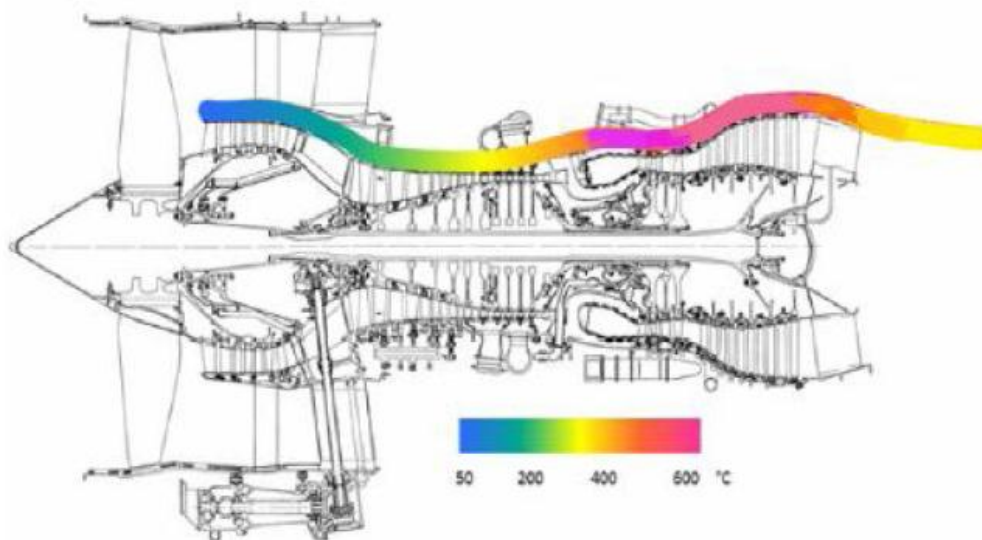


Рис. 1. Изменение температуры по тракту двигателя

Соответственно авиационная силовая установка является оптимальным местом установки термоэлектрических источников электроэнергии.

Одним из перспективных направлений является использование корпусных элементов в качестве основы для создания термоэлектрических генераторов. То есть, фактически речь идет о формировании модулей из корпусных элементов двигателя. При этом стоимость производства электроэнергии в соответствии с соотношением цена/мощность формируется, прежде всего, исходя из свойств используемых материалов, а также конструкции модулей [3].

Параметры термоэлектрических генераторов с радиоизотопными источниками тепла на космических аппаратах обеспечивают заявленные характеристики на протяжении всего срока службы. Относительно электромеханических источников электропитания термоэлектрические генераторы обладают следующими преимуществами: длительный срок службы; неограниченный срок хранения; отсутствие потребности в специальном обслуживании; высокая стабильность параметров.

В целом, анализ литературы показал, что возможность применения термоэлектриков в составе корпуса газотурбинного двигателя имеет место быть. Если на борту ЛА имеются соответствующие технические средства, то тепло, включая тепловое излучение от стенок двигателя, потенциально может быть преобразовано в электричество [4]. Выработка электроэнергии за счет применения термоэлектрических элементов является одной из перспектив развития системы электроснабжения летательного аппарата.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шостаковский П. Термоэлектрические источники альтернативного электропитания // Компоненты и технологии, № 12, 2010 [https://kit-e.ru/wp-content/uploads/2010\\_12\\_131.pdf](https://kit-e.ru/wp-content/uploads/2010_12_131.pdf)
2. Шостаковский П. Альтернативные источники электрической энергии промышленного применения на основе термоэлектрических генераторов // Control Engineering Россия №3 (45), 2013
3. Christoph Bode, Jens Friedrichs, Ragnar Somdalen, Jurgен Kohler, Kai-Daniel Buchter, Christoph Falter, Ulrich Kling, Pawel Ziolkowski, Knud Zabrocki, Eckhard Muller, Dragan Kozulovic // Potential of Future Thermoelectric Energy Recuperation for Aviation// Proceedings of the ASME 2016 International Mechanical Engineering Congress and Exposition ASME IMECE 2016 November 11-17, 2016, Phoenix, AZ, USA , IMECE2016-66650
4. Хвесюк В.И., Останко Д.А., Скрыбин А.С., Цыганков П.А.1, Челмодеев Р.И., Чирков А.Ю. Предельная эффективность термоэлектрического преобразования теплоты в высокотемпературных энергоустановках // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2016. № 03. С. 81–105. DOI: 10.7463/0316.0835477

УДК 621.313

Д. Р. ПОНОМАРЕВ  
*Ponomarev.d1m@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. А. В. ЛОБАНОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОБЗОР С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ СКВАЖИННОГО НАСОСА**

**Аннотация.** В статье рассмотрен Синхронный двигатель для скважинного насоса. Рассмотрена надежность скважинного насоса.

**Ключевые слова:** надежность; скважинный насос.

Электротехническая промышленность является материальной основой электрификации страны, автоматизации и механизации производственных процессов, ускорения темпов технического процесса во всех отраслях народного хозяйства. Повышение качества, технического уровня надежности, долговечности электротехнических изделий – важный фактор интенсификации общественного производства.

Синхронный двигатель для скважинного насоса – это электрическая машина, частота вращения ротора которой равна частоте вращения магнитного поля в воздушном зазоре. В сравнении с другими типами электрических машин он получил меньшее распространение, но в отведенных сферах является незаменимым фаворитом.

