

Министерство образования и науки Российской Федерации
Кубанский государственный технологический университет

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана)
Военный институт

Министерство обороны Российской Федерации
Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков
имени Героя Советского Союза А.К. Серова

Харбинский инженерный университет (Китай)

Научно-исследовательский институт
информационных технологий (г. Тверь)

Департамент по вопросам топливно-энергетического
комплекса Краснодарского края

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Материалы восьмой международной
научной конференции
«ТТС-16»

24-26 ноября 2016 года

Под общей редакцией почетного академика
Академии электротехнических наук Российской Федерации
Б.Х. ГАЙТОВА

Краснодар
2016

УДК 621.3

ББК 39.53

Т38

Т38 Технические и технологические системы: Материалы восьмой международной научной конференции «ТТС-16» (24–26 ноября 2016 года) / ФГБОУ ВО «КубГТУ», КВВАУЛ им. А.К. Серова; под общей редакцией Б.Х. Гайтова. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2016. – 300 с.
ISBN - 978-5-91718-464-7

Сборник содержит материалы восьмой Международной научной конференции «Технические и технологические системы», проведенной в г. Краснодаре 24-26 ноября 2016 года на базе Кубанского государственного технологического университета. В настоящем издании представлены результаты исследований сотрудников следующих организаций: Кубанский государственный технологический университет, Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков им. А.К. Серова, Краснодарское высшее военное училище им. генерала армии С.М. Штеменко, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Московский политехнический университет, Харбинский инженерный университет (Китай), Российский государственный университет правосудия (Северо-Кавказский филиал), Ростовский филиал Московского государственного технического университета гражданской авиации, Научно-исследовательский институт информационных технологий (г. Тверь), Военная академия воздушно-космической обороны им. Г.К. Жукова, ФКП «Армавирская биологическая фабрика», ЗАО «ННК» ОАО «Печоранефть», концерн ВКО «Алмаз-Антей», ООО «КНГК-Групп» (г. Краснодар).

Редакционная коллегия:

Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Косолапов А.В., Шарифуллин С.Р.,
Шапошников В.В.

ББК 39.53

УДК 629.7

ISBN - 978-5-91718-464-7

- © Коллектив авторов, 2016
- © Кубанский государственный технологический университет, 2016
- © Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени А.К.Серова, 2016

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель оргкомитета

Калманович С.А.. д.т.н., проф., проректор Кубанского государственного технологического университета по научной и инновационной деятельности (г. Краснодар, Россия).

Заместители председателя оргкомитета:

Гайтов Б.Х. д.т.н., проф., заслуж. деятель науки и техники РФ, почетный академик Академии электротехнических наук РФ, Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар, Россия).

Арестенко Ю.П. к.т.н., доц., декан факультета нефти, газа и энергетики Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар, Россия);

Члены оргкомитета:

Атрощенко В.А д.т.н., проф., Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар, Россия);

Гапоненко А.М. д.т.н., проф., Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар, Россия);

Григораш О.В. д.т.н., проф., Кубанский государственный аграрный университет (г. Краснодар, Россия);

Кашин Я.М. к.т.н., доц., Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков им. А.К. Серова (г. Краснодар, Россия);

Лясковский В.Л. д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана, (г. Москва, Россия);

- Маслов С.И. д.т.н., проф., Московский энергетический институт (г. Москва, Россия);
- Птах Г.К. д.т.н., проф., Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт), (г. Новочеркасск, Россия);
- Федотов Д.С. к.с.н., Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков им. А.К. Серова (г. Краснодар, Россия);
- Чэн Пэн к.т.н., доц., Харбинский инженерный университет (г. Харбин, Китай).
- Шарифуллин С.Р. к.т.н., доц., Краснодарское высшее военное училище им. С.М. Штеменко (г. Краснодар, Россия).
- Секретариат:**
- Мусатов А.Н. Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков им. А.К. Серова (г. Краснодар, Россия);
- Косолапов А.В. к.т.н., доц., Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар, Россия).
- Шапошников В.В. к.т.н., Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар, Россия).

**СЕКЦИЯ 1.
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ**

**САМОТОРМОЗЯЩИЙСЯ ВИНТОВОЙ ДОМКРАТ
С АКСИАЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ**

С.А. Попов (к.т.н., доц.), Н.В. Ладенко (к.т.н., ст. преподаватель),
П.Ю. Пономарев (магистрант)

*Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

Задачи подъема и перемещения грузов на сравнительно малые расстояния встречаются во многих отраслях промышленности. Такие задачи успешно решаются с помощью различных грузоподъемных устройств, в том числе при помощи винтовых домкратов [1]. Авторами проведен анализ конструкций применяемых винтовых домкратов, в результате которого предложена оригинальная конструкция [2].

Самотормозящийся винтовой домкрат с аксиальным электродвигателем, содержащий электродвигатель, корпус которого соединен с полый цилиндрической стойкой, усиленной радиальными кронштейнами, винт 20 с невращающейся головкой 22, гайку 10, подшипники 16, 17 (рис. 1). Электродвигатель выполнен аксиальным асинхронным однофазным однофазным, его корпус состоит из верхнего 2 и нижнего 1 несущих щитов, закрепленных неподвижно между собой, с внутренней торцевой стороны нижнего несущего щита закреплен магнитопровод статора 5 с обмоткой возбуждения 6, а ротор состоит из магнитопровода ротора 7 с короткозамкнутой обмоткой 8 и основания 9, соединенных неподвижно между собой и образующих кольцевой диск, основание которого посредством шлицевого соединения сопрягается с гайкой с возможностью аксиального перемещения между внутренней торцевой поверхностью уступа 12 и внутренней торцевой поверхностью тормозной накладкой 14, при этом уступ выполнен на нижней части гайки и его диаметр име-

ет увеличенное значение по отношению к диаметру шлицевого соединения, а тормозная накладка неподвижно закреплена на тормозном диске 13, неподвижно установленном с внутренней торцевой стороны верхнего несущего щита, вышеуказанная гайка соединена с винтом посредством резьбового соединения и расположена в верхнем и нижнем несущих щитах при помощи радиально-упорных подшипников, а уступ на ней выполнен с учетом того, чтобы в собранной конструкции при отсутствии питания на обмотке возбуждения магнитопровода статора расстояние между магнитопроводами статора и ротора было равно суммарной величине рабочего воздушного зазора δ и аксиального перемещения диска ротора вдоль шлицевого соединения Δ , на внешней части уступа установлена тормозная пружина 18, расположенная между нижней торцевой стороной основания диска ротора и буртом 19, выполненным на нижней части уступа, одновременно верхний и нижний несущие щиты образуют сборную конструкцию, в которой кольцевая полость электродвигателя базируется на цилиндрической стойке 24, усиленной радиальными кронштейнами 25.

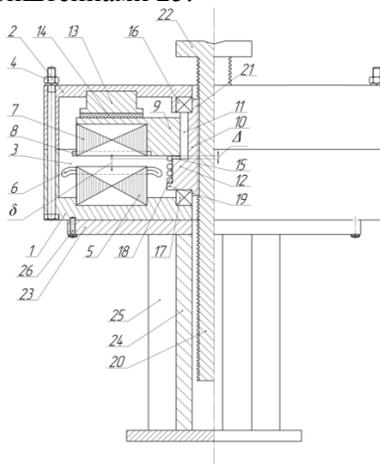


Рисунок 1 - Разрез самотормозящегося винтового домкрата с аксиальным электродвигателем

Предлагаемая конструкция домкрата обладает следующими достоинствами: отсутствует необходимость применения дополнительных тормозных устройств; повышается устойчивость за счет широкой цилиндрической стойки; повышается крутящий момент приводного электродвигателя за счет его аксиальной конструкции и, как следствие, грузоподъемность устройства; снижаются отходы дорогостоящей электротехнической стали при производстве магнитопроводов электродвигателя за счет применения витого магнитопровода и, как следствие, повышается экономичность изготовления.

Кроме того, идеи применения аксиальных электрических машин и совмещения ротора аксиального электродвигателя и исполнительного органа приводного механизма, по мнению авторов, является весьма перспективными, которые хорошо прослеживаются в [3], [4], [5] и в [6].

Литература

1. Попов С.А. Сравнительный анализ различных классификаций домкратов / С.А. Попов, А.В. Энговатов, В.Е. Нечесов // Актуальные вопросы современной техники и технологии : сб. док. XVII Междунар. науч. конф., Липецк, 24 октября 2014 г. – Липецк: Научное партнерство «Аргумент», 2014. – С. 32-36.

2. Положительное решение о выдаче патента на изобретение от 19.07.2016 по заявке № 2015119724/11 Самотормозящийся винтовой домкрат с аксиальным электродвигателем / С.А. Попов, Т.Б. Гайтова, Н.В. Ладенко, П.Ю. Пономарев, В.С. Спичак.

3. Попов С.А. Улучшение лечебного воздействия магнитотерапевтической установки аксиальной конструкции / С.А. Попов, П.Ю. Пономарев // Технические и технологические системы (ТТС-14) : сб. материалов VI межд. науч. конф. – Краснодар: ФВУНЦ ВВС ВВА, 2014 г. – С. 111-116.

4. Попов С.А. Разработка магнитотерапевтической установки аксиальной конструкции с улучшенным лечебным воздействием / С.А. Попов, Н.В. Ладенко, П.Ю. Пономарев // Техниче-

ские и технологические системы (ТТС-15) : сб. матер. VII межд. науч. конф. Краснодар, 7-9 октября 2015г. / КубГТУ под общей ред. Б.Х. Гайтова – Краснодар, 2015. – С. 76-79.

5. Попов С.А. Разработка самотормозящейся сдвоенной аксиальной асинхронной электрической машины / С.А. Попов, В.Е. Нечесов, В.С. Спичак, М.А. Елфимов // Технические и технологические системы (ТТС-15) : сб. матер. VII межд. науч. конф. Краснодар, 7-9 октября 2015г. / КубГТУ под общей ред. Б.Х. Гайтова – Краснодар, 2015. – С. 83 – 89.

6. Попов С.А. Ресурсосберегающая технология изготовления магнитопроводов аксиальных электрических машин / С.А. Попов, Н.В. Ладенко, П.Ю. Пономарев // Теоретические и прикладные аспекты развития современной науки : сб. науч. ст. по матер. I Междунар. науч.-практич. конф. Екатеринбург, 15 марта 2016 г. / Под общ.ред. Т.М. Сигитова. – Пермь: ИП Сигитов Т.М., 2016 г. – С. 15-20.

УСТРОЙСТВО ПРОВЕРКИ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ ЛОПАСТЕЙ ВИНТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А.П. Борзунов* (к.т.н., доц.), В.Г. Самаркин** (к.т.н., доц.)

**Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

***Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков
им. А.К.Серова (г. Краснодар, Россия)*

В настоящее время для контроля рабочих параметров лопастей несущего винта вертолета применяется методика проверки сопротивления нагревательных элементов и сопротивления изоляции нагревательных элементов с использованием разрозненных устройств: мегомметра, омметра, мостового прибора постоянного тока, манометра воздушного, элементов питания. Методика заключается в последовательных и многократных замерах параметров электрического тока между штырями штепсельных разъемов, параметров воздуха [1,4]. При использовании данной методики достигается цель проверок – оценка состояния лопасти несущего винта и работоспособности

ее элементов. Однако, при частой смене различных приборов контроля увеличиваются трудозатраты, постоянный механический перебор мелких штырей штепсельных разъемов приводит к снижению качества и увеличению числа ошибок при выполнении работ. Эти факторы еще более усугубляются воздействием на процесс контроля реальных погодных условий и временем суток при подготовке вертолета к полету на аэродроме. Предлагаемое многофункциональное устройство контроля лопастей несущего винта вертолета позволяет исключить приведенные недостатки существующей методики контроля рабочих параметров лопастей винтов вертолета и предназначено для проверки сопротивления нагревательных элементов секций лопастей несущего винта вертолета, измерения сопротивления изоляции нагревательных элементов на лонжерон и оковку, проверки лампочек (светодиодов) на законцовке лопасти несущего винта (контурные огни), проверки давления наддува лопастей несущего винта вертолета [2].

Устройство может быть представлено в двух видах (исполнениях):

- наземное, для подготовки к полетам вертолета, без подключения бортового питания, вне кабины;
- бортовое, для контроля исправности систем с включенным напряжением питания, в составе бортового оборудования.

Предлагаемое многофункциональное устройство контроля рабочих параметров лопастей несущего винта вертолета состоит из одного мобильного модуля, включающего в себя устройства и схемы для проверки сопротивления нагревательных элементов секций лопастей несущего винта вертолетов, измерения сопротивления изоляции нагревательных элементов на лонжерон и оковку, проверки лампочек (светодиодов) на законцовке лопасти несущего винта (контурные огни), проверки давления наддува лопастей несущего винта вертолета [1, 3]. Предлагаемое устройство контроля исключает последовательный и многократный перебор

штырей штепсельных разъемов при замерах параметров электрического тока в цепях нагревательных элементов, что приведет к снижению доли человеческого фактора в авиационных происшествиях.

Внешний вид многофункционального устройства приведен на рис. 1.

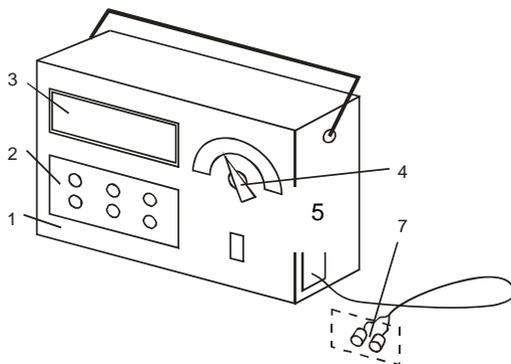


Рисунок 1 – Многофункциональное устройство контроля рабочих параметров лопастей винтов вертолета:

1 – корпус; 2 – блок светодиодов; 3 – цифровой индикатор; 4 – переключатель коммутатора; 5 – универсальный соединитель.

Литература

1. Самаркин В.Г. Многофункциональное устройство контроля рабочих параметров лопастей винтов летательных аппаратов. / В.Г. Самаркин, А.П. Борзунов // Научные труды Кубанского гос. технол. ун-та. – 2016. – №3. – С.158-164.

2. Кротова М.В. Анализ проблем контроля рабочих параметров лопастей летательных аппаратов и пути их решения / М.В. Кротова, А.П. Борзунов, В.Г. Самаркин // Сб. статей III Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 52-й годовщине полета Ю.А.Гагарина в космос,

Краснодар, Филиал ВУНЦ ВВС «ВВА», ООО «Издательский дом Юг», 2013. – С.126-129.

3. Борзунов А.П., Самаркин В.Г., Данильчук И.Ф. Многофункциональное устройство проверки рабочих параметров лопастей винтов вертолета. Патент на изобретение RUS 2529451 от 18.03.2013 г.

4. Вертолет МИ-171. Руководство по технической эксплуатации. Кн. III. Вертолетные системы, 2002. 283 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАГНИТОПРОВОДОВ РОТОРОВ САМОТормозящихся асинхронных ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

С.А. Попов (к.т.н., доцент), П.Ю. Пономарев (магистрант),
М.А. Асташов (магистрант), М.А. Елфимов (студент)
*Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

Метод порошковой металлургии является одним из методов изготовления изделий из композитных порошков и может успешно использоваться в электротехнической промышленности при изготовлении электрических машин, а именно роторов самотормозящихся асинхронных электродвигателей [1].

Способ изготовления магнитопровода ротора самотормозящегося асинхронного электродвигателя осуществляется в следующей последовательности. Ферромагнитный порошок, имеющий уменьшенную магнитную проницаемость μ_1 , смешивают с жидким связующим веществом (например, эпоксидной смолой) в требуемом соотношении. Полученную однородную массу засыпают равномерным слоем Δ_1 во внутреннюю полость пресс-формы 1. Сверху на слой Δ_1 симметрично относительно продольной оси изготавливаемого изделия помещают вставку 2 из электротехнической стали,

выполненную в форме полого тонкостенного усеченного конуса, чей диаметр основания D_0 равен внутреннему диаметру пресс-формы 1. Затем во внутреннюю полость 3 вставки 2 из электротехнической стали, изготовленную в форме полого тонкостенного усеченного конуса, до ее верхнего края засыпают вышеуказанную гомогенную массу с уменьшенной магнитной проницаемостью μ_1 .

После этого ферромагнитный порошок, имеющий увеличенную магнитную проницаемость μ_2 смешивают с жидким связующим веществом (например, эпоксидной смолой) в требуемом соотношении. Полученную гомогенную массу засыпают в полость 4 между пресс-формой 1 и вставкой 2 до верхнего края вставки 2. Затем эту же гомогенную массу засыпают равномерным слоем Δ_2 во внутреннюю полость 5 пресс-формы 1. При этом высота засыпаемого слоя под вставкой Δ_1 равна высоте слоя над вставкой Δ_2 . После этого производят двухстороннее прессование ротора в осевом направлении. Величину засыпаемого слоя Δ_1 и Δ_2 выбирают с учетом того, чтобы после прессования длина готового магнитопровода ротора равнялась высоте вставки 2 усеченного конуса ℓ .

Предлагаемый способ позволит расширить область применения самотормозящихся асинхронных электродвигателей для разных приводных систем за счет возможности формирования требуемой степени осевой магнитной анизотропии ротора [2], [3], упростить технологию изготовления и уменьшить себестоимость изготовления за счет того, что при изготовлении отпадает необходимость использования дополнительного оборудования и материал применяемой вставки в форме тонкостенного усеченного конуса из электротехнической стали широко распространен, а сама вставка проста в изготовлении. Кроме того, перспективность применения предлагаемого способа изготовления магнитопроводов роторов для самотормозящихся асинхронных

электродвигателей повышает возможность получения высокоточных размеров изделия.

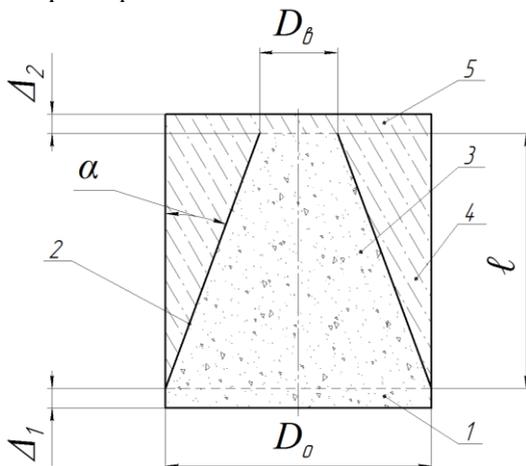


Рисунок 1 – Разрез вставки полого тонкостенного усеченного конуса и гомогенных смесей с разными магнитными свойствами

В целом, оптимизация технологии изготовления магнитопроводов роторов самотормозящихся асинхронных электродвигателей методом порошковой металлургии положительно скажется на перспективах развития электротехнической промышленности при изготовлении электрических машин.