Под надежность синхронного двигателя для скважинного насоса, понимая, свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Вопросам надежности в технике уделяется большое внимание, так как создаваемые сложные технические системы должны обладать высокой надежностью и безопасностью в эксплуатации. От надежности зависят такие показатели, как качество, безопасность, риск, живучесть и другие. Надежность технических систем должна быть обеспечена на

всех этапах жизненного цикла: при проектировании, изготовлении и эксплуатации. Надежность является наиболее важным технико-экономическим показателем качества работы электрического двигателя. Она при прочих равных условиях, зависит от конструктивных особенностей электрического двигателя, их режимов и условий эксплуатационных испытаний.

Критерии и показатели надежности синхронного двигателя для скважинного насоса:

1) критерием называется признак, по которому оценивается надежность (например, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов  $\lambda(t)$ , средняя наработка на отказ  $T$ ).

2) показателем надежности называется численное значение критерия. Например, вероятность безотказной работы в течении 1000 часов равна 0,95, т.е.  $P(1000) = 0,95$ . Показатели задаются в технических требованиях на изделие, рассчитываются в процессе проектирования, оцениваются в процессе испытаний и эксплуатации технического объекта. Надежность является сложным физическим свойством, поэтому не существует одного обобщенного критерия и показателя, который бы достаточно полно характеризовал надежность техники. Только комплекс критериев позволяет оценить надежность сложной технической системы. Выбор критериев зависит от типа технического объекта, его назначения и требуемой полноты оценки надежности.

Одним из важных критериев надежности синхронного двигателя для скважинного насоса является безотказность. Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течении некоторого времени или наработки.

Еще один важный критерий надежности – это интенсивность отказов.

Интенсивностью отказов называется отношение плотности распределения к вероятности безотказной работы объекта:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}.$$

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  является основным показателем надежности элементов сложных систем. Это объясняется следующими обстоятельствами: – надежность многих элементов можно оценить одним числом, так как интенсивность отказа элементов;

– величина постоянная;

– по известной интенсивности  $\lambda(t)$  наиболее просто оценить остальные показатели надежности как элементов, так и сложных систем;

–  $\lambda(t)$  обладает хорошей наглядностью;

– интенсивность отказов нетрудно получить экспериментально.

Опыт эксплуатации сложных систем показывает, что изменение интенсивности отказов  $\lambda(t)$  большого количества объектов описывается U-образной кривой (рис. 1). Время можно условно разделить на три характерных участка:

1. Период приработки.
2. Период нормальной эксплуатации.
3. Период старения объекта.

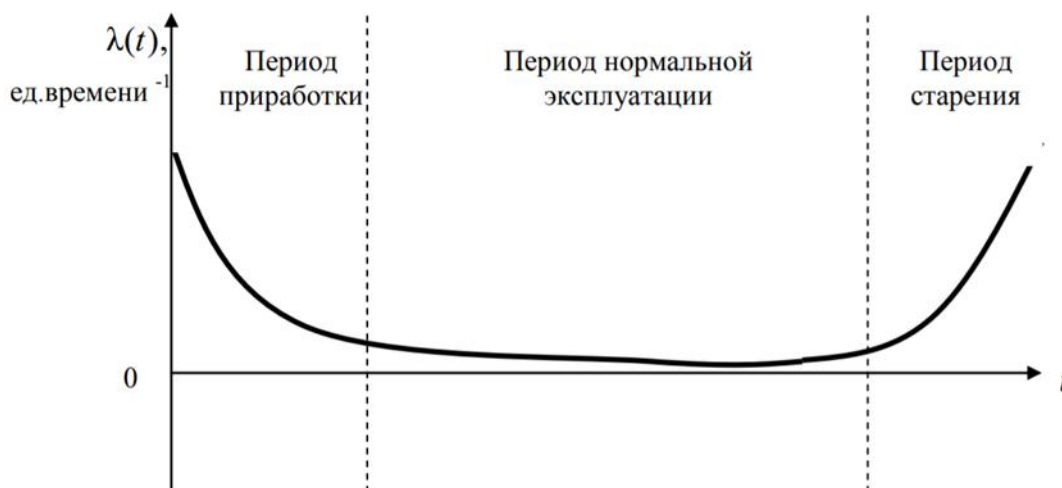


Рис. 1. Вид кривой интенсивности отказов

Исходя из статистики наиболее частой причиной отказов синхронного двигателя постоянного тока является неисправность коллекторно-щеточного узла. Износ коллектора имеет сложную природу и обусловлен влиянием ряда эксплуатационных факторов. Большое влияние на износ коллектора оказывает

состояние политуры, характер коммутационного процесса, наличие подгара на коллекторе.

На надежность коллекторно-щеточного узла существенно влияет износ щеток. Срок их службы зависит от физико-химических свойств, плотности тока под щетками и характерных особенностей процесса коммутации.

Коммутационная надежность синхронного двигателя зависит от правильной геометрии коллектора. Коллектор из-за воздействия технологических и эксплуатационных факторов изменяет форму своей поверхности. В процессе обработки и изготовления коллектора возникают технологические отклонения, обуславливающие такие дефекты, как эксцентricность, овальность, бой (в отдельных точках поверхности), которые прогрессируют в условиях эксплуатации под действием динамических и электромагнитных сил, а также в результате ослабления затяжки шпилек коллектора, усадки изоляции.

В целях устранения возникшей неисправности коллектор подвергается обточке, тщательной шлифовке и полировке до нужной чистоты.

К факторам, влияющим на износ коллектора относятся: давление щеток на коллектор, материал коллектора и щеток, их вибрация и биение коллектора, высокая скорость вращения, высокие температуры контактных поверхностей и нарушение постоянства контактов между коллектором и щетками.