Литература

1. Патент РФ № 2585016 Способ изготовления ротора самотормозящегося асинхронного электродвигателя/ С.А. Попов, [и др.]. Опубл. 25.05. 2016 г. Бюл. № 15.
2. Попов С.А. Перспективы производства и внедрения самотормозящихся асинхронного двигателя с осемагнитно-асимметричным ротором / С.А. Попов, К.Ю. Романенко, С.А. Пудов // Сб. статей III Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященная 52-й годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос : сб. науч. статей, Краснодар, 12 апреля 2013 г. / МОРФ ВУНЦ ВВС «ВВА», Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2013. – С. 115-118.

3. Попов С.А. Формирование осевого электромагнитного усилия в самотормозящемся асинхронном двигателе с осемагнитно-асимметричным ротором с учетом осевой магнитной асимметрии ротора / С.А. Попов, К.Ю. Романенко, В.С. Спичак // Технические и технологические системы (ТТС-14) : сб. материалов VI межд. науч. конф. – Краснодар: ФВУНЦ ВВС ВВА, 2014 г. – С. 471.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РОТОРА САМОТОРМОЗЯЩЕГОСЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

С.А. Попов (к.т.н., доц.), В.С. Спичак (аспирант),
Д.С. Спичак (студентка)

*Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

Преимуществом производства самотормозящихся асинхронных двигателей с осемагнитно-асимметричным ротором (САД с ОАР) является то, что в его основе применяются серийно изготавливаемые детали [1, 2, 3].

Известно устройство для изготовления ротора самотормозящегося асинхронного электродвигателя [4], представляющее собой специальный пресс с делительным приспособлением, обеспечивающим постепенное изменение диаметра штампа, необходимое для получения листов различных размеров с целью получения заданной конусности ротора. Однако такой пресс сложен в изготовлении, требует делительного приспособления, а при сборке электродвигателя требуется статор с такой же конической расточкой внутреннего диаметра.

Наиболее близким к данному решению по технической сущности, достигаемому техническому результату и принятым авторами за прототип является устройство для изготовления ротора самотормозящегося асинхронного электродвигателя, представляющее собой тонкостенный стакан, вокруг которого расположен источник магнитного поля, выполненный в виде

статора электрической машины переменного тока с внутренним коническим отверстием, обеспечивающее осевую магнитную анизотропию, за счет использования вращающегося магнитного поля с переменной осевой интенсивностью [5].

Данное устройство позволяет получить осевую анизотропию магнитных свойств ротора, необходимую для создания осевого электромагнитного усилия в самотормозящемся асинхронном электродвигателе.

Недостатком данного устройства является сложность расширения степени магнитной анизотропии при изготовлении и получения при этом требуемого монотонного изменения величины осевой магнитной анизотропии, от которой зависят величина осевого электромагнитного усилия, время пуска и торможения самотормозящихся электродвигателей. Это в конечном итоге сужает область применения самотормозящихся асинхронных электродвигателей для разных приводных систем, изготовленных данным устройством.

Авторами разработано устройство для изготовления ротора самотормозящегося асинхронного электродвигателя [6], которое лишено данных недостатков (рис. 1).

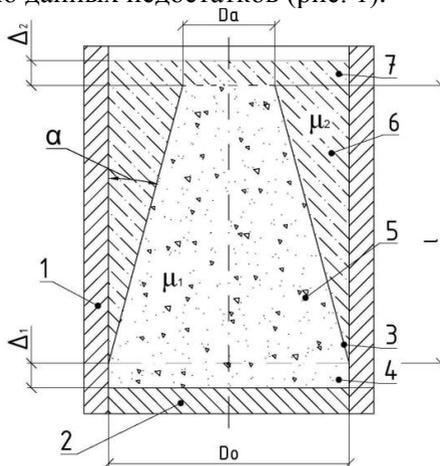


Рисунок 1 – Устройство для изготовления ротора самотормозящегося асинхронного электродвигателя с ротором до прессования в разрезе

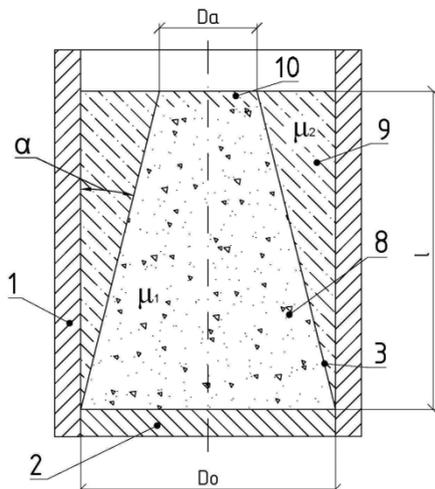


Рисунок 2 – Устройство для изготовления ротора самотормозящегося асинхронного электродвигателя с ротором после прессования в разрезе

Устройство для изготовления ротора самотормозящегося асинхронного электродвигателя содержит сборную пресс-форму, выполненную в форме толстостенного стакана, состоящую из полого цилиндра 1 и подвижного дна 2, выполненного в форме диска, входящего в полый цилиндр 1 по внутреннему диаметру основания D_o . Внутри пресс-формы симметрично относительно продольной оси расположена вставка 3 из электротехнической стали, выполненная в форме полого тонкостенного усеченного конуса, чья высота равна длине активной части изготовленного ротора l , а диаметр основания D_o , находящийся внизу, равен внутреннему диаметру пресс-формы. Вставка 3, выполненная в форме полого тонкостенного усеченного конуса, изготовлена из электротехнической стали с большой магнитной проницаемостью. На рис. 2 изображен угол α – угол, образованный между внутренней стенкой полого цилиндра 1 пресс-формы и стенкой вставки 3, выполненная в форме полого

тонкостенного усеченного конуса. На рис. 1 и рис. 2 изображен верхний диаметр D_0 вставки 3, в форме полого тонкостенного усеченного конуса. Смесь 4, 5 состоящая из ферромагнитного порошка, имеющего уменьшенную магнитную проницаемость μ_1 , с жидким связующим веществом (например, эпоксидной смолой), расположена внутри вставки 3, и ограничена снизу подвижным дном 2 пресс-формы (рис. 1). Смесь 6, 7, состоящая из ферромагнитного порошка, имеющего увеличенную магнитную проницаемость μ_2 , с жидким связующим веществом, расположена между полым цилиндром 1 пресс-формы и вставкой 3 в форме полого тонкостенного усеченного конуса.

Устройство работает следующим образом. Во внутрь сборной пресс-формы в форме толстостенного стакана, состоящую из полого цилиндра 1 и подвижного дна 2, засыпают смесь 4 высотой Δ_1 (рис. 1). Затем во внутрь пресс-формы на смесь 4 высотой Δ_1 помещают симметрично относительно продольной оси вставку 3, изготовленного в форме полого тонкостенного усеченного конуса диаметром основания D_0 к подвижному дну 2 и засыпают во внутреннюю полость до верхней границы вставки 3 смесь 5. После этого засыпают смесь 6 в полость между полым цилиндром 1 и вставкой 3 до ее верхней границы, а затем смесь 7 высотой Δ_2 – во внутрь пресс-формы выше верхней границы вставки 3 и прессуют с двух сторон в осевом направлении. При этом высоты засыпаемых слоев смесей 4 и 7 равны между собой $\Delta_1 = \Delta_2$, а их величины выбираются с учетом того, чтобы при прессовании не произошло смятия вставки 3. После окончания процесса прессования вставка 3 формирует спрессованную однородную массу 8, состоящую из жидкого связующего вещества с ферромагнитным порошком, имеющим уменьшенную магнитную проницаемость μ_1 , и спрессованную однородную массу 9, состоящую из жидкого связующего вещества с ферромагнитным порошком, имеющим увеличенную магнитную проницаемость μ_2 , с необходимым углом α и соответственно с требуемой монотонно изменяющейся

магнитной асимметрией (рис. 2). При этом во внутренней области вставки 3 находится незначительный слой спрессованной гомогенной массы 10, состоящей из жидкого связующего вещества с ферромагнитным порошком, имеющим увеличенную магнитную проницаемость μ_2 , который фактически не будет оказывать влияние на распределение магнитного сопротивления вдоль оси изготовленного ротора (на большую глубину электромагнитная волна фактически не проникает и затухает раньше). После процесса полимеризации изготовленный ротор извлекают путем фиксации полого цилиндра 1 и выдавливания его в осевом направлении.

В данном устройстве возможность изменения и получения требуемой осевой анизотропии ротора реализуется применением вставки из электротехнической стали в форме полого тонкостенного усеченного конуса, имеющей малое магнитное сопротивление, которая разделяет в пресс-форме две гомогенные массы с разными магнитными свойствами и формирует необходимое монотонное изменение в осевом направлении магнитного сопротивления ротора за счет угла α (угол образованный между внутренней стенкой пресс-формы и стенкой вставки усеченного тонкостенного конуса), который зависит от геометрического размера верхнего диаметра вставки D_b (так как диаметр основания D_0 остается величиной постоянной и равен внутреннему диаметру пресс-формы), или заменой на вставку с другим геометрическим размером верхнего диаметра вставки D_b с требуемым углом α .

Кроме этого, данное устройство для изготовления ротора самотормозящегося асинхронного электродвигателя дает возможность, при необходимости, дополнительного изменения степени осевой магнитной анизотропии ротора за счет использования для приготовления гомогенных смесей ферромагнитных порошков с разными магнитными свойствами (μ_1 и μ_2) и замены их на ферромагнитные порошки с иными магнитными свойствами. При этом, чем больше расхождение используемых ферромагнитных порошков с разными

магнитными свойствами (μ_1 и μ_2), тем больше расхождение магнитных сопротивлений ротора в этих областях и соответственно будет получено большее дополнительное увеличение степени магнитной осевой анизотропии.

Литература

1. Попов С.А. Перспективы производства и внедрения самотормозящихся асинхронного двигателя с осемагнитно-асимметричным ротором / С.А. Попов, К.Ю. Романенко, С.А. Пудов // Сб. статей III Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященная 52-й годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос : сб. науч. статей, Краснодар, 12 апреля 2013 г. / МОРФ ВУНЦ ВВС «ВВА», Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2013. – С. 115-118.

2. Попов С.А. Построение электроприводов на базе самотормозящихся асинхронных двигателей различных конструкций: Дис. ... канд. техн. наук. – Краснодар, 1998 – 198 с.

3. Попов С.А. Формирование осевого электромагнитного усилия в самотормозящемся асинхронном двигателе с осемагнитно-асимметричным ротором с учетом осевой магнитной асимметрии ротора / С.А. Попов, К.Ю. Романенко, В.С.Спичак // Технические и технологические системы (ТТС-14) : сб. материалов VI межд. науч. конф. – Краснодар: ФВУНЦ ВВС ВВА, 2014 г. – С. 471.

4. Рященцев Н.П., Швец С.А. Самотормозящийся асинхронный двигатель с конусным ротором. Новосибирск: «Наука», 1974.

5. А.С. № 640398. Устройство для изготовления ротора самотормозящегося асинхронного электродвигателя / Б.Х. Гайтов. Опубл. 30.12. 1978 г. Бюл. № 48.

6. Пат. РФ № 2589728. Устройство для изготовления ротора самотормозящегося асинхронного электродвигателя / С.А. Попов [и др.]. Опубл. 10.07. 2016 г. Бюл. № 19.

УЛУЧШЕНИЕ РАБОЧИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НА БАЗЕ СДВОЕННОЙ АКСИАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

С.А. Попов (к.т.н., доцент), В.Е. Нечесов (аспирант),
Б.О. Креминский (студент), Д.О. Умрихин (студент)
*Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

Измельчение твердых и сыпучих материалов необходимо при производстве строительных материалов, в сельском хозяйстве, горно-обогатительной, лакокрасочной, химической промышленности, а также в быту [1]. В силу конструктивных преимуществ и качества измельчения дисковые дезинтеграторы нашли широкое применение. Конструкция такого дезинтегратора [2] представлена на рис. 1.

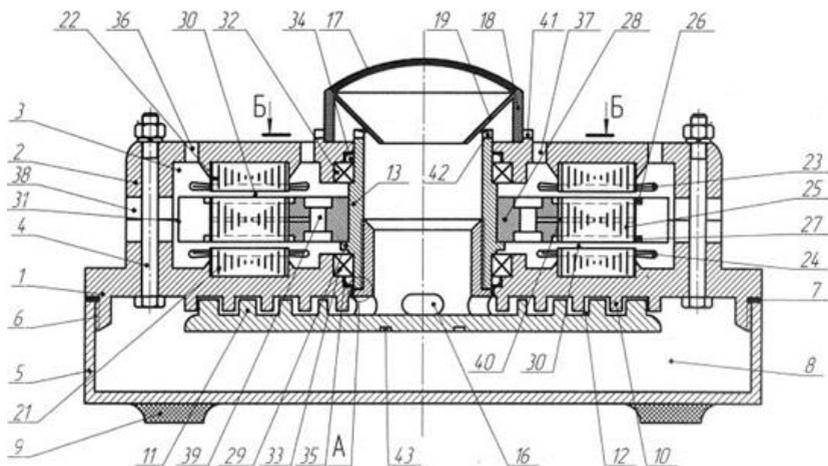


Рисунок 1 – Общий вид дезинтегратора и его продольный разрез

Для аксиальной конструкции магнитопроводов характерным является то, что магнитное сопротивление магнитопроводов в радиальном направлении изменяется (из-за

изменяющейся геометрии магнитопровода в радиальном направлении) и магнитный поток в магнитопроводе замыкается по пути с наименьшим магнитным сопротивлением, повышая тем самым намагниченность областей зубцов и ярма, находящихся ближе к внутреннему диаметру магнитопроводов. Это ведет к дополнительному тепловыделению этих наиболее насыщенных участков магнитопроводов с находящимися там обмотками [3]. При этом потоки поступающего хладагента из вентиляционных отверстий, расположенных со стороны верхнего несущего щита, интенсивнее (по сравнению с остальными тепловыделяющими элементами) охлаждают внутреннюю часть верхнего магнитопровода статора и внутреннюю лобовую часть верхней обмотки статора за счет большего обдува. Это приводит к возникновению разности температур основных частей машины в симметричных точках внутренней области нижнего магнитопровода статора с обмоткой. Дополнительное увеличение разности температур в симметричных точках верхнего и нижнего магнитопроводов статора связано с тем, что верхний магнитопровод статора соприкасается опорной поверхностью с верхним несущим щитом, который дополнительно снижает его температуру (за счет дополнительной охлаждающей способности внешней поверхности), а нижний магнитопровод статора соприкасается опорной поверхностью с нижним несущим щитом, в котором выполнен неподвижный диск дезинтегратора, дополнительно повышающим его температуру из-за тепловыделений образующихся при помолё.

При этом дополнительный повышенный нагрев зоны внутренней лобовой части нижнего магнитопровода статора с находящейся там обмоткой ведет к ускорению времени старения ее изоляции в этой области и уменьшению срока службы. Это ведет к преждевременному выходу изоляции проводов обмоток из строя и уменьшению эксплуатационной надежности и долговечности работы дезинтегратора.

На кафедре электротехники и электрических машин КубГТУ была разработана конструкция дезинтегратора с улучшенными рабочими и эксплуатационными характеристиками [4] представленная на рис. 2.

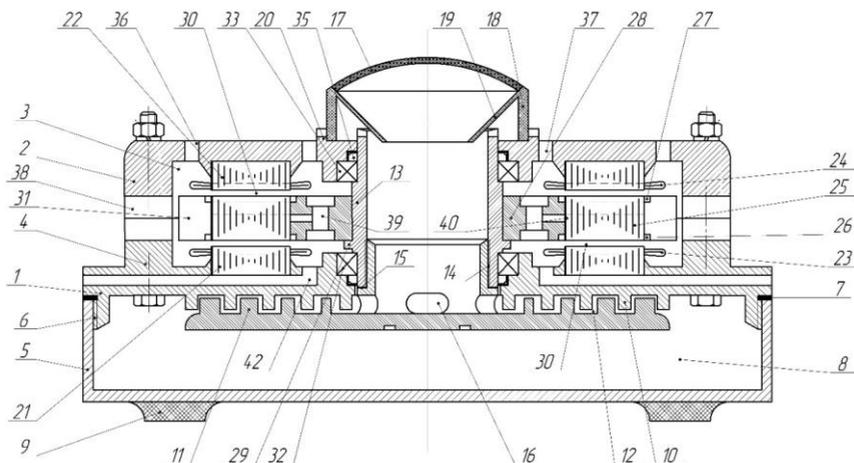


Рисунок 2 – Общий вид дезинтегратора с улучшенными рабочими и эксплуатационными характеристиками и его продольный разрез

Устройство содержит сборный корпус, который состоит из жестко связанных между собой нижнего несущего щита 1 и верхнего несущего щита 2, образующих кольцевую полость 3 для приводного двигателя посредством болтового соединения 4. Нижний несущий щит 1 закреплен в основании 5 посредством резьбового соединения 6 через резиновую прокладку 7 и образует камеру 8 для приема готового измельченного продукта. Основание 5 имеет резиновые опоры 9. Рабочий орган состоит из неподвижного диска с развитой поверхностью 10, которая изготовлена в нижней части нижнего несущего щита 1 и подвижного диска 11, развитая поверхность которых выполнена по аналогии с рабочими дисками известных дезинтеграторов. Между развитой поверхностью 10 и подвижным диском 11 имеется зазор 12, в котором непосредственно и происходит измельчение продукта. Подвижный диск 11 жестко соединен с

полым валом 13 посредством резьбового соединения 14. Для предотвращения самораскручивания между подвижным диском 11 и полым валом 13 стоит пружинная шайба 15. В нижней части полого вала 13 расположены технологические отверстия 16 для подачи измельчаемого продукта в зазор 12 между развитой поверхностью 10 и подвижным диском 11. Для загрузки измельчаемого продукта сверху предусмотрен люк 17 в загрузочном бункере 18 с направляющими 19, закрепленный в корпусе верхнего несущего щита 2 при помощи выступа в форме кольцевого диска 20.

Приводом дезинтегратора служит сдвоенный асинхронный двухстаторный однороторный торцовый (аксиальный) электродвигатель, который состоит из нижнего магнитопровода статора 21 и верхнего магнитопровода статора 22, жестко закрепленных соответственно в нижнем несущем щите 1 и верхнем несущем щите 2 с m-фазными обмотками возбуждения 23, 24. Ротор электрической машины состоит из магниторопровода 25 с короткозамкнутыми обмотками 26, 27 и со ступицей 28, жестко закрепленных на полом вала 13, которые сопряжены между собой с гарантированным натягом при помощи шпоночного соединения (шпоночное соединение не указано). Магниторопровод ротора 25 со ступицей 28 жестко закреплены между собой и образуют кольцевой диск ротора. На полом вала 13 выполнен бурт 29 в форме кольцевого диска таким образом, что при монтаже диска ротора между нижним магнитопроводом статора 21, верхним магнитопроводом статора 22 и магниторопроводом ротора 25 имеются равные воздушные зазоры 30. На внешней стороне магнитопровода ротора 25 выполнены вентиляционные лопасти 31. Полый вал 13 базируется при помощи нижнего радиально упорного подшипника 32 и верхнего радиально упорного подшипника 33, внутренние кольца которых упираются в его выступы, а внешние кольца фиксируются в нижнем несущем щите 1 и верхнем несущем щите 2. Для защиты от попадания пылеобразных частиц измельчаемого материала в нижний

радиально упорный подшипник 32 и верхний радиально упорный подшипник 33, предусмотрены резиновые армированные манжеты 34, 35.

В устройстве реализована самовентиляционная система охлаждения тепловыделяющих элементов приводного аксиального двигателя, включающая сеть вентиляционных отверстий 36, 37, выполненных на верхнем несущем щите 2, вентиляционных отверстий 38, выполненных на внешней цилиндрической поверхности нижнего несущего щита 1 и верхнего несущего щита 2 корпуса машины, а во внутренней части ступицы 28 отверстий 39, соединенных с сетью радиальных вентиляционных каналов 40, выходящих на внешнюю поверхность дисков роторов к вентиляционным лопаткам 31. Внутри нижнего несущего щита 1 выполнена сеть радиальных вентиляционных каналов 41, соединяющих крайнюю внешнюю боковую поверхность нижнего несущего щита 1, сопряженного с атмосферой, с внутренней центральной кольцевой полостью машины 3, проходящих под опорной поверхностью нижнего магнитопровода статора 21, продолжающихся осевыми ответвлениями 42, выходящими во внутреннюю центральную кольцевую полость машины 3 между внутренней поверхностью нижнего магнитопровода статора 21 и нижним радиально упорным подшипником 32. Для подвода охлаждающего воздуха в кольцевую полость 3 служат вентиляционные отверстия 37 и сеть радиальных вентиляционных каналов 41, а для выброса нагретых воздушных масс предназначены вентиляционные отверстия 36, 38. При подключении двигателя необходимо учитывать направление вращения ротора: оно должно совпадать с направлением закручивания резьбового соединения 14 между подвижным диском 11 и полым валом 13, то есть резьбовое соединение 14 является самозатягивающимся.

Работает дезинтегратор следующим образом. В результате подключения с m-фазных обмоток возбуждения 23, 24 нижнего магнитопровода статора 21 и верхнего магнитопровода статора

22 к сети создается двустороннее вращающееся магнитное поле, воздействующее на проводники короткозамкнутой обмотки ротора 26, 27, вследствие чего ротор с подвижным диском 11 приводится во вращение.

Измельчаемый продукт засыпается в загрузочный бункер 18 и по направляющим 19 ссыпается в полый вал 13, где под действием сил тяжести попадает в нижнюю часть к технологическим отверстиям 16. Под воздействием центробежной силы измельчаемый продукт попадает через технологические отверстия 16 в зазор 12 между развитой поверхностью 10 и подвижными дисками 11, и происходит помол.

Готовый продукт под действием центробежной силы ссыпается в камеру 8 для приема готового измельченного продукта основания 5, откуда после прекращения помола извлекается при снятом нижнем несущем щите 1.

При работающем приводном электродвигателе охлаждающие воздушные потоки попадают в кольцевую полость 3 двумя параллельными путями: через вентиляционные отверстия 37 и сеть радиальных вентиляционных каналов 41, что позволяет выровнять температуру в симметричных точках каждого из двух частей двухстаторного приводного двигателя. Воздушный поток, проходящий через вентиляционные отверстия 37, выполненные в верхнем несущем щите 2, охлаждает внутреннюю часть верхнего магнитопровода статора 22, внутреннюю лобовую часть верхней обмотки статора 24, а поток, проходящий через сеть радиальных вентиляционных каналов 41, выполненных внутри нижнего несущего щита 1, проходящих под опорной поверхностью нижнего магнитопровода статора 21, заканчивающиеся осевыми ответвлениями 42, охлаждает опорную поверхность нижнего магнитопровода статора 21 с его внутренней частью, внутреннюю лобовую часть нижней обмотки статора 23. Эти потоки поступают в ступицу 39 с разных сторон, а затем через сеть радиальных вентиляционных каналов 40, выходящих на

внешнюю поверхность дисков роторов нагретыми выбрасываются вентиляционными лопатками 31 через вентиляционные отверстия 36, 38 за пределы корпуса машины.

Улучшение рабочих и энергетических характеристик машины происходит за счет повышения эффективности системы охлаждения машины, а именно: более равномерного охлаждения обеих частей двигателя с последующим выравниванием температур в симметричных точках каждой из них. При работающем приводном электродвигателе охлаждающие воздушные потоки попадают в кольцевую полость двумя параллельными путями. Одни проходят через вентиляционные отверстия, выполненные в верхнем несущем щите, и интенсивно охлаждают внутреннюю часть верхнего магнитопровода статора, внутреннюю лобовую часть верхней обмотки статора. Вторые заходят через сеть радиальных вентиляционных каналов, выполненных внутри нижнего несущего щита под опорной поверхностью нижнего магнитопровода статора, заканчивающихся осевыми ответвлениями, интенсивно охлаждают опорную поверхность нижнего магнитопровода статора, внутреннюю часть нижнего магнитопровода статора, внутреннюю лобовую часть нижней обмотки статора. Встречные потоки складываются в ступице и через сеть радиальных вентиляционных каналов, выходящих на внешнюю поверхность дисков роторов нагретыми, выбрасываются вентиляционными лопатками через вентиляционные отверстия за пределы корпуса машины.

Дополнительное охлаждение наиболее напряженной в тепловом отношении зоны внутренней лобовой части нижнего магнитопровода статора с находящейся там обмоткой ведет к уменьшению перегрева изоляции проводов, и, как следствие, к увеличению срока ее службы с возможностью увеличения времени непрерывной работы дезинтегратора и соответственно к интенсификации процесса измельчения. Увеличение срока службы изоляции проводов ведет к увеличению

эксплуатационной надежности и долговечности работы дезинтегратора в целом.

Литература

1. Попов С.А. Аксиальный привод асинхронного двигателя – дезинтегратора / С.А. Попов, Т.Б. Гайтова, Н.В. Ладенко // Энергосбережение и водоподготовка. – 2013. – №5(85). – С. 52-54.

2. Пат. РФ №2541688 Дезинтегратор / Попов С.А. [и др.]. Оpubл. 20.02.2015 г. Бюл. № 5.

3. Игнатов В.А. Торцовые асинхронные электродвигатели интегрального изготовления / В.А. Игнатов, К.Я. Вильданов. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 304 с.

4. Пат. РФ № 2583676 Дезинтегратор / Попов С.А. [и др.]. Оpubл. 10.05.2016 г. Бюл. № 13.

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛИ АКСИАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В СРЕДЕ ANSOFT MAXWELL ДЛЯ ТРЕХМЕРНОЙ МАГНИТОСТАТИКИ

И.Н. Автайкин (к.т.н., доц.), А.М. Квон (к.т.н., доц.),
Р.А. Барчо (студент)

*Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

На сегодняшний день в нашей стране серийный выпуск аксиальных машин до сих пор не налажен, а теория расчета недостаточно разработана. Поэтому процесс синтеза и анализа подобных машин наиболее рационально проводить, используя современные математические численные методы.

Современный этап развития электромеханики немислим без математических моделей различного уровня сложности. Учйывая, что магнитные поля в электрической машине протекают в трехмерном пространстве, в общем случае математические модели должны быть построены на основе решения задачи расчета магнитного поля в трехмерной постановке. В основе анализа магнитных полей в электрических

машинах лежат уравнения Максвелла. Основные уравнения, используемые для предлагаемой математической модели, представлены в [1]. Определенно понятно, что нахождение аналитического решения очень трудоемкий процесс и поэтому для решения полевых задач рационально использовать численные методы, которые успешно реализованы в современных системах автоматизации инженерных расчётов. Одним из наиболее популярных программных продуктов, реализующим численные методы, является система Ansoft Maxwell. Пакет Ansoft Maxwell представляет собой совокупность программных кодов, построенных по методу конечных элементов для решения большого круга инженерных задач.

В рамках этой системы возможно решение задач электростатики, магнитостатики, электродинамики. Однако, для решения целого ряда практических проблем, электромеханики можно ограничиться полевой моделью электрической машины в нелинейной магнитостатической постановке.

Основными этапами подготовки расчета стационарного магнитного поля в электрических машинах являются:

- построение геометрии магнитопровода и обмоток;
- ввод свойств материалов;
- задание граничных условий;
- задание величины тока в обмотках.

Рассмотрим методику подготовки исходных данных и расчета магнитного поля на примере аксиального асинхронного электродвигателя с массивным ротором (ААД-МР). Так как геометрия аксиальной конструкции имеет форму дисков, то возможности представления ее в 2D виде нет. Поэтому проводить расчет будем в 3D постановке.

Формирование геометрии в Ansoft Maxwell наиболее трудоемкий этап моделирования и не зависящий от возможностей вычислительной техники. Поэтому, от правильного выбора стратегии ее создания зависит полное время прохождения всех этапов, а также, размер модели и

точность расчета. По мнению авторов, геометрию ААД-МР целесообразнее осуществлять элементами системной библиотеки RМхprt. Системная библиотека RМхprt представляет собой широкий набор магнитных цепей и обмоток для достаточно большого перечня электрических машин. На рис. 1 показаны магнитопровод статора предполагаемой конфигурации с количеством пазов $Z=12$ и двухслойной обмоткой с числом пар полюсов $p = 2$. В свойствах каждого из приведенных элементов возможно менять различные параметры. Одними из таких параметров являются величины наружного **Core_outer_diameter = 100 mm** и внутреннего **Core_inner_diameter = 70 mm** диаметров ААД-МР. Отметим, что в Ansoft Maxwell, при создании обмотки, нет такого параметра как количество пазов на полюс и фазу – q . Этот параметр учитывается в процессе задания нагрузки в обмотках машины.

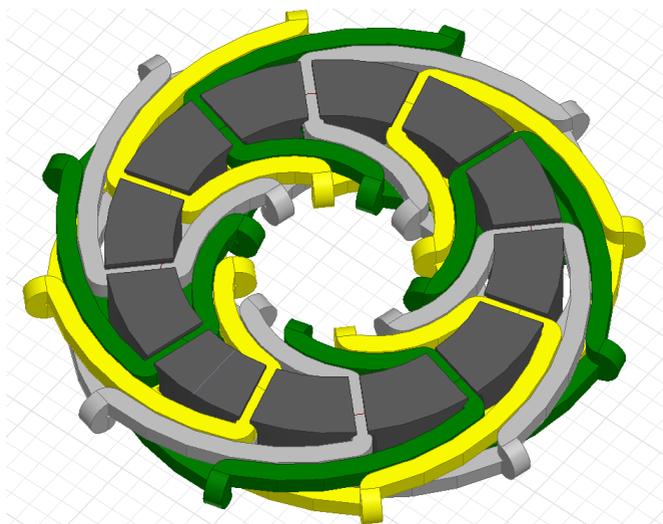


Рисунок 1 – Магнитопровод статора предполагаемой конфигурации с количеством пазов $Z=12$ и двухслойной обмоткой с числом пар полюсов $p = 2$.

В некоторых случаях, геометрию машины целесообразнее импортировать из CAD программ или вычерчивать с помощью геометрических примитивов, встроенных в Ansoft Maxwell.

Ввод свойств материалов осуществляется с помощью модуля **Assign material**. Модуль **Assign material** содержит базу данных свойств различных материалов, в том числе кривые намагничивания электротехнических сталей. Эта база может дополняться и модифицироваться пользователем. Так, например, магнитопроводы статора и ротора ААД-МР изготавливаются из электротехнической стали 1010, свойства которой присутствуют в исходной базе.

Формирование граничных условий (**Boundaries**) является одним из важных этапов при расчете магнитного поля электрических машин. От правильного назначения граничных условий зависит размерность расчетной области (число расчетных точек и конечных элементов) и возможность получения реального, с физической точки зрения, решения. При трехмерном моделировании наибольшее применение получило граничное условие, применяемое по умолчанию - магнитные силовые линии параллельны границе (**Tangential H Field**). Для проводников, изолированных относительно магнитной цепи, применяется условие – **insulating**.

Для описания граничных условий первоначально необходимо ограничить расчетную область с помощью команды **Create region**. Если для геометрии модели прямоугольная форма ограничивающей области не применима, то, как и для случая ААД-МР, вычерчивают подходящую область, применив к ней свойства материала **vacuum**.

Для задания МДС в катушках необходимо перейти на **Excitations** в дереве проекта **Project Manager Window**, в ниспадающем меню выделить пункт **Assign - Current**, предварительно выбрав левой кнопкой мыши поперечное сечение проводника. В окне **Current Excitation** необходимо задать амплитуду магнитодвижущей силы катушки. Для

остальных катушек необходимо проделать все вышеуказанные действия, учитывая направление токов в них.

Теперь математическая модель сформирована и подготовлена к непосредственному исследованию различных электрических и магнитных характеристик.

Литература

1. Влияние геометрических радиальных соотношений аксиальной электрической машины на ее габаритные характеристики и электромагнитный момент / Б.Х. Гайтов [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2013. – № 4 (84). – С. 47-49.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЯЕМОГО АСИНХРОННОГО КАСКАДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА С УТОЧНЁННОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

В.Ю. Карандей (к.т.н., доц.), В.Л. Афанасьев (магистрант),
Ю.Ю. Карандей (студент)

*Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

В настоящий момент большое распространение получили однодвигательные приводы. Данные виды приводов обладают рядом недостатков по сравнению с многодвигательными типами приводов: высокое энергопотребление, большие массогабаритные показатели, и т.д.

Большим преимуществом обладают каскадные системы электрических приводов [1-4]. Однако одной из основных трудностей в проектировании и конструировании таких устройств – это расчет электромагнитной системы. Ранее был описан метод расчета позволяющий разбить магнитную систему двигателя на отдельные участки для нулевого сдвига трехфазной системы напряжений [5-9].

Предлагается уточненный расчет магнитной системы двигателя со сдвигом трехфазной системы напряжения. Расчет магнитной системы производится с применением закона

Кирхгофа, закона Ома для магнитной цепи и принципа наложения, на примере известного асинхронного двигателя. Схема замещения приведена на (рис 1.). В качестве примера взята двухслойная обмотка на 36 пазов.

При изменении положения ротора изменяются величины магнитных сопротивлений зубцовой зоны статора и ротора, а также воздушного зазора по следующей зависимости:

$$R_{zi}^{(k)} = \frac{2}{\mu_0} \frac{\delta}{n b_{zc} l_m},$$

где $R_{zi}^{(k)}$ – общее магнитное сопротивление зубцовой зоны ротора, статора и воздушного зазора i -ой катушки при (k) -ом угле сдвига оси поля ротора относительно оси поля статора;

n – коэффициент для каждого сопротивления.

Коэффициент n показывает изменение магнитного сопротивления. В табл. 1 приведены значения коэффициента для всех катушек и всех положений оси поля ротора относительно оси поля статора.

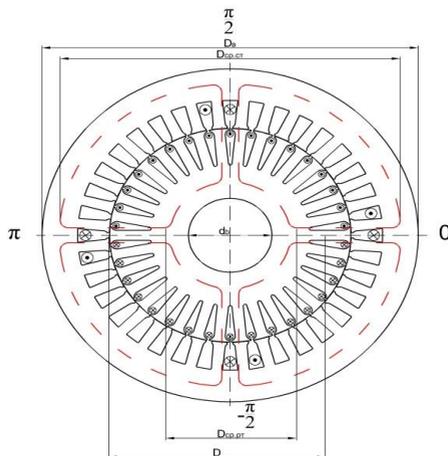


Рисунок 1 – Основные геометрические размеры асинхронного двигателя каскадного электрического привода

Таблица 1 – Значения коэффициентов n

Угол поворота оси, градус	Номер катушки								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	8.52	8.457	8.459	8.459	8.459	8.459	8.459	8.459	8.457
1,0588	8.583	8.57	8.507	8.459	8.459	8.459	8.459	8.459	8.459
2,1176	8.583	8.583	8.583	8.558	8.495	8.459	8.459	8.459	8.459
3,1764	8.583	8.583	8.583	8.583	8.583	8.545	8.482	8.459	8.459
4,2352	8.583	8.583	8.583	8.583	8.583	8.583	8.583	8.532	8.47
5,294	8.52	8.583	8.583	8.583	8.583	8.583	8.583	8.583	8.583
6,3528	8.459	8.47	8.533	8.583	8.583	8.583	8.583	8.583	8.583
7,4116	8.459	8.459	8.459	8.482	8.545	8.583	8.583	8.583	8.583
8,4704	8.459	8.459	8.459	8.459	8.459	8.495	8.557	8.583	8.583
9,5292	8.459	8.459	8.459	8.459	8.459	8.459	8.459	8.507	8.57
10,588	8.52	8.457	8.459	8.459	8.459	8.459	8.459	8.459	8.457
11,6468	8.583	8.57	8.507	8.459	8.459	8.459	8.459	8.459	8.459

При проведении исследования, наблюдается, что при достижении угла поворота оси поля статора относительно оси поля ротора в 10,588 градусов наблюдается повторение результата.

Выводы

Рассмотрен уточненный метод расчета, основанный на применении законов Ома для магнитной цепи и метода наложения. Данный метод позволяет более точно найти магнитные параметры управляемого асинхронного каскадного электрического привода.

Литература

1. Пат. РФ № 2402857. Управляемый каскадный электрический привод / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов. Зар. 27.10.2010 г.

2. Пат. РФ № 2461947. Управляемый каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов. Зар. 20.09.2012 г.

3. Пат. РФ № 2483415. Аксиальный каскадный электрический привод с жидкостным токоъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, О.Б. Попова. Зар. 11.03.2013 г.

4. Пат. РФ № 2370869. Токоъемное устройство / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов. Зар. 30.06.2008 г.