Износ коллектора так же зависит от химических факторов, к которым относятся: образование контактной пленки на поверхности коллектора, состав и влажность окружающего воздуха, наличие активных газов и ряд других факторов. Наличие пленки на поверхности коллектора снижает скорость его износа и способствует более благоприятному распределению тока под щетками. На износ коллектора оказывают влияние плотность тока под щетками, сопротивление переходных контактов щеток и коллектора, нарушение коммутации двигателя.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы теории надежности электромеханических комплексов: учебное пособие / П.П. Павлов, Р.С. Литвиненко. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2017. – 92 с.

УДК 621.313.2

Д. С. ПОЧИНЯЕВ

*Pochinyaev2018@icloud.com*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Р. М. САЛИХОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ПРИМЕНЕНИЕ ДПТ ДЛЯ ПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ

**Аннотация.** В статье показаны сферы применения электродвигателей постоянного тока для подъемных механизмов, приведены преимущества машин постоянного тока.

**Ключевые слова:** двигатель постоянного тока; подъемные механизмы.

Двигатели постоянного тока (ДПТ) применяют в электроприводах, требующих широкого, плавного и экономичного регулирования частоты вращения, высоких перегрузочных пусковых и тормозных моментов, главным образом в металлообрабатывающих станках, бумагоделательных машинах, в текстильной, резиновой, полиграфической промышленности, а также в подъемных механизмах и др.

ДПТ обладают следующими преимуществами:

- Практически линейные регулировочные и механические характеристики, благодаря чему обеспечивается удобство эксплуатации.
- Большая величина пускового момента.
- Компактные размеры (особенно сильно выражено у двигателей на постоянных магнитах).
- Возможность использования одного и того же механизма как в режиме двигателя, так и генератора.
- КПД при полной нагрузке, как правило, выше на 1–2 % чем у асинхронных и синхронных машин, а при неполной нагрузке преимущество может возрастать до 15 %.

Стоит отметить, что механическая характеристика, а значит, и все эксплуатационные показатели во многом зависят от схемы подключения обмотки возбуждения.



ДПТ применяют лишь при необходимости обеспечить плавное и глубокое регулирование скорости, а также при тяжелом режиме работы. Наилучшим для привода крановых механизмов является электродвигатель постоянного тока с последовательным возбуждением, обладающий мягкой естественной характеристикой, мягкими и жесткими искусственными характеристиками и дающий возможность при соответствующих искусственных системах получить любую требуемую скорость, как в двигательном, так и в тормозном режиме. По сравнению с другими видами электродвигателей при наименьшем росте тока двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением обеспечивают наибольшую перегрузочную способность, что очень важно для механизмов передвижения кранов, особенно при пуске.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://cable.ru/articles/id-789.php>
2. Крановые электродвигатели постоянного тока <http://stroy-technics.ru/article/kranovye-elektrodvigateli-postoyannogo-toka> (дата обращения 15.09.2021).
3. Гольдберг О.Д., Гурин Я.С., Свириденко И.С. Проектирование электрических машин. М.: Высшая школа, 2006.

И. А. СТАРКОВ, А. Ф. ЯППАРОВ, Д. Ю. ПАШАЛИ

*starkov17@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Д. Ю. ПАШАЛИ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **РАЗРАБОТКА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И ПОЖАРОТУШЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ**

**Аннотация.** Проанализированы системы жизнеобеспечения современных высотных зданий, в которых применяются электроприводы. Разработан асинхронный двигатель для системы кондиционирования жилых зданий. Разработан корпус-затвор для автоматизированной системы дымоудаления, содержащей электропривод корпус-затвора и разработан асинхронный двигатель для него. Блок с корпус-затвором позволяет повысить эффективность дымоудаления, сократить количество удаляемого незадымленного внутреннего воздуха и тем самым увеличить долевую массу продуктов сгорания в транспортируемой смеси.

**Ключевые слова:** проектирование; асинхронный двигатель; система кондиционирования; воздух; дымоудаление; пожаротушение; высотное здание; небоскреб.

Актуальна научно-техническая задача разработки и усовершенствования систем внутреннего кондиционирования зданий и обеспечения безопасности, в том числе, пожаробезопасности, включая системы спринклерного пожаротушения и эвакуации из зданий (скоростные лифты для пожарно-спасательных команд и жильцов и т.д.). Согласно [1] в целях безопасности и обеспечения нормального функционирования системы принудительной вентиляции в современных высотных зданиях рекомендуются неоткрываемые «глухие» окна в верхней части здания (выше 20-25 этажа), в зависимости от высоты потолка. Электрооборудованием, в том числе электродвигателями и измерительными системами (измерение состава воздуха, температуры и т.д.) в высотных зданиях обеспечивается работа:

– систем принудительного кондиционирования, в том числе системы увлажнения воздуха и многоуровневой очистки приточного и циркулирующего в здании воздуха;

– спринклерного пожаротушения;

– внутреннего противопожарного водопровода;

- системы водоснабжения и водоотведения;
- систем освещения;
- лифтов: грузовых, пассажирских и т.д.;
- автономных электрогенераторов;
- систем дымоудаления;
- шумоподавляющих систем;
- многозонных систем отопления и др.

Фактически современное высотное здание состоит из автономных инженеринговых блоков. Например, в клубном доме «Соты» (г. Уфа) применена мультизональная система вентиляции *VRF*; в ЖК «Маяковский» (г. Москва) предусмотрена многозонная система отопления, имеющая для каждой зоны свой генерирующий центр; спортивный небоскреб «Теннисная башня», разработанный фирмой *Carlo Ratti Associati* (Италия) предусматривает полностью разборную блочную конструкцию (этот небоскреб можно разбирать и перевозить на другое место) и каждый блок может работать автономно; небоскреб *Tishman Speyer* (США) имеет спиралевидную парковую зону, расположенную по всему внешнему периметру здания и требующую разработки дополнительных систем жизнеобеспечения растений.