5. Подход к определению магнитных параметров компонента управляемого каскадного асинхронного электрического привода / Б.К. Попов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – №10(114). – IDA [article ID]: 1141510014. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/10/pdf/14.pdf>, 1,188 у.п.л.

6. Определение электромагнитной энергии и момента в каскадном электрическом приводе / В.Ю. Карандей [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №03(097). – IDA [article ID]: 0971401039. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/39.pdf>, 0,625 у.п.л.

7. Карандей В.Ю. Концепция расчета магнитной системы асинхронного двигателя специального электропривода / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Известия вузов. Пищевая технология. – 2008. – № 1. – С. 101-103.

8. Карандей В.Ю. Определение токов статора и ротора в каскадном электрическом приводе / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Известия высших учебных заведений Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2008. – № 4. – С. 91-96.

9. Карандей В.Ю. Математическое моделирование каскадных асинхронных электроприводов: в 3 т. ФГБОУ ВПО «КубГТУ». – Краснодар: Издательский Дом – Юг. Т. 1: Математическое моделирование магнитных систем электропривода. – 2014. – 142 с., ISBN 978-5-91718-345-9 (Т. 1), ISBN 978-5-91718-344-2

МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ ПОДХОД В НАХОЖДЕНИИ МАГНИТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ УПРАВЛЯЕМОГО АСИНХРОННОГО КАСКАДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА

В.Ю. Карандей (к.т.н., доц.), В.Л. Афанасьев (магистрант),
Ю.Н. Сташ (магистрант).

*Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

Ранее был описан подход, позволяющий рассчитать магнитные сопротивления рассматриваемых устройств [1-4] путем разделения магнитной системы на отдельные участки [5-9]. Для повышения точности расчета предлагается дополнить разработанную методику.

Для этого необходимо мнимо разбить участки зубцовой зоны статора и зубцовой зоны ротора, которые имеют сложную геометрию, на отдельные фрагменты. Данные фрагменты представляют собой элементарные геометрические фигуры: круг, трапеция и т.д. Данный подход позволит упростить процесс вычисления магнитных сопротивлений за счет уменьшения математического аппарата. Пренебрегая сложными расчетами с помощью интегралов.

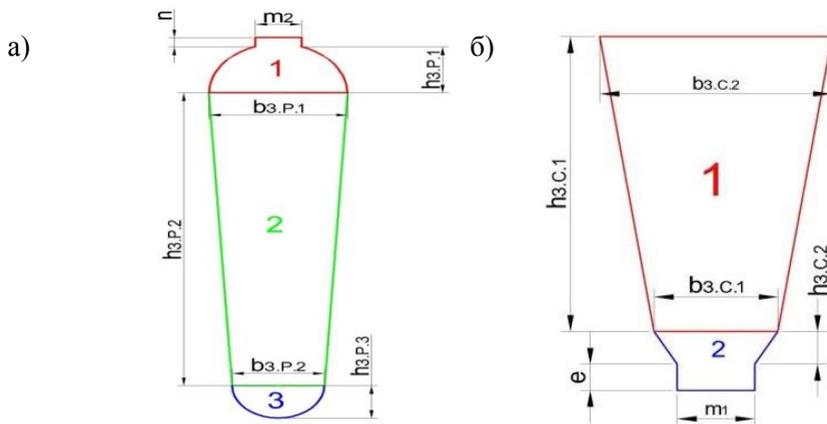


Рисунок 1 – Уточненная геометрия пазов а) статора б) ротора

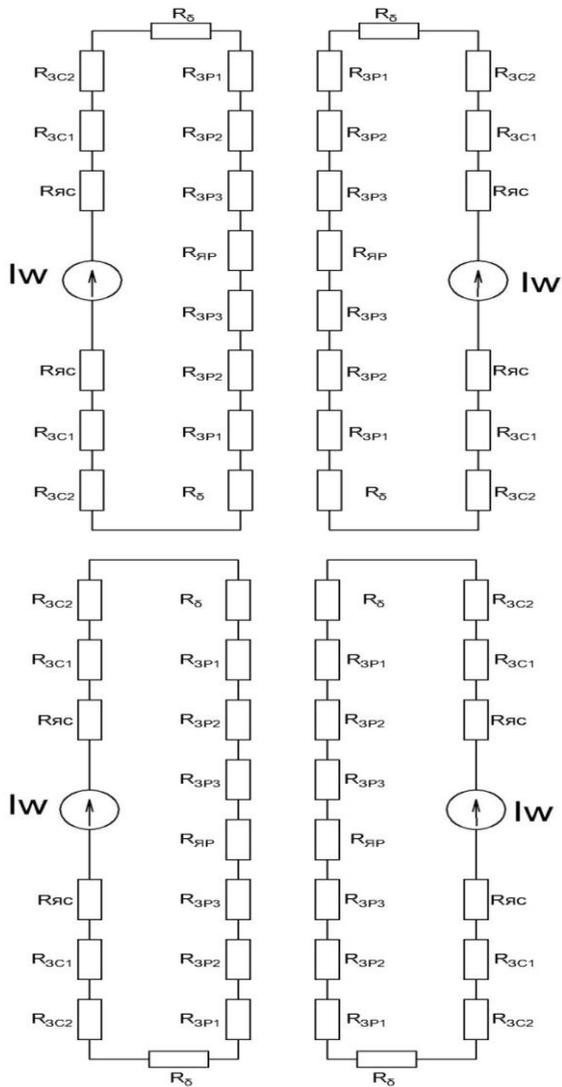


Рисунок 2 – Схема замещения магнитной системы асинхронного двигателя

Схема замещения в результате этого разбиения приведена на (рис2.)

Ниже приведены формулы для нахождения магнитного сопротивления для зубцовой зоны статора:

$$1. R_{\mu ЗС1} = \frac{h_{ЗС2}}{\mu_0 \cdot \mu_{ЗС} \cdot \frac{1}{2}(b_{ЗС1} + b_{ЗС2}) \cdot l_{ЗС1}};$$

$$2. R_{\mu ЗС} = \frac{h_{ЗС1}}{\mu_0 \cdot \mu_{ЗС} \cdot \frac{\pi}{8} \cdot (b_{ЗС1} - m)^2 + m \cdot (h_{ЗС1} + n)};$$

Для зубцовой зоны ротора:

$$1. R_{\mu ЗР1} = \frac{h_{ЗР1}}{\mu_0 \cdot \mu_{ЗР} \cdot \frac{\pi}{8} \cdot b_{ЗР1}^2};$$

$$2. R_{\mu ЗР2} = \frac{h_{ЗР2}}{\mu_0 \cdot \mu_{ЗР} \cdot \frac{1}{2}(b_{ЗР1} + b_{ЗР2}) \cdot l_{ЗР2}};$$

$$3. R_{\mu ЗР3} = \frac{h_{ЗР3}}{\mu_0 \cdot \mu_{ЗР} \cdot \frac{\pi}{8} \cdot b_{ЗР3}^2}.$$

Данный способ разбиения позволяет более точно произвести расчета магнитной системы двигателя, что без сомнений отразится на результате расчета [10-11].

Литература

1. Пат. РФ № 2402857. Управляемый каскадный электрический привод / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов. Зар. 27.10.2010 г.

2. Пат. РФ № 2461947. Управляемый каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов. Зар. 20.09.2012 г.

3. Пат. РФ № 2483415. Аксиальный каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, О.Б. Попова. Зар. 11.03.2013 г.

4. Пат. РФ № 2370869. Токосъемное устройство / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов. Зар. 30.06.2008 г.

5. Карандей В.Ю. Математическое моделирование каскадных асинхронных электроприводов: в 3 т. ФГБОУ ВПО «КубГТУ». – Краснодар: Издательский Дом – Юг. Т. 1:

Математическое моделирование магнитных систем электропривода. – 2014. – 142 с., ISBN 978-5-91718-345-9 (Т. 1), ISBN 978-5-91718-344-2.

6. Подход к определению магнитных параметров компонента управляемого каскадного асинхронного электрического привода / Б.К. Попов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – №10(114). – IDA [article ID]: 1141510014. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/10/pdf/14.pdf>, 1,188 у.п.л.

7. Определение электромагнитной энергии и момента в каскадном электрическом приводе / В.Ю. Карандей [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №03(097). – IDA [article ID]: 0971401039. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/39.pdf>, 0,625 у.п.л.

7. Карандей В.Ю. Концепция расчета магнитной системы асинхронного двигателя специального электропривода / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Известия вузов. Пищевая технология. – 2008. – № 1. – С. 101-103.

8. Карандей В.Ю. Определение токов статора и ротора в каскадном электрическом приводе / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Известия высших учебных заведений Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2008. – № 4. – С. 91-96.

9. Разработка подхода к расчету магнитного потока одной катушечной группы обмотки статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №06(120). – IDA [article

ID]: 1201606039. – Режим доступа:
<http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/39.pdf>.

10. Разработка алгоритма расчета электромагнитных параметров статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей, [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №06 (120). – IDA [article ID]: 1201606041. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/41.pdf>.

11. Карандей В.Ю. Подход к определению магнитных параметров управляемого асинхронного каскадного электрического привода с уточненной геометрией / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №06(120). – IDA [article ID]: 1201606040. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/40.pdf>.

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РАЗНОРОДНЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

М.С. Христофоров

ФКП «Армавирская биологическая фабрика» (г. Армавир, Россия)

В настоящее время основным (82 %) источником получения электрической энергии в мире является ископаемое топливо и отчасти (на 16 %) - растительное топливо. Вместе с тем энергия, поступающая от Солнца на Землю, превышает современное энергопроизводство в $2 \cdot 10^4$ раз. К этому следует добавить, что около 2 % поступающей на Землю солнечной радиации превращается в энергию ветра, как результат тепловых процессов, происходящих в атмосфере.

В общем случае энергию ископаемого топлива, и даже гидроэнергию, используемую человеком для получения

электрической энергии, можно рассматривать как преобразованную солнечную энергию по схеме: солнечная радиация - органический синтез (образование каменного угля, нефти, газа и т.п.) - сжигание топлива (получение тепловой энергии) - преобразование тепловой энергии сначала в механическую (в турбине), а затем - в электрическую в (генераторе); или по схеме : солнечная радиация - испарение влаги - конденсация - осадки - водоемы преобразование механической энергии водного потока в электрическую энергию. Однако коэффициент преобразования солнечной энергии, как подавляющей энергии на Земле, по приведенным (природным) схемам не превышает сотых долей процента и вместе с тем огромный её поток, поступающий на Землю, используется в незначительных количествах.

Эти обстоятельства привели к естественной активизации поисков других, нетрадиционных, экологически чистых источников энергии, таких как: энергии Солнца, ветра, малых рек, биотоплива, приливов - отливов, морских волн и морских подводных течений, геотермальных вод и др. При этом естественной является попытка обойтись без многоступенчатой схемы преобразования энергии, а в идеальном случае - достичь непосредственного, прямого безмашинного преобразования энергии [5].

Однако до настоящего времени вопросы прямого преобразования энергии, предусматривающие непосредственное генерирование электрического тока из химически активных продуктов в электрохимических генераторах без теплового и механического циклов или прямое преобразование тепловой и солнечной энергии в электрическую (термоэлектрическое, термоэмиссионное и фотоэлектрическое преобразование), не нашли широкого развития, с одной стороны, и принципиально не могут охватить всю гамму известных в природе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В связи с этим не случайно вопросы использования ВИЭ, в большинстве своём решаются с использованием электромеханических преобразователей энергии

(ЭМПЭ), т.е. электрических машин (ЭМ), которые успешно конкурируют с установками прямого преобразования энергии, например с фотоэлектрическими преобразователями (ФЭП) солнечной энергии в электрическую, имеющими КПД на уровне 10-15 %.

Как показала практика, использование традиционных электрических машин для нетрадиционной области энергетики, либо неэффективно, либо вовсе невозможно из-за невысокой плотности потока ВИЭ и прерывистого, недетерминированного характера поступления последних. Так, плотность радиации Солнца у земной поверхности и ветровой энергии при скорости до 10 м/с колеблется от нуля до 1 кВт/М², тогда как плотность потока электромагнитной энергии в воздушном зазоре обычной ЭМ составляет 500 кВт/М².

Следовательно, одной из основных задач современной электромеханики является разработка новых нетрадиционных электрических машин, максимально удовлетворяющих требованиям нетрадиционной энергетики.

Для решения задачи преобразования и суммирования энергии Солнца и ветра на кафедре электротехники Кубанского государственного технологического университета разработан ряд электрических преобразователей способных преобразовывать энергию ветра и солнца в электрическую [1-4, 6-12].

Практическая реализация и экспериментальные исследования таких конструкций показали их высокий потенциал и эффективность применения непосредственно в системах ветро-солнечной энергетики, что наиболее актуально для районов Юга России.

Литература

1. Двухмерная электрическая машина-генератор для автономных систем электроснабжения / Б.Х. Гайтов [и др.] // Наука. Техника. Технологии. (Политехнический вестник). – 2013. – № 1-2. – С. 66-70.

2. Ермак А.А. Перспективные источники для автономных систем электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии / А.А. Ермак, А.В. Самородов, М.Л.Копелевич // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8-1. – С. 39-41.

3. Создание перспективных систем автономного энергоснабжения объектов на базе принципиально новых электромеханических преобразователей энергии повышенной надежности / Б.Х. Гайтов [и др.] // отчет о НИР № 13-08-96515/14 от 08.10.2014 (РФФИ и Администрация Краснодарского края).

4. Пат. РФ № 2349016. Управляемая двухмерная электрическая машина / Б.Х. Гайтов [и др.]. Оpubл. 07.05.2007 г.

5. Ветро-солнечные генераторы для электроснабжения объектов нефтегазовой отрасли / Е.А. Зеленская [и др.] // Газовая промышленность. – 2014. – № 6 (707). – С. 114-117.

6. Самородов А.В. Разработка системы автономного электроснабжения на базе двухмерной электрической машины : Дис. ... канд. техн. наук. – Краснодар, 2002. – 138с.

7. Гайтов Б.Х. Разработка и основы теории двухмерных электрических машин для систем автономного электроснабжения / Т.Б. Гайтова, С.Р. Шарифуллин, А.В. Самородов // Изв. Вузов. Электромеханика. – 1999. – № 4. – С. 3-6.

8. Пат. РФ № 2402858. Аксиальный бесконтактный генератор постоянного тока / Гайтов Б.Х. [и др.] Зар 12.10.2009.

9. Пат. РФ № 2450411. Аксиальная двухвходовая бесконтактная электрическая машина-генератор / Гайтов Б.Х. [и др.] Зар. 12.01.2011 г.

10. Кашин Я.М. Обоснование и разработка перспективных конструкций генераторных установок для систем автономного электроснабжения / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, Д.В. Пауков // Изв. вузов. Электромеханика. – 2012. – № 3. – С. 46-53.

11. Кашин А.Я. Радиальные и аксиальные электрические машины, как частный случай электрических машин с

коническим ротором. Основные определения / А.Я. Кашин, А.С. Князев Технические и технологические системы (ТТС-15) : сб. матер. VII межд. науч. конф. Краснодар, 7-9 октября 2015г. / КубГТУ под общей ред. Б.Х. Гайтова – Краснодар, 2015. – С. 121-127.

12. Определение основных размеров аксиальных электрических машин / Я.М. Кашин [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – С. 111-121.

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ КАСКАДНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

В.Ю. Карандей (к.т.н., доц.), В.С. Бездетко (студент),
А.М. Ляшенко (студент).

*Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

Насосные станции магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов, компрессорные станции газопроводов, а также буровые установки используют различные виды электрических приводов для обеспечения необходимой работы. Однако данные типы электрических приводов являются однодвигательными, а значит, у данных типов электрических приводов есть естественные ограничения по максимальной скорости вращения и развиваемому моменту на валу.

Использование различных видов каскадных систем электрического привода позволяет решить данную проблему. Использование предложенных устройств [1-4] и методов расчета и проектирования [5-7] позволит расширить диапазон регулирования электропривода (рис. 1, 2). Скорость вращения можно будет регулировать плавно от 0 до двойной синхронной при двухступенчатом каскаде. Причем компоненты электропривода будут работать, всегда в режимах близких к номинальному.

К разряду положительных свойств предложенной конструкции следует отнести то, что ей не грозит перегрев на

малых оборотах. Это вызвано тем, что двигательные элементы электропривода постоянно вращаются на скоростях близких к номинальным. Это обстоятельство способствует хорошей вентиляции двигателей и, соответственно, хорошему охлаждению привода в целом, что невозможно без специальных средств в других конструкциях. Например, при частотном регулировании на малых оборотах ротор стоит практически на месте и при большом моменте греется, а это ограничивает длительность данного режима.

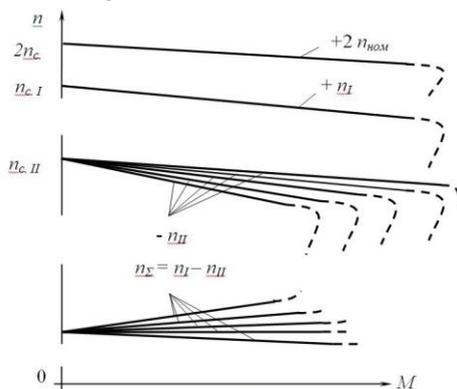


Рисунок 1 – Суммарная характеристика электропривода при разных частотах вращения

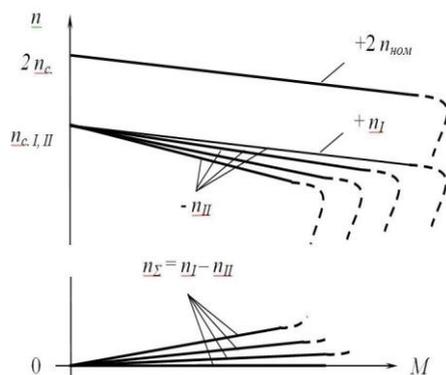


Рисунок 2 – Суммарная характеристика электропривода при одинаковых частотах вращения

Литература

1. Пат. РФ № 2402857. Управляемый каскадный электрический привод / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов. Зар. 27.10.2010 г.
2. Пат. РФ № 2461947. Управляемый каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов. Зар. 20.09.2012 г.
3. Пат. РФ № 2483415. Аксиальный каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, О.Б. Попова. Зар. 11.03.2013 г.
4. Пат. РФ № 2370869. Токосъемное устройство / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов. Зар. 30.06.2008 г.
5. Карандей В.Ю. Математическое моделирование каскадных асинхронных электроприводов: в 3 т. ФГБОУ ВПО «КубГТУ». – Краснодар: Издательский Дом – Юг. Т. 1: Математическое моделирование магнитных систем электропривода. – 2014. – 142 с., ISBN 978-5-91718-345-9 (Т. 1), ISBN 978-5-91718-344-2.
6. Карандей В.Ю. Определение токов статора и ротора в каскадном электрическом приводе / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Известия высших учебных заведений Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2008. – № 4. – С. 91-96.
7. Карандей В.Ю. Подход к определению магнитных параметров управляемого асинхронного каскадного электрического привода с уточненной геометрией / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №06(120). – IDA [article ID]: 1201606040. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/40.pdf>.

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООБМЕНА В НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ НАГРЕВАНИЯ ДВУХВХОДОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Т.Б. Гайтова* (д.т.н., проф.), В.В. Шкода** (к.п.н., доц.),
А.Д. Дмитриев*** (курсант), Бун Хьюанг Ампахат*** (курсант)

* *Московский политехнический университет (г. Москва, Россия)*

** *Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков
им. А.К. Серова (г. Краснодар, Россия), *** (Лаос)*

Тепловая напряженность двухвходовых (двухмерных) электрических машин (ДЭМ) может быть оценена по мощности потерь, приходящихся на единицу наружной поверхности машины [1]. Поскольку мощность этих потерь $\sum p$, $\sum \Delta p \approx l^3$, где l – линейный размер машины, определяемый мощностью машины, а наружная (охлаждающая) поверхность $S_{охл} = l^2$, то их отношение

$$\Delta p_* = \frac{\sum \Delta p}{S_{охл}} \approx l, \quad (1)$$

где Δp_* – удельные потери в машине, приходящиеся на единицу охлаждающей поверхности, т.е. величина потерь на единицу поверхности охлаждения пропорциональна линейному размеру, а по сути – мощности машины. Поэтому условия естественного охлаждения с увеличением мощности машины ухудшаются, что вызывает необходимость совершенствования условий их охлаждения.

Исходя из конструкции ДЭМ [2, 3] следует, что в самом естественном режиме ее работы предусматривается, в отличие от традиционных электрических машин (ЭМ), дополнительное воздушное охлаждение потоком ветротурбины, вращающей ротор ДЭМ. Причем, чем больше мощность ДЭМ, тем мощнее ветротурбина и тем самым обеспечивается автоматический учет условия (1). В этом заключается замечательное свойство, положительная особенность ДЭМ в сравнении с

общепромышленными ЭМ и тем не менее для ДЭМ также требуется введение искусственной системы воздушного охлаждения.

С учетом сказанного полная тепловая схема ДЭМ представляет собой сложную многомерную тепловую систему. Температурные поля, в общем случае ДЭМ, являются трехмерными, не остаются постоянными во времени и описываются следующим уравнением теплового состояния в общем виде [4, 5, 6, 7]

$$\mathcal{G} = \varphi(x, y, z, t), \quad (2)$$

где \mathcal{G} – температура определенной точки машины в заданный момент; t – время.

Температура отдельных частей машины зависит от температуры и свойств охлаждающей среды. В ДЭМ охлаждающей средой может являться либо воздух, либо вода, в зависимости от того, какой турбиной (ветряной или гидравлической) приводится во вращение ротор ДЭМ. Однако в любом случае температура охлаждающей среды ДЭМ подвержена значительным колебаниям в течение года (летом ее температура естественно выше, чем зимой – до 30 – 50 °С, а воды – до 15 – 20 °С).

В связи с этим температурную напряженность частей ДЭМ целесообразно характеризовать превышением их температуры над температурой охлаждающей среды

$$\Delta \mathcal{G} = \mathcal{G} - \mathcal{G}_{охл}, \quad (3)$$

где \mathcal{G} – температура рассматриваемой части ДЭМ; $\mathcal{G}_{охл}$ – температура охлаждающей среды.

Предельная допустимая температура для частей ДЭМ определяется по ГОСТ 183-74 как сумма допустимого превышения температуры для принятого класса изоляции и предельно допустимой температуры охлаждающей среды плюс 40 °С, принятой для ЭМ общего назначения.

Предельная допускаемая температура подшипников согласно ГОСТ 183-74 не должна превышать для подшипников скольжения 80 °С (температура масла при этом не должна быть выше 65 °С), для подшипников качения 100 °С.

Измерение температуры отдельных частей машины при тепловых испытаниях производится методами термометра, сопротивления (только для обмоток) и заложённых температурных индикаторов (термопар или термометров сопротивления).

Метод термометра прост, достаточно точен, но не позволяет измерять температуру внутренних, наиболее нагретых частей машины. Метод сопротивлений очень удобен для измерения температуры обмоток, но позволяет определять только среднее значение температуры всей испытуемой обмотки. Метод температурных индикаторов наиболее универсален и точен, позволяет определить локальную температуру, но более сложен.

Для практических измерений средней температуры медных обмоток методом сопротивления удобно пользоваться известной формулой

$$\Delta \vartheta = \frac{r_{\vartheta} - r_x}{r_x} (235 + \vartheta_x) + \vartheta_x - \vartheta_{охл}, \quad (4)$$

где r_{ϑ} и r_x – сопротивления обмоток в нагретом и холодном состояниях соответственно, Ом; ϑ_x – температура обмотки в холодном состоянии, °С.

Литература

1. Гайтова Т.Б., Кашин Я.М. Нетрадиционные электротехнические комплексы (теория, расчет, конструкции). Монография. – Краснодар, КВАИ, 2004.
2. Пат. РФ № 2450411. Аксиальная двухвходовая бесконтактная электрическая машина-генератор / Б.Х. Гайтов [и др.] Оpubл. 12.01.2011 г.
3. Кашин Я.М. Обоснование и разработка перспективных конструкций генераторных установок для систем автономного

электроснабжения/ Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, Д.В. Пауков // Известия вузов. Электромеханика. – 2012. – № 1. – С. 46-53.

4. Ариди Ф.М. Теплопередача в двухмерных электрических машинах для нетрадиционной энергетики: Дис. ... канд. техн. наук. – Краснодар, 1999. – 152 с.

5. Брынский Е.А. Исследование влияния конструкции роторов мощных турбогенераторов на распределение потерь в несимметричном режиме / Е.А. Брынский, Я.Б. Данилевич // Электротехника. – 1972. – № 10. – С. 35–39.

6. Копелевич Л.Е. Электромагнитные и тепловые переходные процессы в асинхронных двигателях с переменными параметрами/ Л.Е. Копелевич, Т.Б. Гайтова // Сб. тр. VI междунар. науч.-техн. конф. «ЕЛМА-90». – Варна (Болгария). – 1990. – С. 49.

7. Счастливый Г.Г., Бандурин В.В., Остапенко В.Н., Остапенко С.Н. Математические модели теплопередач в электрических машинах. – Киев: Наукова думка, 1986. – 184 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ УСТАНОВИВШЕЙСЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБМОТОК ДВУХВХОДОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Т.Б. Гайтова* (д.т.н., проф.), С.Р. Шарифуллин (к.т.н., доц.)
В.В. Шкода** (к.п.н., доц.), Васко Жозе Мария*** (курсант),
Самат Галимбек**** (курсант)

* *Московский политехнический университет (г. Москва, Россия)*

** *Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков
им. А.К. Серова (г. Краснодар, Россия), *** (Ангола) ****(Монголия)*

Двухвходовые электрические машины (ДЭМ) являются перспективными для использования их в системах автономного электроснабжения [1-3]. Для науки и практики представляет интерес определение установившейся температуры обмоток ДЭМ.

Передача тепла от одних частей машины к другим и в окружающую среду происходит путем теплопроводности, лучеиспускания и конвекции [4].

Согласно основному закону теплопроводности количество тепла Q , передаваемое в единицу времени через произвольную изотермическую поверхность S , прямо пропорционально температурному градиенту.

$$Q = -\lambda S \text{grad} \Delta \vartheta, \quad (1)$$

где λ – теплопроводность материала; знак минус показывает, что тепловой поток распространяется в направлении уменьшения температуры, т.е. от точки с большей температурой к точке, имеющей меньшую температуру.

Тогда плотность q теплового потока равна

$$q = Q / S = -\lambda \text{grad} \Delta \vartheta, \text{ Вт/м}^2. \quad (2)$$

При трехмерном распространении теплового потока в ДЭМ имеем

$$\left. \begin{aligned} \text{grad} \Delta \vartheta_x &= d(\Delta \vartheta) / dx; \\ \text{grad} \Delta \vartheta_y &= d(\Delta \vartheta) / dy; \\ \text{grad} \Delta \vartheta_z &= d(\Delta \vartheta) / dz. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Используя законы Фурье и сохранения энергии, приведем (3) к дифференциальному уравнению теплопроводности, которое связывает временные и пространственные изменения температуры рассматриваемого элемента ДЭМ

$$\rho c_y \frac{\partial(\Delta \vartheta)}{\partial t} = \text{div}(\lambda \text{grad} \Delta \vartheta) + p, \quad (4)$$

где ρ – плотность окружающей среды, кг/м³; c_y – удельная теплоемкость элемента ДЭМ, Дж/(кг°С); p – мощность внутренних источников тепла в единице объема элемента ДЭМ за единицу времени.

Уравнение (4) справедливо для теплового исследования ДЭМ как в стационарных, так и в нестационарных режимах.

Многочисленные испытания ЭМ на нагрев [1, 4 – 8 и др.] показывают, что в области номинальных нагрузок машины общего назначения, имеющие сравнительно низкие удельные тепловые нагрузки, подчиняются закону нагревания идеального твердого тела. Это же относится и к ДЭМ, так как непрерывное протекание переходного процесса в ней, а, следовательно, более активное, чем в традиционных ЭМ тепловыделение компенсируется существенно уменьшенными электромагнитными нагрузками, что в конечном счете приводит к увеличению массогабаритных данных ДЭМ. Это позволяет практически сохранить тот же уровень удельных тепловых нагрузок в ДЭМ, что и в классических ЭМ.

Тогда можно считать, что тепло, рассеиваемое с поверхности ДЭМ, пропорционально превышению температуры поверхности по (1).

При неизменных потерях Q , выделяемых в объеме ДЭМ, дифференциальное уравнение нагревания, выражающее баланс энергии за время dt , будет иметь вид

$$Qdt = cmd(\Delta\vartheta) + \alpha S\Delta\vartheta dt, \quad (5)$$

где m – масса машины, кг; α – коэффициент теплоотдачи поверхности, характеризующий интенсивность теплообмена, Вт/(м²°С).

В установившемся температурном режиме, когда достигнуто конечное превышение температуры ДЭМ, все выделяемое тепло полностью рассеивается в окружающее пространство

$$Qdt = \alpha S\Delta\vartheta_{\infty} dt, \quad (6)$$

или $Q = \alpha S\Delta\vartheta_{\infty}$. (7)

Тогда общим решением уравнений системы (3) является

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_0 + (\Delta\vartheta_{\infty} - \Delta\vartheta_0)(1 - e^{-t/\tau}), \quad (8)$$

где $\Delta \mathcal{G}_0$ – начальное превышение температуры ДЭМ;
 $\tau = cm / \alpha S$ – постоянная времени нагревания машины.

Уравнение (8) справедливо как для описания процесса нагревания, так и процесса охлаждения ДЭМ. Так, при $\Delta \mathcal{G}_\infty > \Delta \mathcal{G}_0$ имеет место процесс нагревания, а при $\Delta \mathcal{G}_\infty < \Delta \mathcal{G}_0$ – процесс охлаждения.

При $\Delta \mathcal{G}_0 = 0$ уравнение (8) примет вид

$$\Delta \mathcal{G} = \Delta \mathcal{G}_\infty (1 - e^{-t/\tau}), \quad (9)$$

Если конечная температура ДЭМ в процессе охлаждения сравняется с температурой окружающей среды, то $\Delta \mathcal{G}_\infty = 0$ и уравнение охлаждения (8) примет вид

$$\Delta \mathcal{G} = \Delta \mathcal{G}_0 e^{-t/\tau}. \quad (10)$$

Как известно, при экспоненциальном законе нарастания температуру можно считать установившейся через время $t = (3-4)\tau$. Погрешность при этом не превышает $\pm 5\%$. Значение этой температуры составит

$$\Delta \mathcal{G}_\infty = Q / \alpha S. \quad (11)$$

Таким образом, уравнение (4) справедливо для исследования температурного режима ДЭМ при любом неустановившемся тепловом режиме.

В процессе движения тепловых потоков от источников тепла ДЭМ имеет место перепад температуры в активных частях машины, в изоляции и между охлаждающими поверхностями и охлаждающей средой. Все эти внутренние перепады и превышение температуры внешней поверхности ЭМ над температурой охлаждающего воздуха определяются в процессе теплового расчета ЭМ. При этом часто ограничиваются определением среднего превышения температуры обмоток, допуская, что температура пазовой части обмоток постоянна.

Однако для определения полного превышения температуры обмоток необходимо учесть то обстоятельство, что охлаждающая среда сама подогревается в процессе прохождения через машину, воспринимая тепло от нагретых частей ЭМ.

Поэтому тепловой расчет ДЭМ является многоаспектной, многофункциональной задачей, требующей постоянного совершенствования и повышения точности результатов расчета.

С этой целью проанализируем теплопроводность изоляции, воздушного зазора, проводника, листа электротехнической стали и т.д. при отсутствии внутренних источников потерь.

Считая вышеназванные элементы ДЭМ однородной стенкой согласно теории нагревания твердого тела, получим количество тепла Q_T , проходящего через эту однородную стенку

$$Q_T = \Delta \vartheta \frac{\lambda_c S_c}{b_c}, \quad (12)$$

где $\Delta \vartheta$ – перепад температуры стенки, °С; S_c – площадь стенки в плоскости, перпендикулярной движению теплового потока, м²; λ_c – теплопроводность материала стенки, Вт/(м°С), так, для меди $\lambda_{Cu} = 380 - 395 \text{ Вт}/(\text{м}^0\text{С})$, для алюминия $\lambda_{Al} = 198 - 220 \text{ Вт}/(\text{м}^0\text{С})$, для электротехнической стали марок 1211, 1212, 1213 $\lambda_{cm} = 35 - 37 \text{ Вт}/(\text{м}^0\text{С})$; b_c – толщина стенки, м.

Тогда, введя понятие теплового сопротивления стенки (изоляции) R_c , определяющего перепад температуры

$$R_{uz} = \frac{b_{uz}}{\lambda_{uz} S_{uz}}, \quad (13)$$

получим

$$\Delta \mathcal{G}_{uz} = R_{uz} Q_T. \quad (14)$$

Суммарное тепловое сопротивление многослойной стенки, например многослойной изоляции R_{uz} будет

$$R_{uz} = R_{uz1} + R_{uz2} + \dots + R_{uzn}, \quad (15)$$

где $R_{uz1}, R_{uz2}, \dots, R_{uzn}$ – тепловые сопротивления соответственно первого, второго, . . . , n -го слоев изоляции. При этом $R_{uzn} = b_{uzn} / (\lambda_{uz} S_{uz})$.

Учитывая, что площади всех слоев изоляции узла машины в заданном направлении теплового потока равны ($S_{uz1} = S_{uz2} = S_{uz3} \dots = S_{uzn}$), получим

$$\frac{b_{uzn}}{\lambda_{экр}} = \frac{b_{uz1}}{\lambda_{uz1}} + \frac{b_{uz2}}{\lambda_{uz2}} + \dots + \frac{b_{uzn}}{\lambda_{uzn}}, \quad (16)$$

откуда эквивалентная теплопроводность многослойной изоляции с общей толщиной b_{uz}

$$\lambda_{экр} = \frac{b_{uz}}{b_{uz1} / \lambda_{uz1} + b_{uz2} / \lambda_{uz2} + \dots + b_{uzn} / \lambda_{uzn}}. \quad (17)$$

Следует отметить, что формула (17) не учитывает того факта, что наличие воздушных прослоек между отдельными слоями изоляции существенно снижает результирующую теплопроводность изоляции ДЭМ.

Учет этого обстоятельства возможен введением поправочного коэффициента теплопроводности, величина которого естественно зависит от количества слоев изоляции.

Тогда уравнение (17) преобразуется к виду

$$\lambda_{экр} = \frac{k_T n b_{uz}}{b_{uz1} / \lambda_{uz1} + b_{uz2} / \lambda_{uz2} + \dots + b_{uzn} / \lambda_{uzn}}, \quad (18)$$

где $k_T > 1$ – поправочный коэффициент теплопроводности. На основании серий тепловых расчетов для ДЭМ величина его может быть принята $k_T = 1,20-1,35$; n – количество слоев изоляции.

Часть тепла, отводимая охлаждающей средой с поверхности ДЭМ, определяется выражением

$$Q_n = \alpha \Delta \mathcal{G}_n S_n, \quad (19)$$

где α – коэффициент теплоотдачи поверхности, Вт/(м²С), зависит от характера течения, скорости, физических свойств охлаждающей среды и от шероховатости поверхности охлаждения; $\Delta \mathcal{G}_n$ – перепад температуры на поверхности охлаждения, °С; S_n – площадь поверхности охлаждения, м².

Вводя понятие теплового сопротивления поверхности нагретой ДЭМ

$$R_n = 1 / \alpha S_n, \quad (20)$$

преобразуем выражение (19) к виду, подобному (14)

$$\Delta \mathcal{G}_n = R_n Q_n. \quad (21)$$

Для определения установившейся температуры ДЭМ необходимо учесть подогрев воздуха, обдувающего поверхность. Полный подогрев охлаждающего воздуха составит

$$\Delta \mathcal{G}_B = Q_n / (C_B V), \quad (22)$$

где $C_B = 1100$ Дж/(°С*м³) – удельная теплоемкость воздуха;

V – необходимое количество охлаждающего воздуха, м³/с.

Если принять линейный характер нагрева воздуха вдоль пути его движения, то среднее превышение его температуры над температурой входящего холодного воздуха \mathcal{G}_X составит примерно половину полного подогрева ($\cong 0,5 \Delta \mathcal{G}_B$).

Тогда средняя установившаяся температура обмотки ДЭМ включает в себя перепад температуры в изоляции по (14), превышение температуры охлаждающей поверхности $\Delta \mathcal{G}_n$ по (21) и среднее превышение температуры воздуха ($\cong 0,5\Delta \mathcal{G}_B$) и составит

$$\mathcal{G}_{уст} = \Delta \mathcal{G}_{из} + \Delta \mathcal{G}_n + 0,5\Delta \mathcal{G}_B + \mathcal{G}_x. \quad (23)$$

Причем величина $\Delta \mathcal{G}_{из}$ обусловлена электрическими потерями в обмотках ДЭМ, величина $\Delta \mathcal{G}_n$ – магнитными потерями в магнитопроводе машины, а величина $0,5\Delta \mathcal{G}_B$ – нагревом охлаждающего воздуха в процессе его прохождения вдоль охлажденных поверхностей ДЭМ.