Авторами разработан асинхронный двигатель (АД) для системы кондиционирования жилых зданий. За прототип разработки выбран трехфазный АД серии 5АМХ (производство компании РУСЭЛПРОМ) с короткозамкнутым ротором, мощность 18,5кВт. АД предназначены для привода различных механизмов, не требующих регулирования частоты вращения (насосы, вентиляторы, дымососы и т.п.), в том числе используются для привода сетевых насосов и систем пожаротушения.

Также разработан АД для привода автоматизированной системы дымоудаления и пожаробезопасности (ПАСДиП) мощность 5,5 кВт [3]. ПАСДиП.

ПАСДиП входит в состав поэтажного блока дымоудаления, который содержит: корпус в виде затвора, опирающегося на ось с фиксацией фигурными

пазами. ПАСДиП соединен с держателем, который посредством канатной тяги и груза из массивных катков удерживает корпус-затвор в вертикальном положении, обеспечивая плотное перекрытие отверстия в воздуховоде. Канатная тяга соединяет держатель через блок и консольную ось с грузом, катки которого установлены посредством дополнительной оси в фигурных пазах фиксаторов. Блок дымоудаления снабжен направляющими, расположенными на боковых стенках воздуховода, и роликами, закрепленными на боковых торцах корпуса и в верхней его части.

При возникновении в помещении возгорания, включается ПАСДиП и воздействует на держатель, при этом обеспечивается выход из зацепления с ним канатной тяги. В результате под действием массы грузовых катков и дополнительной оси корпус-затвор беспрепятственно перемещается по направляющим, открывая в воздуховоде отверстие для удаления дыма.

Для повышения эффективности удаления дымовых газов корпус-затвор имеет коническую форму и содержит конический орган (КО) за счет увеличения длины при соосном перемещении КО удается получить аэродинамические характеристики, соответствующие параметрам сопла. Что значительно интенсифицирует подсос дымовых газов, а возможность направления корпуса-затвора в зону возгорания сокращает количество удаляемого незадымленного внутреннего воздуха и тем самым увеличивает долевую массу продуктов сгорания в транспортируемой смеси.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 267.1325800.2016. Свод правил. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования. [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044284> (дата обращения 15.08.2021).
2. Концепция спортивного небоскреба [Электронный ресурс] URL: <https://www.vzavtra.net/stroitelnye-texnologii/konceptsiya-sportivnogo-neboskreba-8-tennisnyx-kortov-drug-na-druge.html> (дата обращения 16.08.2021).
3. Асинхронный двигатель для системы дымоудаления [Электронный ресурс] URL: <http://www.prompower.ru/katalog/elektrodvigateli/asinkhronnyy-dvigatel-dlya-sistem-dymoudaleniya-lsht/> (дата обращения 17.08.2021).

А. А. ТЕЛЯКОВА, Д. Ю. ПАШАЛИ

*telyakova\_2000@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Д. Ю. ПАШАЛИ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ТРЕНАЖЕР ДЛЯ РАЗВИТИЯ КООРДИНАЦИИ ДВИЖЕНИЙ, ВЕСТИБУЛЯРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ И ВЫНОСЛИВОСТИ В СЛОЖНОКООРДИНАЦИОННЫХ ВИДАХ СПОРТА**

*Аннотация.* В статье рассмотрен тренажер для развития координации движений, вестибулярной устойчивости и выносливости в сложно-координационных видах спорта, разработана конструкция асинхронного однофазного двигателя для привода тренажера.

*Ключевые слова:* асинхронный однофазный двигатель; тренажер; развитие; координация движений; вестибулярная устойчивость; выносливость; сложнокоординационный вид спорта.

Спорт – это один из наиболее доступных способов поддержания и сохранения здоровья и работоспособности человека. С каждым годом появляются и развиваются различные формы занятий физическими упражнениями, а также создаются и совершенствуются всевозможные виды оборудования и инвентаря для спорта, неотъемлемой частью которых являются электрические двигатели, например спортивные тренажеры, имитаторы различных нагрузок, беговые дорожки и др.

Для спортивных тренажеров в основном применяют электрические двигатели двух видов: коллекторного типа и асинхронные двигатели. Двигатели коллекторного типа более надежны в эксплуатации при режимах «медленный шаг», дешевле и имеют относительно простые системы управления. Их недостаток требуют перерывов на охлаждение, не рассчитаны на длительную эксплуатацию. Асинхронные трехфазные двигатели дороже и сложнее в управлении, при этом они экономичны по электропотреблению, долговечны и имеют большой тяговый момент. Известны конструкции беговых дорожек [1, 2], содержащие электрические двигатели постоянного тока мощностью от 3-6 кВт, которые обеспечивают разгон бегового полотна в диапазоне 1 – 18 км/ч. Известен тренажер биохимической стимуляции мышц [3], используемый для рас-

тяжки мышц и увеличения растяжки. Электропривод тренажера содержит асинхронный двигатель мощностью 250 Вт. Таким образом тема научного исследования является актуальной научно-технической задачей.