Литература

1. Гайтова Т.Б. Нетрадиционные электротехнические комплексы (теория, расчет, конструкции). / Т.Б. Гайтова, Я.М. Кашин – Краснодар : КВАИ, 2004.
2. Пат. РФ № 2450411. Аксиальная двухвходовая бесконтактная электрическая машина-генератор / Б.Х. Гайтов [и др.] Оpubл. 12.01.2011 г.
3. Кашин Я.М. Обоснование и разработка перспективных конструкций генераторных установок для систем автономного электроснабжения / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, Д.В. Пауков // Известия вузов. Электромеханика. – 2012. – № 1, – С. 46-53.
4. Готтер Г. Нагревание и охлаждение электрических машин / Г. Готтер (Пер. с нем. Под ред. В.В. Мальцева) – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 480 с.
5. Богаенко И.Н. Исследование тепловых процессов в электрических машинах для целей диагностики: Дис. ... д-ра техн. наук. / И.Н. Богаенко – Киев, 1979. – 373 с.
6. Гуревич Э.И. Тепловые испытания и исследования электрических машин. – Л.: Энергия, 1977. – 294 с.
7. Копелевич Л.Е. Электромагнитные и тепловые переходные процессы в асинхронных двигателях с

переменными параметрами/ Л.Е. Копелевич, Т.Б. Гайтова // Сб. тр. VI Междунар. науч.-техн. конф. «ЕЛМА-90». – Варна (Болгария). – 1990. – С. 49.

8. Копелевич Л.Е. Электромагнитные и тепловые переходные процессы в асинхронных двигателях с переменными параметрами: Дис...канд. техн. наук / Л.Е. Копелевич – Краснодар, 1989. – 209 с.

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ В ДВУХМЕРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

Т.Б. Гайтова* (д.т.н., проф.), Р.Н. Бордиян**,
Б.Н. Абзалов** (курсант), Балул Вадах Шарф Елдин*** (курсант)
* *Московский политехнический университет (г. Москва, Россия)*
** *Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков
им. А.К. Серова (г. Краснодар, Россия),* *** (Судан)

Потери в электрических машинах существенно возрастают в неустановившихся (переходных) режимах, что резко осложняет тепловой режим работы машины и требует усиления режима теплоотвода во избежание ее чрезмерного нагрева.

Если в традиционных электрических машинах переходные процессы в отдельных случаях и могут быть длительными, но все же имеют временной предел, то в двухмерных электрических машинах (ДЭМ), работающих в системе нетрадиционной энергетики, переходный процесс работы беспределен, т.е. нормальным режимом работы ДЭМ является нестационарный, переходный режим работы.

Следовательно, ДЭМ работают в очень напряженном в тепловом отношении режиме, а потому требуется усиленный теплоотвод во избежание их чрезмерного нагрева. По этой же причине электрические и магнитные нагрузки (плотность тока и магнитная индукция) при расчете и проектировании ДЭМ должны быть выбраны на 25–30 % меньшими из расчета непрерывного переходного процесса, что, несколько увеличивает массогабаритные показатели машины, в то же

время позволяет существенно (в квадрате от этих величин) уменьшить тепловыделение в процессе работы.

Источниками тепловыделения в ДЭМ, как и в любой электрической машине, являются потери электрические в обмотках якоря и ротора, магнитные потери на гистерезис и вихревые токи в магнитопроводе, механические потери на трение во вращающихся частях и циркуляцию охлаждающей среды, а также дополнительные потери, связанные с вторичными процессами электромагнитного характера и зубчатостью якоря и ротора.

Из соотношения значений указанных видов потерь в переходных режимах снижение электрических нагрузок (плотности тока) при расчете ДЭМ должно быть осуществлено в большей степени, чем снижение магнитных нагрузок (магнитной индукции).

В реальной ДЭМ температурное поле машины трехмерное по своей природе и к тому же нестационарное по своему происхождению, являющееся следствием непрерывного переходного режима работы ДЭМ в реальной нетрадиционной энергетике с учетом электромагнитно-механической совместимости.

Авторами сделана попытка построить основы общей теории теплопередачи в ДЭМ с учетом реальной электромагнитно-механической ситуации, обусловленной, главным образом, переходными режимами в ДЭМ [1]

Литература

Гайтова Т.Б. Нетрадиционные электротехнические комплексы (теория, расчет, конструкции). / Т.Б. Гайтова, Я.М. Кашин – Краснодар : КВАИ, 2004.

ДЕФЕКТЫ, ВЫЯВЛЯЕМЫЕ ПРИ ИНФРАКРАСНОМ КОНТРОЛЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Г.А. Кириллов (к.т.н., доц.), М.Н. Карташев (курсант),
А.И. Гайдамашко (курсант), А.Д. Дмитриев (курсант)
*Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков
им. А.К. Серова (г. Краснодар, Россия)*

**Наиболее часто, выявляемыми дефектами при
инфракрасном контроле являются следующие:**

*а) в силовых трансформаторах и
автотрансформаторах:*

- нарушения в работе систем охлаждения;
- нарушения внутренней циркуляции масла в баке трансформаторов;
- выявление магнитных полей рассеяния;
- дефекты изоляции маслонаполненных и фарфоровых вводов;

- ослабление контактных соединений токоведущих частей;

б) в баковых, масляных и воздушных выключателях:

- ухудшение состояния основной изоляции, изоляции вводов;
- перегрев контактных соединений аппаратных зажимов, контактов дугогасительных устройств;

в) в разъединителях, отделителях, шинных мостах и их изоляции:

- нарушения разъемных контактных соединений, аппаратных зажимов, гибких связей;
- трещины в штыревых и опорно-стержневых изоляторах;
- дефекты подвесной изоляции;

г) в вентильных разрядниках, ограничителях перенапряжений:

- обрыв шунтирующих сопротивлений, нарушение герметизации;
- неравномерность распределения напряжения по элементам;

д) в измерительных трансформаторах тока и напряжения:

- нарушения наружных и внутренних контактных соединений;
- ухудшение внутренней изоляции обмоток, связанное со шламообразованием и другими дефектами;

е) в кабельных линиях:

- нарушение контактных соединений и оценка пожаробезопасности пучков кабелей;
- ухудшение изоляции концевых кабельных муфт и кабельных заделок;

ж) в генераторах:

- нарушения паек лобовых частей обмоток;
- проведение испытаний на нагрев стали статора во время и после проведения ремонтных работ;

з) в воздушных линиях электропередачи:

- нарушение контактных соединений проводов;
- обнаружение дефектных изоляторов.

Термограммы приведены на рис.5 – 7 [1].

Повышенные нагревы болтовых соединений и область повышенного нагрева в районе фазы С (показано пунктиром) указывают на наличие короткозамкнутых контуров для токов, обусловленных потоками рассеяния в активной части трансформатора (рис. 1).

Вследствие замыкания магнитопровода на прессующие элементы или бак трансформатора возникают короткозамкнутые контуры для токов, наведенных основным магнитным потоком. Проявляются аналогично контурам для токов от потоков рассеяния. При этом повышенные нагревы могут наблюдаться как в режиме нагрузки, так и в режиме холостого хода.

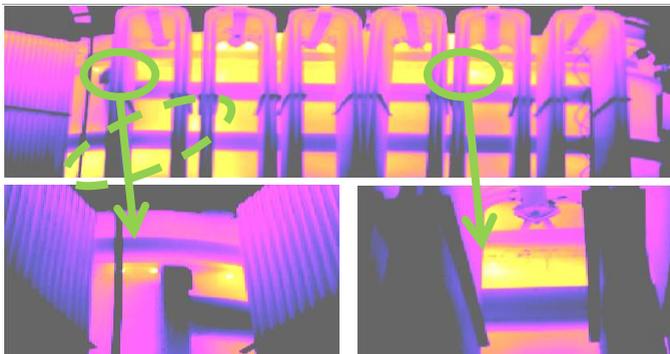


Рисунок 1 – Термограмма поверхности бака трансформатора со стороны НН и болтовых соединений крышки бака, имеющих повышенную температуру

Повышенный нагрев в зоне переключателя первичной обмотки средней фазы трансформаторов тока ТФЗМ-110 (рис. 2) объясняется обнаружением при вскрытии ослабления контактных соединений первичной обмотки ТТ. Развитие дефекта термического и электрического характера в изоляции ввода типа БМТ-110/630 У1 (рис. 3), установленного на фазе В трансформатора типа ТМ-6300/110, обнаруженное при ИК-контроле, подтверждается результатами хроматографического анализа масла из ввода фазы В (табл. 1). Показатели масла вводов фаз А и С в пределах норм.

Таблица 1 – Результаты хроматографического анализа газов, растворенных в масле из бака трансформатора на 110 кВ

<i>Концентрации газов, растворенных в масле, ррт (мкл/л)</i>					
H_2	O_2	N_2	CH_4	CO	CO_2
17,1	2785	71447	102	493	2059
<i>Граничные концентрации</i>					
100	-	-	100	600	8000
<i>Концентрации газов, растворенных в масле, ррт (мкл/л)</i>					
C_2H_4	C_2H_6	C_2H_2	C_3H_6	C_3H_8	CO_2/CO
28,5	161	0,8	-	-	4,2
<i>Граничные концентрации</i>					
100	50	10	-	-	5-13

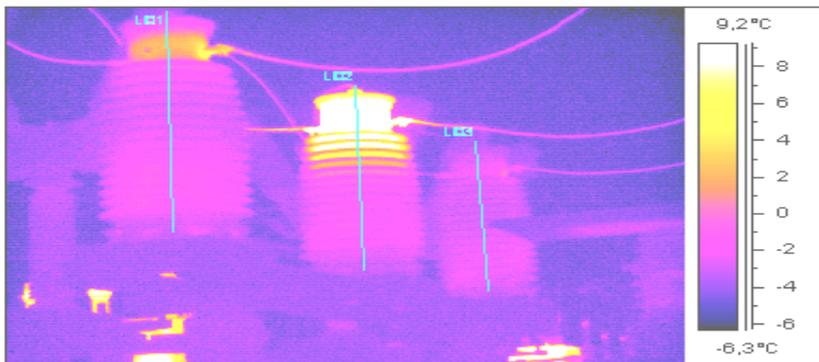


Рисунок 2 – Повышенный нагрев в зоне переключателя первичной обмотки трансформатора тока ТФЗМ-110

Таблица 2 – Результаты хроматографического анализа газов, растворенных в масле из вводов 110 кВ

Фаза	Концентрации газов, растворенных в масле, ppm (мкл/л)					
	H_2	O_2	N_2	CH_4	CO	CO_2
A	31,3	14606	68640	12,2	317	2861
B	33000	8521	33645	5864	71,3	1404
C	51,2	11518	61034	16,5	349	3070
	C_2H_4	C_2H_6	C_2H_2	$\sum C_xH_y$	C_3H_6	C_3H_8
A	19,8	19,4	отс.	51,4	9,0	157,0
B	20,8	3015	3,0	8902,8	28,5	1874
C	23,0	25,0	отс.	64,5	6,3	136

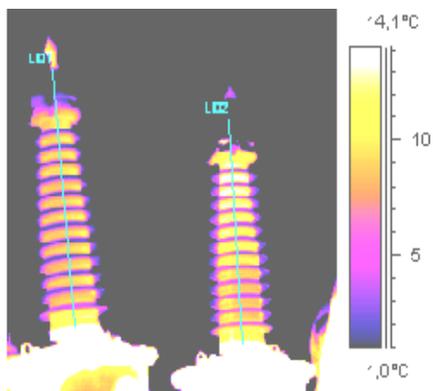


Рисунок 3 – Термограмма вводов фаз типа БМТ-110/630, установленных на трансформаторе типа ТМ-6300/11

Литература

1. Техническая диагностика и мониторинг технического состояния трансформаторного оборудования / Г.А. Кириллов [и др.] Краснодар: изд-во ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет»; Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков им. А.К. Серова, 2016. – 379 с.

ИНФРАКРАСНАЯ ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Я.М. Кашин (к.т.н., доц.)*, Г.А. Кириллов (к.т.н., доц.)**,
 М.Н. Карташев (курсант)**, С.П. Киселев (курсант)**,
 Б.Н. Абзалов (курсант)**

**Кубанский государственный технологический университет
 (г. Краснодар, Россия)*

***Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков
 им. А.К. Серова (г. Краснодар, Россия)*

Аннотация. Применение инфракрасной диагностики является одним из основных направлений развития высокоэффективной системы технической диагностики, которая

обеспечивает возможность контроля теплового состояния электрооборудования без вывода его из работы, выявления дефектов на ранней стадии их развития, сокращения затрат на техническое обслуживание за счет прогнозирования сроков и объемов ремонтных работ.

Ключевые слова: техническая диагностика, тепловое состояние, трансформатор, магнитопровод, прессовка, обмотки, эксплуатация, инфракрасная диагностика

Abstract. The use of infrared technology is one of the main directions of development of high technology diagnostic system that provides the ability to control the thermal state of electrical equipment without displaying it from work to identify defects at an early stage of their development , reduce maintenance costs by predicting the timing and volumes of repair work.

Key words: technical diagnostics, thermalstate, transformer, magneticcircuit,compact,winding,exploitation,infrared diagnostics.

Инфракрасная диагностика является одним из основных направлений развития высокоэффективной системы технической диагностики, которая обеспечивает возможность контроля теплового состояния электрооборудования (ЭО) без вывода его из работы, выявления дефектов на ранней стадии их развития, сокращения затрат на техническое обслуживание за счет прогнозирования сроков и объемов ремонтных работ [1]. Инфракрасная диагностика основана на том, что наличие практически всех видов дефектов оборудования вызывает изменение температуры дефектных элементов и объектов, находящихся в контакте с ними, как следствие, изменение интенсивности инфракрасного (ИК) излучения, которое может быть зарегистрировано тепловизионными приборами. С помощью тепловизионных приборов получают данные о распределении тепловых полей по поверхности объекта и на основе анализа этой информации получают данные о внутреннем техническом состоянии. Для инфракрасного

контроля ЭО используются инфракрасные пирометры и тепловизоры.

Пирометры измеряют температуру поверхности объекта с безопасного расстояния, что делает их незаменимыми приборами для решения задач правильной эксплуатации оборудования и профилактики неисправностей. Пирометр показывает осредненное значение температуры ограниченного контура, находящегося в его поле зрения.

Тепловизоры (рис. 1 и 2) измеряют температуру и показывают распределение тепловых полей на поверхности объекта с последующей регистрацией и запоминанием термограммы. Тепловизор представляет собой оптико-электронный измерительный прибор, работающий в инфракрасной области электромагнитного спектра, «переводящий» в видимую область спектра собственное тепловое излучение людей или техники. Тепловизор напоминает телевизионную камеру. Чувствительный элемент тепловизора – инфракрасные сигналы и превращает их в электрические импульсы, которые после усиления преобразуются в видеосигнал. Далее полученный видеосигнал, посредством электронного блока измерения, регистрации и математической обработки оцифровывается и отображается на экране компьютера или дисплее тепловизора.

Программное обеспечение тепловизора позволяет настраивать и изменять основные параметры сохраненного изображения (компенсацию отраженного тепла, цветовую палитру и т.д.). Это не только повышает удобство и достоверность обследования тепловизором, но и избавляет от необходимости повторного сканирования оборудования.



Рисунок 1 –
Съемка термограммы



Рисунок 2 –
Передача термограмм
на компьютер

Присутствие дефекта выявляется сравнением температуры аналогичных участков поверхности аппаратов, работающих в одинаковых условиях нагрева и охлаждения. Предельные значения температуры не должны превышать нормированных [1].

Результатом ИК-диагностики является технический отчет с термограммами и фотографиями дефектов, классификация дефектов с рекомендациями по срокам устранения.

При анализе результатов ИК-контроля осуществляется оценка выявленного дефекта и прогнозирование возможностей его развития и сроков восстановления. После устранения выявленного дефекта проводится повторное диагностирование для оценки качества выполненного ремонта. Для объективной оценки технического состояния объектов (трансформаторы, выключатели, разрядники и др.) создается база данных, в которую заносятся результаты тепловизионного контроля: термограммы, отчеты, а также вся информация об объектах,

включая тип, срок службы, условия эксплуатации, режимы работы, объемы и виды ремонтных работ, результаты профилактических испытаний и измерений.

Инфракрасный контроль желательно проводить при отсутствии солнца в облачную погоду или ночью, предпочтительно перед восходом солнца, при минимальном воздействии ветра в период максимальных токовых нагрузок, лучше весной - для уточнения объема ремонтных работ и (или) осенью - в целях оценки состояния электрооборудования перед зимним максимумом нагрузки.

При проведении ИК-контроля должны учитываться следующие факторы: коэффициент излучения материала; солнечная радиация; скорость ветра; расстояние до объекта; значение токовой нагрузки; тепловое отражение; нагревы от индукционных токов; тепловая инерция; дождь и снег; магнитные поля [1].

При проведении инфракрасного обследования оборудования существенное значение имеет выявление и устранение систематических и случайных погрешностей, оказывающих влияние на результаты измерения.

Коэффициент излучения материала в общем виде зависит от длины волны, угла наблюдения поверхности контролируемого объекта и температуры. Для металлов коэффициенты излучения постоянны в интервале углов наблюдения $0 - 40^\circ$, для диэлектриков - в интервале углов $0 - 60^\circ$. За пределами этих значений коэффициент излучения быстро уменьшается до нуля при направлении наблюдения по касательной. Так, при длине волны излучения 10 мкм при наблюдении по нормали вода близка к абсолютно черному телу, а при наблюдении по касательной - становится зеркалом. В электроустановках различие в углах наблюдения может возникнуть при проведении ИК-контроля под углом токоведущей шины (рис. 3). На участках А и С наблюдение осуществляется по нормали к плоскости шины, на участке В

будет превалировать отражательная способность материала, что будет искажать картину изображения.

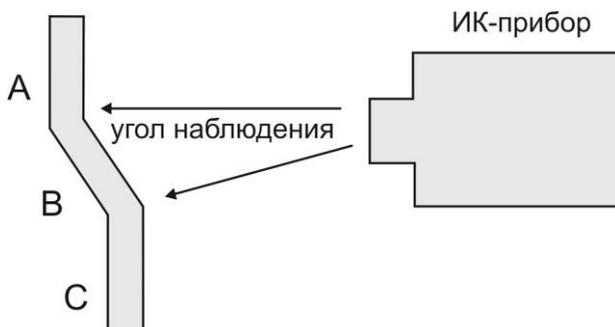


Рисунок 3 – Различие углов наблюдения при ИК-контроле изогнутой токоведущей шины

При проведении измерений однотипных объектов необходимо располагать тепловизионный приемник на одинаковом расстоянии и под одинаковым углом к поверхности объекта.