Автором разработана конструкция асинхронного двигателя для электро-механического узла вращения опорной горизонтальной площадки (АДЭУОГП) тренажера ТАТ-21 с автоматической лонжей (далее – тренажер), за аналог разработана выбрана конструкция [4]. Тренажер предназначен для подготовки спортсменов разного уровня и развития координации движений, совершенствования и закрепления двигательных навыков, повышению вестибулярной устойчивости и выносливости в сложно-координационных видах спорта, таких как танцы, балет, акробатика, гимнастика спортивная и художественная, фигурное катание, лыжные акробатические дисциплины и т.д. Электромеханический узел для вращения опорной горизонтальной площадки (ЭУОГП) содержит каркас, асинхронный двигатель, блок управления, вал привода вращения с опорными подшипниками, шкив ременного привода, вращающуюся опорную горизонтальную площадку (ОГП). ОГП имеет вертикальную конструкцию, состоящую из сборно-разборного металлического каркаса для крепления базового ЭУ для вращения привода лонжи и ЭУ автоматического подъема спортсмена. Тренажер также содержит компьютер, создающий синхронность вращения ОГП и управляющего автоматическим подъемом лонжи, а также управляющим программируемым вращением ОГП и лонжи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://www.yamaguchi.ru/trenazhery-dlya-doma/yamaguchi-max> (дата обращения 1.09.2021).
2. <https://www.well-mir.ru/american-motion-fitness-8808t> (дата обращения 11.09.2021).
3. Аппарат Назарова [Электронный ресурс] URL <https://bms7.ru/magazin/trenazher-bms-dlya-tela-sport-kontur/> (дата обращения 15.09.2021).
4. Соболев А.Е. Тренажерный комплекс [Электронный ресурс] URL: <https://patentdb.ru/patent/2643991> (дата обращения 12.09.2021).

Ш. Н. ШАРАФУТДИНОВ, И. А. ЗУБКОВ, М. С. ОБУДЕНОВ  
*sharshamil98@gmail.com, zubkovv.ilya@mail.ru, ya.maxim199611@ya.ru*  
Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. И. И. ЯМАЛОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ КОНСТРУКЦИИ БЛОКОВ ЭЛЕКТРОНИКИ ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ СТАРТЕРОВ-ГЕНЕРАТОРОВ**

*Аннотация.* В данной статье рассмотрены основные конструкции блоков управления авиационных стартер-генераторов, описаны их достоинства и недостатки. Проанализированы основные этапы конструирования блоков электроники.

*Ключевые слова:* блок электроники; стартер-генератор.

В настоящее время в самолетостроении наблюдается процесс повышения уровня электрификации летательных аппаратов, что положительно сказывается на их технических характеристиках и массогабаритных показателях [1, 2]. Одной из важнейших частей работы летательного аппарата является запуск двигателя.

Для запуска газотурбинных двигателей в большинстве агрегатов применяются стартер-генераторы постоянного тока, так они имеют достаточно простую конструкцию и не требуют сложных систем управления. В настоящее время наиболее перспективными являются стартер-генераторы на постоянных магнитах, так как они обладают высокой удельной мощностью и легко регулируются.

При запуске двигателя с помощью стартер-генератора, как правило, требуется обеспечить следующую последовательность запуска [2]:

- выборку люфтов редуктора, соединяющего стартер и ротор двигателя;
- плавную раскрутку ротора двигателя и его сопровождение вплоть до момента запуска;
- при успешном запуске двигателя осуществление выключения стартера и перехода стартер-генератора в генераторный режим;

– в генераторном режиме осуществить стабилизацию напряжения генерации стартер-генератора при различных оборотах двигателя и при различных нагрузках;

– во время запуска и генерации обеспечивать защиту стартер-генератора от нештатных режимов и выхода электрических параметров за область допустимых значений.

С целью обеспечения корректного выполнения данной последовательности, совместно со стартер-генераторами устанавливаются блоки управления, позволяющие контролировать процесс запуска двигателя. Устройство управления стартером находит применение как для управления возбуждением на стоящей и вращающейся турбине с целью управления моментом вращения и генерируемым напряжением, так и для разгона газотурбинных агрегатов различной мощности.

Блок управления представляет собой электронное средство специального назначения, имеющее определенную функциональную, схемную и конструктивную завершенность, обладающее своими функциями и задачами, имеющее органы управления и лицевую панель для управления и подключения. Блок должен иметь свою принципиальную электрическую схему с обозначением, соответствующим его сборочному чертежу. Конструкция блока пространственно-ограниченная, защищающая составные части блока от внешних воздействий [3].

Блоки управления, как правило, разрабатываются на базе интегральных микросхем, установленных внутри металлического или пластикового корпуса [4]. Корпус может быть изготовлен из листового металла, выточен при помощи фрезеровки либо отлит из формы. При компоновке микросхем внутри блока возникает задача получения минимально возможных для него размеров и массы при допустимом температурном режиме компонентов.

При разработке блока управления исходят из технического задания, разрабатываемого вместе с заказчиком. В нем содержатся необходимые параметры устройства, конструкция его внутреннего устройства и возможные ограничения.



Процесс разработки конструкции блока в общем виде можно разделить на ряд типовых задач:

- выбор вида конструкции и внутреннего устройства;
- разработка электрической схемы блока;
- разработка печатных плат;
- проверка блока на выполнение ТЗ к конструкции.

При выборе конструкции и внутреннего устройства блока разработчик должен исходить из условий работы устройства и агрегата, в который он входит, наличия и интенсивности дестабилизирующих факторов, влияющих на него. Наиболее распространенными конструкциями блоков являются разъемная, этажерочная и книжная [5].

Разъемные конструкции отличаются наличием электрических соединителей в виде разъемов и монтажной платы, на которой размещены розетки соединителей. Такой вариант обеспечивает легкоъемность ячеек, простоту монтажа и компоновки. Разъемная конструкция имеет хорошую ремонтпригодность: при выходе из строя одной из ячеек, ее достаточно легко извлечь и произвести замену. Недостатками являются большая масса по сравнению с другими типами компоновки, ухудшение показателей надежности из-за большого числа соединительных элементов.

На рисунке 1 показана схема разъемной конструкции блока.

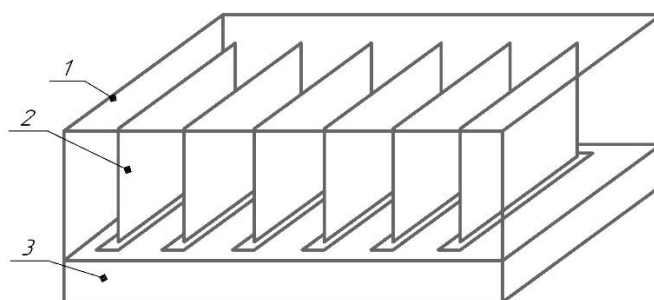


Рис. 1. Разъемная конструкция блока:

*1 – корпус; 2 – функциональные ячейки; 3 – монтажная панель*

Для книжной конструкции характерно объединение ячеек при помощи шарнирных соединений в механизм, открывающийся в виде книги. Возможно

объединение ячеек в вертикальной и горизонтальной осях в зависимости от устройства блока. Шарнир, который может быть индивидуальным или общим для нескольких плат, как правило, закрепляется на каркасе блока в вертикальном или горизонтальном положении, ячейки подключаются к монтажной плате. Ячейки при такой компоновке соединяются с контактными площадками при помощи проводов, гибких шин и т.д. Платы при помощи стяжных винтов объединяют в ячейку. Книжная компоновка повышает плотность монтажа, обеспечивает легкий доступ к ячейкам. Достоинствами данного решения являются улучшенные массогабаритные параметры, повышенные показатели надежности. К недостаткам можно отнести сниженную ремонтпригодность по сравнению с разъемной конструкцией из-за необходимости разборки части блока при возникновении неисправности в одной из плат или ячеек.

Схема книжной конструкции блока электроники приведена на рисунке 2.

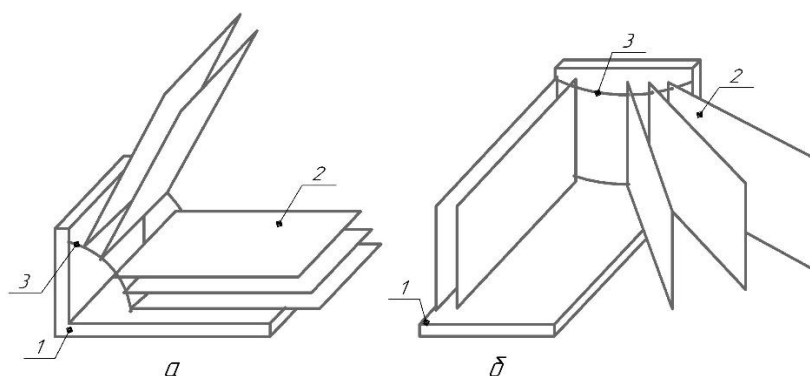


Рис. 2. Книжная конструкция блока:  
*а – горизонтальная ось раскрытия; б – вертикальная ось раскрытия; 1 – корпус;*  
*2 – функциональные ячейки; 3 – шарнир*

Книжные конструкции блоков широко распространены в летательных аппаратах, требующих минимизации массы и габаритов при сохранении показателей надежности устройства.

Блоки этажерочного типа состоят из нескольких параллельно расположенных печатных плат, закрепленных при помощи стоек, скоб, винтов с распорными втулками или направляющих в корпусе. Подключение осуществляется при помощи разъемных соединений, гибких проводов, шин и жгутов. Данная

конструкция легко собирается и не требует крупных затрат на крепеж. Возможна установка как в вертикальном, так и горизонтальном положении в зависимости от внутреннего устройства, выбранной схемы охлаждения и характера внешних дестабилизирующих факторов. Недостатком является низкая ремонтопригодность из-за труднодоступности плат.

На рисунке 3 приведена схема этажерочной компоновки блока.

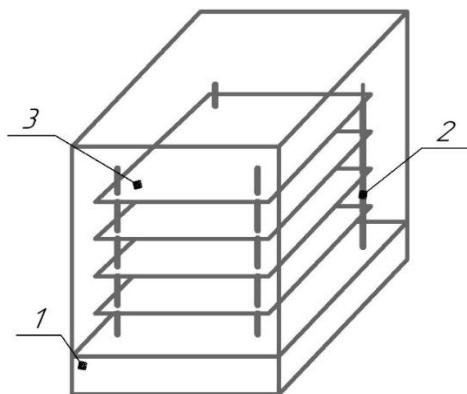


Рис. 3. Этажерочная конструкция блока:  
1 – корпус; 2 – платы; 3 – стойки

Конструкция подбирается в соответствии с производственными и техническими требованиями. Для производства лучше выбирать однотипные конструкции, элементы несущих конструкций, фиксации, крепления, монтажа для простоты унификации изделия и упрощения сборки.

Для блоков любой конструкции положение плат и функциональных ячеек в пространстве, а также расстояние от одной платы до другой устанавливается в соответствии с требованиями, предъявляемыми к технической части установки, к температурным характеристикам и диэлектрическим промежуткам.

К блокам электроники предъявляются следующие требования:

- обеспечивать необходимую механическую жесткость и прочность;
- быть простыми в сборке, наладке и работе;
- обеспечивать быструю и простую замену неисправных конструктивных частей;
- быть максимально легкими и при этом сохранять требуемую жесткость. Все элементы должны быть надежно закреплены;

– детали должны быть унифицированными и взаимозаменяемыми.

В процессе разработки конструкции радиоэлектронного блока нужно отдавать предпочтение таким материалам и покрытиям, которые будут максимально подходить под условия эксплуатации [6].

Блоки электроники оснащаются защитными кожухами и крышками. На их передней панели крепятся элементы индикации и управления, измерительные узлы, электрические соединители. Элементы оснастки, которые применяются нерегулярно, устанавливаются на заднюю панель.