Коэффициенты излучения металлов с ростом температуры обычно увеличиваются. Коэффициент излучения зависит от состояния поверхности металла.

Например, токоведущий узел электрического аппарата или установки может включать в себя несколько компонентов из разнородных металлов, имеющих различную окраску, окисные пленки или разную степень обработки поверхности. Это обуславливает различные коэффициенты излучения. Поэтому при инфракрасном контроле могут возникнуть предположения о перегревах на участках с повышенными коэффициентами излучения. Вследствие этого возникает необходимость в определении коэффициента излучения контролируемого объекта или его узла.

Глухие отверстия на контролируемой поверхности воспринимаются ИК-прибором почти как абсолютно черное тело с коэффициентом излучения 1, что искажает картину

теплового поля и проявляется обнаружением более нагретых зон.

Солнечная радиация нагревает контролируемый объект, а также при наличии участков с хорошей отражательной способностью создает впечатление о наличии высоких температур в местах измерения. Для исключения влияния солнечной радиации рекомендуется осуществлять ИК-контроль в ночное время суток или в облачную погоду.

Скорость ветра. Если ИК-контроль осуществляется на открытом воздухе, необходимо принимать во внимание возможность охлаждения ветром контролируемого объекта (контактного соединения). Так, превышение температуры, измеренное при скорости ветра 5 м/с, будет примерно в два раза ниже, нежели измеренное при скорости ветра 1 м/с. Измерения при скорости ветра выше 8 м/с рекомендуется не проводить.

При пересчетах полученных значений превышения температуры можно помимо формулы пользоваться специальными коэффициентами коррекции

Расстояние до контролируемого объекта при ИК-контроле имеет существенное значение ввиду рассеяния и поглощения ИК-излучения в атмосфере за счет тумана, снега и других факторов. В противном случае на результаты измерения будет оказывать влияние температура окружающей среды.

Значение токовой нагрузки учитывается пересчетом от более высокой нагрузки к более низкой и при близких значениях токов, отличающихся на 20 -30 %.

Тепловое отражение от нагревательных элементов, ламп освещения, соседних фаз и др. проявляется при контроле токоведущей части с малым коэффициентом излучения, обладающей хорошей отражательной способностью.

В результате термографическая съемка может показать горячую точку (пятно), хотя в действительности это просто тепловое отражение (рис. 4).

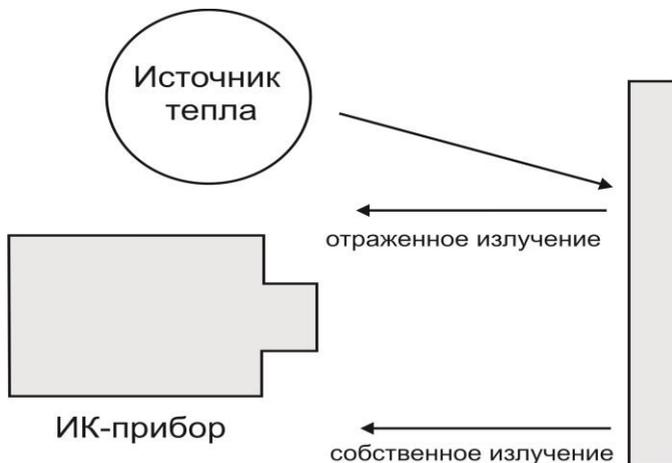


Рисунок 4 – Влияние теплового отражения при ИК-контроле токоведущей шины

Поэтому необходимо производить ИК-обследование объекта под различными углами зрения и изменением местоположения оператора с ИК-прибором. При необходимости на время измерения отключается освещение объекта и т.п.

Нагревы от индукционных токов, если они расположены вблизи контактных соединений, могут создавать ложное впечатление об их перегреве.

Тепловая инерция. Результаты измерения тепловизором только что поставленного под напряжение оборудования, могут оказаться ошибочными. Например, тепловая постоянная для вентильных разрядников составляет порядка 6 -8 час.

Дождь, туман, мокрый снег в значительной степени охлаждают поверхность объекта, измеряемого с помощью ИК-прибора и в определенной мере рассеивают инфракрасное излучение каплями воды. ИК-контроль допускается проводить при небольшом снегопаде с сухим снегом или легком морозящем дожде.

Магнитные поля вблизи шин генераторного напряжения, реакторов и в электроустановках с большими рабочими токами

могут оказывать влияние на работу ИК-прибора и вызывать искажение картины теплового поля объекта.

Литература

1. Техническая диагностика и мониторинг технического состояния трансформаторного оборудования / Г.А. Кириллов [и др.] Краснодар: изд-во ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет»; Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков им. А.К. Серова, 2016. – 379 с.

STRUCTURE DESIGN AND SIMULATION OF HTS DC MOTOR

Peng Cheng ^{1,*}, Xiangling Kong ^{2,†}, Weibo Liu ^{3,†} and Zhao Wang ⁴

¹ School of Automation, Harbin Engineering University, Harbin, 150001, China; 1322235941@qq.com

² School of Automation, Harbin Engineering University, Harbin, 150001, China; 706649110@qq.com;
wangzhao0128@163.com;

[†] These authors contributed equally to this work.

* Corresponding author: School of Automation, Harbin Engineering University, Harbin, 150001, China; E-Mail: chengpeng040703@aliyun.com; Tel.: +1-13766831616.

Abstract: This paper puts forward a new structure of HTS DC motor. This structure has no brush device, especially HTS material applied to the motor armature part, this can improve the overall efficiency of superconducting motor, solve the problem of AC loss of motor. The 3D FEM software is used to set up a simplified model of the motor, through the simulation analysis, the structure is reasonable. Hence, this superconducting motor has a larger advantage compared with traditional structure of motor in the weight, volume, efficiency, loss, reliability. This advantage can be well applied in ship electric propulsion as HTS propulsion motor and marine wind turbine, what's more, utilization of ocean energy resources, play its important role in the field of marine wind power generation technology.

Keywords: HTS DC motor; AC loss; 3D FEM software; simulation analysis; ocean energy resources

1. Introduction

The increasing demand for clean, carbon-free electric power, has triggered tremendous growth in the use of renewable energy such as wind power[1]. The potential for ocean wind can be well used to power generation. At present, high temperature superconducting(HTS) motor has many advantages, applies more and more extensively. United States and Russia are the world leaders in superconducting technology level[2]. With the development of HTS materials technology, design and theoretical research of HTS motor cause some problems, more and more international research institutions attach great importance to it[3]. Motor and generator with the high temperature superconducting technology have these advantages of small volume, light weight, low loss and high efficiency etc. Hence it could be used in wind power generation system and ship power system.

However, in the research of HTS motor, alternating current(AC) loss is one of the important problems that must be considered in actual application. This will lead to superconductor heating, if the heat cannot be send out timely, the superconductor temperature will continue to rise and lead to reduce critical current[4]. In addition, for the continuous heating of conductor, the refrigeration power also needs a corresponding increase, adverse to the operation of the superconducting motor. For the above reasons, limited the application of superconductor in the condition of AC.

In this paper, by designing the structure of a HTS direct current(DC) motor to make the motor armature winding part produce direct current to solve the problem of AC loss during the process of electromagnetic induction.

2. Conceptual structure design of the HTS DC motor

The HTS motor is a kind of DC motor without brush device, it is composed of motor shell, the armature part and excitation part, shaft. Armature part and excitation part are installed in the motor shell as working portion, shaft traverses the motor shell and the

working portion, and the working portion connected to the shaft integrally rotates with the shaft. The concrete structure as is shown in Fig1.

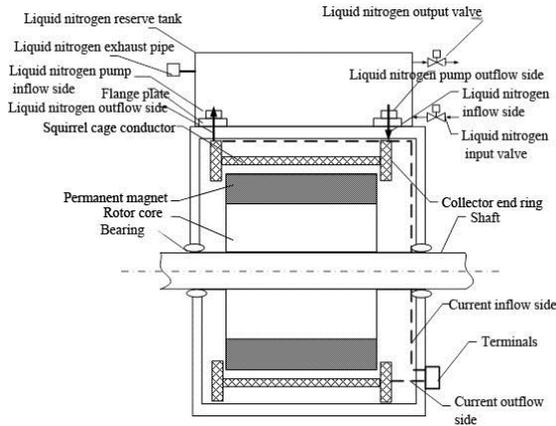


Figure 1 – The overall structure of HTS DC motor

The motor magnetic circuit design as is shown in Fig2. Superconducting bulk fits closely with the rotor core, the whole structure has three sections of the air gap, there is a small air gap 1 between superconducting bulk and stator core and stator slot, there is an air gap 2 between the end of superconducting bulk and stator iron core in the axial direction. There is an air gap 3 between the permeability of stator core and rotor core stretching part in the axial direction.

According to analysis of the principle of minimum magnetic circuit, due to air magnetic resistance is much bigger than the ferromagnetic materials, magnetic flux made by the lateral of hollow cylindrical HTS bulk should be issued by axial air gap 1 of the stator core. In the Fig2, the air gap 2 is bigger than air gap 1 and air gap 3. So the magnetic flux should form a closed loop along the stator core that own smaller magnetic resistance and the air gap 1 and air gap 3 that own smaller geometric path. Most of magnetic field lines vertical through the cage bar conductors. This magnetic circuit design can reduce the end leakage flux.

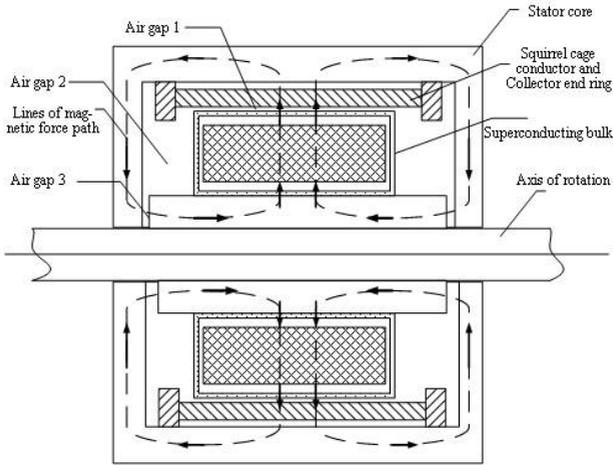


Figure 2 – Internal magnetic circuit schematic of HTS DC motor

The liquid nitrogen pathways inside of the squirrel cage conductor and collector end ring is shown in Fig3. The squirrel cage conductor and collector end ring are fabricated as the hollow conductors, when motor capacity is small, we can consider welding, mechanical fixed or sealing adhesive, when capacity is larger, can consider jointing with sealing ring or flange.

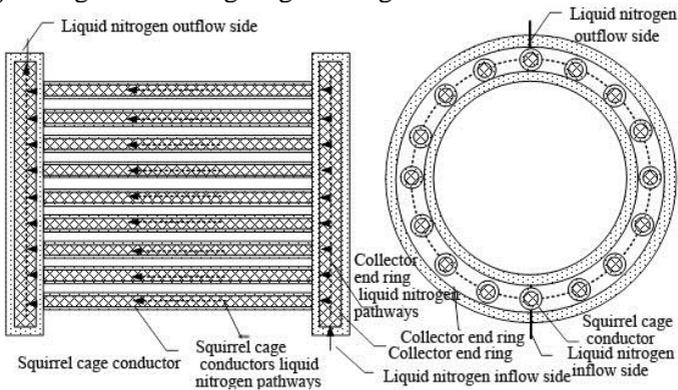


Figure 3 – Schematic diagram of liquid nitrogen pathways

When the motor is running, squirrel cage conductor and the collector end ring as the stator armature portion are fixed, permanent magnet rotates with rotor core and shaft to generate the rotating magnetic field of the radial movement, the squirrel cage conductors produce a DC in single direction. Currents can form a closed loop through the collector end ring at the both ends of the motor and open circuit, can sending DC to the outside motor. Meanwhile, nitrogen inflow valve fills with liquid nitrogen to the reserve tank, through liquid nitrogen pump outflow end, the liquid nitrogen inflow end, the liquid nitrogen pathways of collecting end ring and squirrel cage conductors, return to the liquid nitrogen outflow end, the liquid nitrogen pump inflow end back to the reserve tank, completed of liquid nitrogen cooling system loop. Since the heat exchange process, and therefore a part of the liquid nitrogen gasifying, the gasification liquid nitrogen exhausts through nitrogen discharge exhaust pipe. This structure can take advantage of the superconducting material properties, and save material, improve motor efficiency. The cooling circuit of stator side does no need to consider these issues such as rotary seals to simplify the burden on the cooling system designed to improve the reliability of the cooling system, thus improve the overall reliability of the motor.

3. Simplified model of motor structure and Simulation analysis

The main focus of the proposed design is high efficiency and low loss product for the end user. Detailed modeling and analysis use finite element method (FEM) software to analyze all practical aspects of electromagnetic field, structural design. Preliminary modeling by RM file, by adjusting the motor parameters to achieve the desired object, according to the determined parameters, accurately analyze by finite element modeling and simulation software.

3.1. Modeling of the Simplified HTS Motor Structure

The simulation is performed in 3D. The proposed HTS DC motor structure belongs to the disk motor structure, the radial dimension is slightly larger than the axial. It is consisted of a HTS bulk rotor and a 24-slot stator with HTS wire armature squirrel cage wind-

ing and normal iron core. The basic simulation structure is shown in Fig4 and Fig5, and the basic parameters are displayed in Table 1. Instead of conventional copper conductor, material property of stator squirrel cage winding and two collector rings is set to BSCCO which conductivity is infinity, due to only consider the zero resistance characteristic in the process of simulation. The inner and outer diameters of the stator core are 65mm and 120mm. The rotor HTS bulk use YBCO which B_r is set to 2.34T and bulk conductivity is $10e+12$ siemens/m, using radial permanent magnet magnetization, the magnetic flux lines are along the radial direction. The air gap field flux density is calculated by the measured output voltage of the HTS motor. While the length of the iron core is 65mm, the rated rotating speed is 1500 rpm, with armature frequency of 50 Hz.

Table 1.

Major conceptual design parameters of HTS DC motor

Parameter	Value
Rated power	550W
Rated speed	1500RPM
Rated voltage	220V
Rated power factor	1
Frequency	50Hz
Stator outer radius	120mm
Stator inner radius	75mm
HTS bulk outer radius	74mm
HTS bulk inner radius	53mm
Axial length	65mm
Shaft	13mm
Stator slot number	24
Cooling media	Liquid nitrogen
HTS material	YBCO/BSCCO

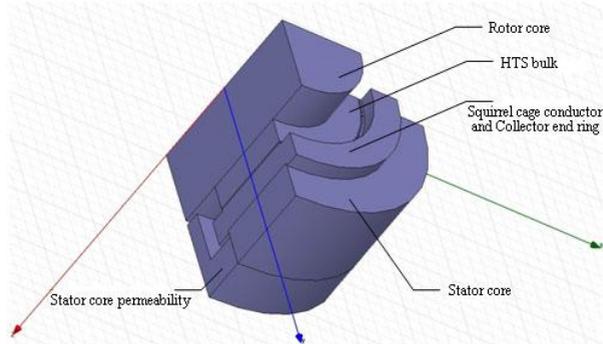


Figure 4 – 3D FEM model of a quarter of HTS DC motor

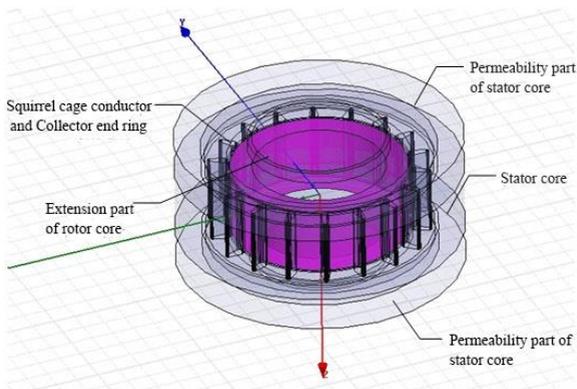


Figure 5 – Structure design scheme of HTS DC motor

3.2. Analysis of the Simplified HTS Motor Structure

Through the finite element modeling and simulation, get this structure magnetic field distribution of HTS DC motor, as is shown in Fig6. The results of analysis of magnetic circuit conform to the Fig2. Through the parameter setting, distribution of magnetic line of a quarter of motor model is shown in Fig7. We can see the distribution of magnetic line along the stator and rotor magnetic path, the magnetic line of the air gap 2 is almost zero, this can control the magnetic flux leakage well. Most of the squirrel cage conductor is

traversed by the vertical magnetic field. Magnetic energy utilization rate is higher in the process of motor rotating. The direction of induced current is the same as the current of collector ring, so the output current of motor is not be affected largely. Hence, the new structure of HTS DC motor can meet the basic requirements of the preliminary design.

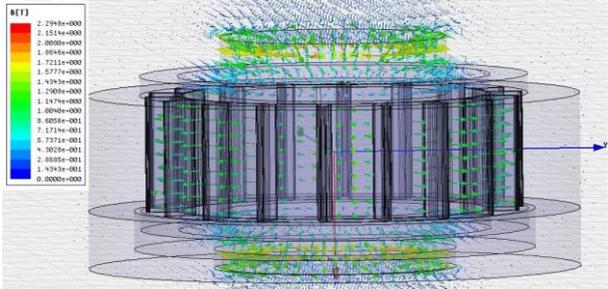


Figure 6 – Cutaway view of the magnetic field vector

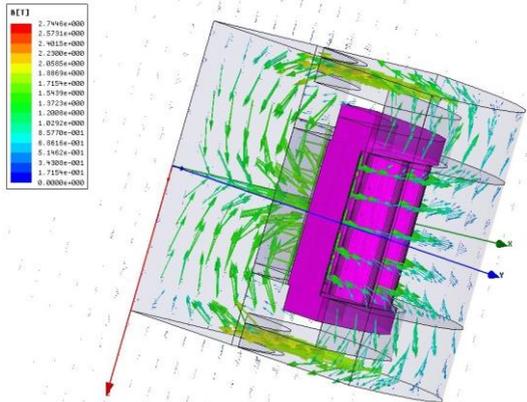


Figure 7 – Distribution of magnetic line of a quarter of motor model

By FEM software for transient simulation, the electromagnetic induction process could be observed. Due to the Dimension of the hypothesis model is small, so the speed is setting a little higher. The simulating speed is set to 1500 RPM. Cage conductor is obtained by

the simulation calculation of node voltage waveform and induced current waveform, which is shown in Fig8 and Fig9.