Выбор конструкции блока управления является актуальной и важной частью разработки устройства, так как от нее зависит корректность работы блока электроники, показатели надежности, механические и температурные характеристики. По этой причине на начальных этапах конструирования данной части разработчику следует уделить больше внимания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Халютин С.П. Электрический самолет: прошлое, настоящее, будущее // Авиапанорама: Международный авиационно-космический журнал. 2006. №6(120) С. 42-51.
2. Лёвин А.В., Халютин С.П. Тенденции и перспективы развития авиационного электрооборудования // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. №213 С.50-57.
3. Кольтюков Н.А., Белоусов О.А. Проектирование несущих конструкций радиоэлектронных средств : учебное пособие // Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 84 с.
4. Цалимов Г.Ф., Козюра С.В. Разработка электронных систем управления стартер-генераторами для систем запуска авиационных двигателей // Вестник двигателестроения. 2015. №2 С. 102-106.
5. Сборка, монтаж и регулировка РЭА на микросхемах [Электронный ресурс] URL: [https://www.sinref.ru/000\\_uchebniki/04600radio/008\\_regulirovshik\\_radioaparaturi\\_gorodilin/022.htm](https://www.sinref.ru/000_uchebniki/04600radio/008_regulirovshik_radioaparaturi_gorodilin/022.htm)
6. Радиоэлектронные блоки [Электронный ресурс] URL: <http://korpusa-trekom.ru/radioelektronnye-bloki.html>

УДК 621.313.2

М. Ф. ШИХРАГИМОВ  
*shikhragimov.99@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Р. М. САЛИХОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

*Аннотация.* В статье показаны особенности применения электродвигателей постоянного тока, рассмотрены способы подключения обмотки возбуждения.

*Ключевые слова:* двигатель постоянного тока; обмотка возбуждения двигателя постоянного тока.

Электродвигатели постоянного тока (ДПТ) – наиболее часто используемые приводы для создания непрерывного движения с регулируемой скоростью вращения. Они могут приводить в движение транспортные средства: от автомобилей до электричек и троллейбусов, где точность регулировки оборотов наглядно демонстрируется плавным разгоном техники. Агрегаты на постоянных магнитах имеют особенно большую плотность мощности, поэтому часто используются в оборонительной отрасли.

При использовании ДПТ учитывается одна из важнейших характеристик, зависящая от способа подключения обмотки возбуждения. В ДПТ с последовательной схемой возбуждения при необходимости можно уменьшить скорость вращения в 2 раза. За это отвечает переменный резистор, который при необходимости включают в цепь возбуждающей обмотки реостата. В двигателях с параллельной схемой для уменьшения оборотов в 2 раз тоже применяют реостат, а для повышения в 4 раза подключают сопротивление.

Наибольший эффект дает установка ДПТ на механизмах подъема, которые примерно половину всего рабочего времени перемещают пустые грузозахватные приспособления, и в этом случае мягкие естественные характеристики очень подходят для получения повышенных скоростей.

Установка ДПТ на механизмах передвижения больших преимуществ не имеет, так как поднятый груз мало изменяет общую массу мостового крана и механизмы передвижения практически работают с постоянной нагрузкой. Но в то же время ДПТ с последовательным возбуждением обладают повышенным пусковым моментом, что позволяет механизмам передвижения достигать номинальной скорости при пусках и реверсах быстрее, чем при установке электродвигателей других типов.

Сравнительно редко для привода крановых механизмов применяют ДПТ с параллельным и смешанным возбуждением. ДПТ наряду с некоторыми преимуществами при эксплуатации мостовых кранов присущи и недостатки: увеличенные масса и габариты, высокая стоимость, необходимость большего ухода и, наконец, специальной энергоустановки. Для питания крановых ДПТ требуется создавать мощные преобразовательные установки. В связи с этим, применение ДПТ выгодно на мостовых кранах с тяжелыми режимами работы на заводах металлургических и тяжелого машиностроения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электродвигатели постоянного тока. Принцип работы и широкие возможности применения. – URL: <https://www.elec.ru/publications/promyshlennoe-oborudovanie/6118/> (дата обращения 15.09.2021).
2. Электродвигатели постоянного тока и области их применения. – URL: [https://zen.yandex.ru/media/cable\\_ru/elektrosvigateli-postoiannogo-toka-i-oblasti-ih-primeneniia-5d80950ba06eaf00ad87ac97](https://zen.yandex.ru/media/cable_ru/elektrosvigateli-postoiannogo-toka-i-oblasti-ih-primeneniia-5d80950ba06eaf00ad87ac97) (дата обращения 15.09.2021).
3. Крановые электродвигатели постоянного тока. – URL: <http://stroytechnics.ru/article/kranovye-elektrosvigateli-postoyannogo-toka> (дата обращения 15.09.2021).

УДК 621.313

А. Р. ЮСУПОВ

*artur\_yusupov\_99@inbox.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. О. А. ЮШКОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**Аннотация.** В статье рассмотрены современные конструкции военных симуляторов с электроприводом. Выявлена типовая конструкция симулятора, а также определены его технические характеристики: напряжение питания, требуемая мощность.

**Ключевые слова:** военный симулятор; динамическая платформа.

В настоящее время для имитации изменений положения техники в пространстве, ударов, столкновений препятствиями, имитации центростремительных ускорений (повороты, вращение) достаточно широко применяются динамические платформы (ДП).

Наибольшее распространение ДП наблюдается в качестве учебных тренажеров (симуляторы военной техники), испытательных стендов (симуляторы передовых исследований, позиционеры спутников, телескопов и антенн, моделирование автономных транспортных средств), оборудования индустрии развлечений (4D-кинотеатры, аттракционы и игровые симуляторы, симуляторы виртуальной реальности для развлечения) и т.п.

Рассмотрим известные динамические платформы в области симуляторов военной техники.

Известная трехступенная динамическая платформа (экипажная) [1], которая обеспечивает перемещение кабин динамического тренажера боевой машины по трем степеням свободы (тангаж, крен, вращение вокруг вертикальной оси) от сигналов, поступающих от ЭВМ в режиме реального масштаба времени.

Электрическое питание динамической платформы осуществляется от сети переменного тока напряжением 380В (-5%;+10%) частотой 50Гц ( $\pm 1\%$ ). Тип привода – частотно управляемые электродвигатели. Суммарная мощность элек-

тродвигателей - 7,35 кВт. Управление динамической платформой - от компьютера с использованием Ethernet – технологии.

Также известен комплексный тренажер экипажа танка Т-72Б [2]. Устройство тренажера представлено на рис. 1



Рис. 1. Устройство комплексного тренажера экипажа танка Т-72Б

Шестистепенная динамическая платформа обеспечивает адекватность наклонов кабины и акселерационных нагрузок на обучаемого в различных режимах работы (трогании, разгоне, торможении, поворотах танка и т.п.)

Некоторые характеристики динамической платформы представлены в таблице 1.

Таблица 1

Некоторые характеристики динамической платформы тренажер экипажа танка Т-72Б

Показатель	Значение
Тип приводных электродвигателей	Асинхронные с короткозамкнутым ротором
Тип редуктора	Червячный
Управление приводными двигателями	Частотное по скорости и по положению выходного вала редуктора
Потребляемая мощность (средняя)	4,5 кВт



Известен комплексный тренажер экипажа вертолета Ми-17 [3] (рис. 2), предназначенный для обучения и тренировки на земле экипажей вертолетов типа Ми-17 в составе командира (левого пилота), штурмана (правого пилота), бортехника (бортмеханика) действиям в полном объеме их функциональных обязанностей по пилотированию, навигации, эксплуатации бортовых систем и оборудования вертолета, коммуникативной деятельности, эффективному взаимодействию, в том числе при отказах различных бортовых систем и в особых случаях в соответствии с Руководством по летной эксплуатации вертолета с целью формирования и поддержания у них устойчивых навыков управления вертолетом в различных условиях.

Тренажер может использоваться в ходе боевой подготовки вертолетных частей и подразделений, а также в учебном процессе военных учебных заведений при отработке тем, связанных с пилотированием вертолетов типа Ми-17 в различных условиях обстановки.



Рис. 2. Устройство комплексного тренажера экипажа вертолета Ми-17

В тренажере применена электромеханическая шестистепенная система подвижности. Максимальная потребляемая мощность 55 кВт.

Известен комплексный тренажер экипажа бронетранспортера БТР-3Е1 для проведения боевой подготовки членов экипажей [4]. В тренажере реализована шестистепенная система подвижности, обеспечиваемая частотно-

регулируемым приводом от асинхронным электродвигателей с короткозамкнутым ротором. Средняя потребляемая мощность 6,2 кВт.

Комплексный тренажер экипажа самолета Л-39 [5]. Система подвижности тренажера предназначена для имитации акселерационных эффектов, воздействующих на летчиков реального самолета во время совершения взлета, посадки, а также в различных условиях полета. Как и в уже рассмотренных, в тренажере реализована шестистепенная электромеханическая система подвижности. Также имеется трехступенная вибрационная система. В тренажере применен частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Средняя потребляемая мощность 11 кВт.

В результате анализа научно-технической литературы установлено, что для реализации военных симуляторов применяются тренажеры с шестью степенями свободы перемещений, каждая из которых обеспечивается частотно-регулируемым асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором. В среднем мощность одного двигателя в зависимости от нагрузки и необходимых для создания условий лежит в пределах от 1,5 до 15 кВт. Напряжение питания 220 В, частота 50 Гц.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муромский радиозавод. Трехступенная динамическая платформа. [Электронный ресурс]: <http://www.muromrz.com/idn.php?dev=50d982383d87c>, дата обращения (10.09.2021)
2. Научно-производственное предприятие «Энергия 2000» [Электронный ресурс]: [http://simulator.ua/files/tp/E2K\\_T-72\\_tank\\_dynamic\\_integrated\\_crew\\_simulator\\_ru.pdf](http://simulator.ua/files/tp/E2K_T-72_tank_dynamic_integrated_crew_simulator_ru.pdf), дата обращения (13.09.2021)
3. Научно-производственное предприятие «Энергия 2000» [Электронный ресурс]: [http://simulator.ua/ru/simulators/gunnery\\_simulators.html](http://simulator.ua/ru/simulators/gunnery_simulators.html), дата обращения (15.09.2021)
4. Научно-производственное предприятие «Энергия 2000» [Электронный ресурс]: [http://simulator.ua/files/tp/E2K\\_Dynamic\\_crew\\_simulator\\_of\\_BTR-3E1\\_APC\\_ru.pdf](http://simulator.ua/files/tp/E2K_Dynamic_crew_simulator_of_BTR-3E1_APC_ru.pdf), дата обращения (15.09.2021)
5. Научно-производственное предприятие «Энергия 2000» [Электронный ресурс]: [http://simulator.ua/files/tp/E2K\\_L-39\\_aircraft\\_FFS\\_FMS\\_crew\\_simulator\\_ru.pdf](http://simulator.ua/files/tp/E2K_L-39_aircraft_FFS_FMS_crew_simulator_ru.pdf), дата обращения (15.09.2021)