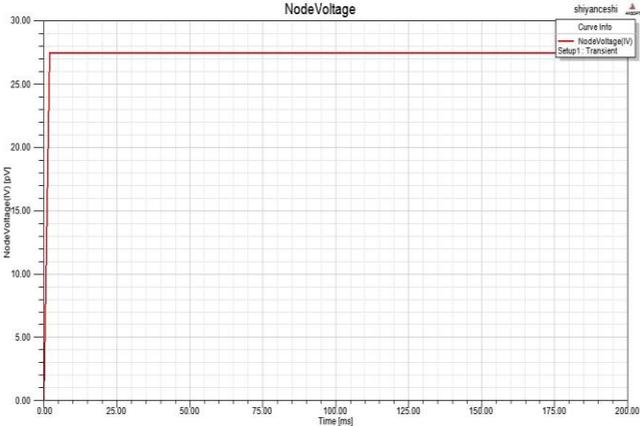


Figure 8 – Within the simplified model of motor node voltage waveform

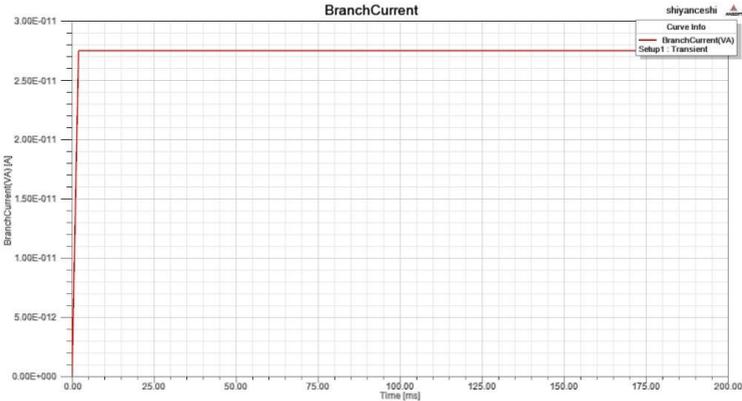


Figure 9 – Within the simplified model of motor branch current waveform

According to Fig8, due to each cage conductor on both terminal ends is collecting the nipple ring, as a result, when the multiple cage conductors with parallel, it could set of observation point in the armature windings during the process of simulation. The simulation

result of node voltage and voltage of the winding should be equal, conform to the basic laws of circuit.

According to Fig9, in the cage conductors are produced by the induced current model for straight line, value is greater than zero, the simplified model can be induced direct current. Hence, the structure of HTS DC motor can meet the design requirements.

4. Conclusions

In this paper, by changing the structure of HTS DC motor, when the HTS material is used in the armature windings, the AC loss could be avoided.

Then, we can use the HTS bulk which has the characteristic of strong magnet field to take place of the permanent magnet in the part of excitation. Improve the efficiency of the motor considerably.

Finally, we design the new structure of the HTS DC motor. It can overcome the existing drawback compared with traditional structure motor. So it can be well applied in ship electric propulsion as HTS propulsion motor and marine wind turbine, take advantage of ocean energy resources greatly.

Acknowledgments

Thanks for the support by the Fundamental Research Funds for the Central Universities, HEUCFX41401

Thanks for the support by the National international cooperation in science and technology special project. Project number: 2013DFR60510.

Author Contributions

[1] CHENG Peng, Gaytova T.B.. Theory Research on the Power Conversion Equipment for Comprehensive Using of Renewable Energy Sources. PEITS'2010. 493-496.

[2] CHENG Peng, WAHG Geng, LI Fengyan. Design and Simulation Analysis of HTS Wind Generator. Applied Research and Engineering Solutions in Industry, 2013.3.

[3] Cheng Peng, Wang Geng, Tian Siqing, Lan Hai , Zhang Qiang. Research of a Structure to Solve the AC Loss of HTS Propulsion Motor. IEEE Transportation Electrification Conference and Expo Asia-Pacific 2014, AUG 31- SEP 3,2014.

[4] Cheng Peng, Kong Xiangling, Wang Geng, Li Weili. Research of a new structure of HTS DC Motor. 3rd International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship propulsion and Road Vehicles, MAR 3-MAR 5,2015.

References and Notes

1. Karmaker, H., Ho, M., Chen, E., & Kulkarni, D. (2014). Direct drive HTS wind generator design for commercial applications. Paper presented at the 21st International Conference on Electrical Machines, ICEM 2014, September 2, 2014 - September 5, 2014, Berlin, Germany.

2. CHEN Biao, GU Guobiao. research on cooling technology of HTS motor rotor [J]. Transactions of Chinese Electrotechnical Society, 2011, 26(10), 143-151.

3. Giese R.F., A Worldwide overview of superconductivity development efforts for utility application [J]. Proceedings of American Power conference, 2000, 58(1)

4. HE Xiyuan, DAI Xunjiang, LI Jingdong, et al. A new method for analyzing AC loss of superconducting material about the HTSFCL [J]. Central China Power, 2003, 3(16): 4-7.

5. Baik, S., & Kwon, Y. (2013). Electrical design of a 17 MW class HTS motor for ship propulsion, 233 Spring Street, New York, NY 10013-1578, United States.

6. Dezhin, D., Ilyasov, R., Kozub, S., Kovalev, K., & Verzhbitsky, L. (2014). Synchronous motor with HTS-2G wires. Paper presented at the 11th European Conference on Applied Superconductivity, EUCAS 2013, September 15, 2013 - September 19, 2013, Genoa, Italy.

7. Hassannia, A., & Darabi, A. (2014). Design and performance analysis of superconducting rim-driven synchronous motors for marine propulsion. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 24(1). doi: 10.1109/TASC.2013.2280346

8. Racz, A., & Vajda, I. (2014). Numerical evaluation of a novel high-temperature superconductor-based quasi-diamagnetic motor. Paper presented at the 11th European Conference on Applied

Superconductivity, EUCAS 2013, September 15, 2013 - September 19, 2013, Genoa, Italy.

9. Ueno, E., Kato, T., & Hayashi, K. (2014). Race-track coils for a 3 MW HTS ship motor. *Physica C: Superconductivity and its Applications*, 504, 111-114. doi: 10.1016/j.physc.2014.03.015 Author 1, A.B.; Author 2, C.D. Title of the cited article. *Journal Title* 2007, 6, 100–110.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОРГАНА НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ВРАЩАЮЩИМСЯ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ И ТЕРМИНАЛА REF630

Г.А. Захаров (ст. преп.), Ж.И. Шевченко (к.т.н., доцент)
*Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

В ходе проведения физического моделирования дистанционного органа (ДО) на основе преобразователей с вращающимся магнитным полем (ПВМП) [1] получен опытный образец устройства с характеристикой срабатывания, имеющей следующие параметры: $Z_0 = 12,23 \text{ Ом}$; $r_0 = 14,6 \text{ Ом}$; $\varphi_{\text{мч}} = 70^\circ$.

Для данного устройства был произведен экспериментальное исследование его работы в основных режимах в сравнении с аналогичным ДО реализованным на базе микропроцессорного терминала релейной защиты и автоматики REF630 (ABB, Финляндия) путем задания соответствующих уставок.

Исследования проводились с применением испытательного комплекса РЕТОМ-51, производства НПП «Динамика» (г. Чебоксары). Данный комплекс имеет возможность производить проверку характеристик устройств релейной защиты, как в ручном, так и в автоматическом режиме. РЕТОМ-51 имеет возможность подачи на входы испытуемого устройства до трех фаз сигнала тока 0 – 20 А, и сигнала напряжения 0 – 57,7 В (фазные значения). Контроль состояния исследуемого реле осуществляется путем подачи сигнала его

выходного контакта на дискретный вход испытательного комплекса. РЕТОМ-51 имеет возможность осциллографирования переходных процессов и сохранения данных в формате COMTRADE. Также комплекс РЕТОМ-51 способен генерировать сигналы тока несинусоидальной формы. Данные сигналы формируются как сумма гармонических составляющих ряда Фурье в соответствии с выражением:

$$a = \sum_{i=1}^{10} \sqrt{2} A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i) e^{T_i t}$$

где a – выходной сигнал тока или напряжения; A_i – величина i -й гармоники входного сигнала (действующее значение, задается для удобства); ω_i – циклическая частота i -й гармоники входного сигнала (задается для удобства в виде линейной частоты f в пределах от 50 до 500 Гц); φ_i – начальный фазовый угол i -й гармоники (задается в градусах); T_i – величина, обратная постоянной времени (при затухающем сигнале); t – текущее значение времени.



Рисунок 1 – Испытания ДО на основе ПВМП (слева) и ДО REF630 (справа)

Испытания при синусоидальных входных величинах производились с помощью модуля проверки дистанционных защит и реле сопротивления. Сначала в ручном режиме был произведен поиск характерных точек граничных линий срабатывания ДО, затем при помощи автоматического алгоритма были поочередно для каждого случая сняты характеристика срабатывания в комплексной плоскости $Z(\varphi)$ (рис. 2), определены значения уставки ДО $Z_{уст}$, угла

максимальной чувствительности $\varphi_{мч}$, получена зависимость времени срабатывания органа от входного сопротивления $t_{ср} = f(Z)$ (рис. 3) [1].

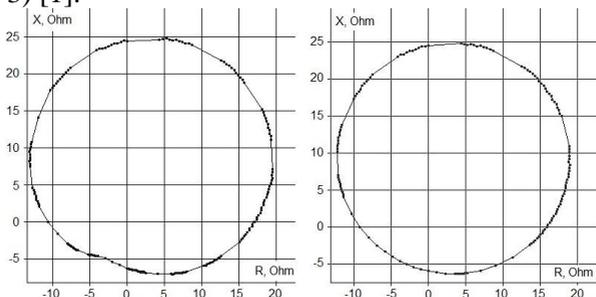


Рисунок 2 – Характеристики срабатывания в комплексной плоскости экспериментального образца ДО на основе ПВМП (слева) и терминала REF630 (справа)

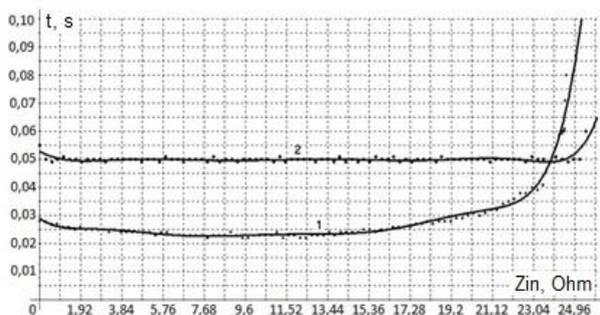


Рисунок 3 – Зависимости времени срабатывания от входного сопротивления для ДО на основе ОТВП (1) и терминала REF630 (2)

В результате проведенных экспериментов, для характеристики срабатывания ДО на основе ПВМП были установлены основные параметры $Z_0 = 10,42$ Ом; $r_0 = 15,48$ Ом; $\varphi_{мч} = 69,5^0$. Некоторое отличие экспериментальных параметров от аналогичных результатов полученных расчетным путем объясняется несовершенством технологии изготовления обмоток примененных ПВМП, а также наличием взаимного влияния друг на друга вторичных обмоток ПВМП ввиду

протекания в них небольшого тока нагрузки. Однако, сравнение форм полученных граничных линий срабатывания ДО на основе ПВМП и реле сопротивления терминала REF630, а также зависимостей времени срабатывания органов (рис. 2, 3) при аналогичных уставках, показали сопоставимость технических характеристик предлагаемого ДО и устройства производства ведущей зарубежной компании. Причем время срабатывания ДО на основе ПВМП в большей части рабочей зоны ниже, чем у аналога.

Помимо испытаний при синусоидальных входных сигналах тока и напряжения были произведены исследования работы полученного устройства при искаженных входных сигналах тока, форма которых принята согласно [2]. В результате опытов, произведенных по аналогии с описанными [2], для полученного образца ДО на основе ПВМП и ДО микропроцессорного терминала REF630 получены зависимости погрешности срабатывания органа от степени искажения входного тока $F_Z = f(F_i)$ (рис. 4).

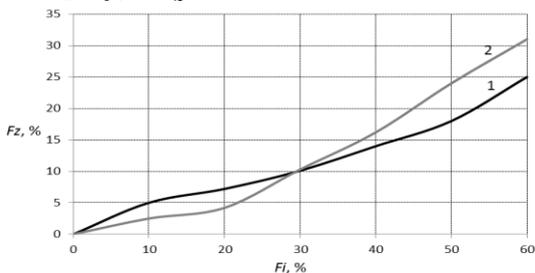


Рисунок 4 – Зависимости погрешности срабатывания ДО на основе ПВМП (1) и терминала REF630 (2) в направлении угла максимальной чувствительности

Проведенные испытания показали, что дистанционный орган микропроцессорного терминала REF630 при измерении входного сопротивления реагирует на первую гармонику входного тока. Для него установлена прямо пропорциональная зависимость роста погрешности срабатывания от снижения доли

первой гармоники в составе искаженного входного сигнала. Для ДО со смещенной характеристикой данное влияние усиливается ростом фазового сдвига первой гармоники искаженного входного тока относительно входного напряжения. Применение ПВМП в составе ДО позволяет снизить влияние данного процесса на работу органа, предположительно за счет сложных процессов дифференцирования сигналов высших гармоник тока магнитной системой преобразователя.

Литература

1. Коробейников Б.А. Дистанционные органы релейной защиты. Пути совершенствования / Б.А. Коробейников, Г.А. Захаров // Новости электротехники: информационно-справочное издание. – 2014. – № 4. – С. 38-40.

2. Захаров Г.А. Исследование влияния искажения входного сигнала тока на работу дистанционного органа на основе преобразователей с вращающимся магнитным полем / Г.А. Захаров, Д.И. Сидоров // Технические и технологические системы (ТТС-15) : сб. матер. VII межд. науч. конф. Краснодар, 7-9 октября 2015г. / КубГТУ под общей ред. Б.Х. Гайтова – Краснодар, 2015. – С. 117-121.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОГО ГЕНЕРАТОРА В СРЕДЕ MATHCAD

Л.Е. Копелевич * (к.т.н., доц.), Я.М. Кашин ** (к.т.н., доц.),

В.С. Суворов * (студент), А.О. Схашок * (студент)

** Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

*** Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков
им. А.К. Серова (г. Краснодар, Россия)*

Устройство, совмещающее в себе два альтернативных источника питания называется двухвходовой машиной. В нашем случае это ветро-солнечный генератор (ВСГ). ВСГ включает в себя два девятифазных синхронных генератора переменного тока, трехфазный синхронный генератор переменного тока, два девятифазных выпрямителя. Назначение этой машины

заключается в том, чтобы обеспечивать бесперебойно электроэнергией отдаленные районы РФ, путем преобразования механической энергии ветра вращения лопастей турбины и световой энергии солнца за счет фотоэлектрических преобразователей в электрическую энергию [4,5, 8 9].

Для исследования переходных процессов в таких машинах необходим математический эксперимент, т.к. физический эксперимент является дорогостоящим и затратным по времени. Для проведения математического эксперимента была составлена математическая модель, учитывающая электромагнитные и электро- механические переходные процессы, протекающие в ВСГ.

$$\left. \begin{aligned}
 U_2 &= R_2 \times i_2 + \frac{d\Psi_2}{dt} + \omega_p \times \Psi_2, \\
 U_3 &= R_2 \times i_3 + \frac{d\Psi_3}{dt} - \omega_p \times \Psi_2, \\
 U_4 &= \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} u_2 dt, \\
 U_5 &= R_5 \times i_5, \\
 U_6 &= R_6 \times i_6 + d\Psi_6, \\
 -u_7 &= R_7 \times i_7 + \frac{d\Psi_7}{dt} + \omega_p \times \Psi_7, \\
 u_8 &= R_8 \times i_8 + \frac{d\Psi_8}{dt} - \omega_p \times \Psi_8, \\
 u_9 &= \frac{1}{T_2} \int_0^{T_2} u_7, \\
 u_{10} &= R_{10} \times i_{10} + \frac{d\Psi_{10}}{dt} + \omega_p \times \Psi_{10}, \\
 u_{11} &= R_{11} \times i_{11} + \frac{d\Psi_{11}}{dt} - \omega_p \times \Psi_{11}, \\
 M_3 &= \left[M_1(i_1 \times i_2) + M_2 \times K_{20} \left(\frac{i_5 \times i_8 \times i_7}{(i_8)^{k_{21}} \times (i_7)^{k_{22}}} + i_6 \times i_8 \right) + M_3 \times K_{23}(i_9 \times i_{10}) \right] P \\
 M_B &= N \times l_{\text{лоп}} \times \rho_{\text{возд}} \times V \times (S_{\text{лоп}} \times h_{\text{ветр}}).
 \end{aligned} \right\} (1)$$

В уравнениях (1) U_i – напряжение обмотки, где i - порядковый номер обмотки схемы ВСГ на рис. 1-2;

$i_1 \dots i_i$ – токи соответствующих обмоток ;

$R_1 \dots R_i$ – активные сопротивления соответствующих обмоток;

M_1 – взаимная индуктивность обмотки возбуждения постоянного магнита и девятифазной обмотки 4 якоря подвозбудителя; M_2 – взаимная индуктивность обмоток 5 и 6 возбуждения и девятифазной обмотки 8 якоря возбудителя; M_3 – взаимная индуктивность обмотки 9 возбуждения и девятифазной обмотки 11 якоря основного генератора; где M_{Σ} – электромагнитный момент, J – момент инерции вращающихся масс, M_C – момент сопротивления, А, В, D, n – коэффициенты, учитывающие зависимость момента сопротивления M_C от угловой скорости вращения ротора ω_p , p – число пар полюсов ВСГ; N- количество лопастей ветротурбины; $l_{\text{лоп}}$ - длина лопасти; $\rho_{\text{возд}}$ -плотность воздуха; V – скорость потока ветра; $S_{\text{лоп}}$ - площадь одной лопасти ветротурбины; $h_{\text{ветр}}$ – линейный расчет столба ветра(приняты равным 1м) [6,7].

$$\left. \begin{aligned}
 \Psi_2 &= L_2 \times i_2 + M_1 \times i_1, \\
 \Psi_3 &= i_3 \times L_3, \\
 \Psi_5 &= L_5 \times i_5 + M_2 \times i_6 + M_2 \times i_8, \\
 \Psi_6 &= L_6 \times i_6 + M_2 \times i_5 + M_2 \times i_7, \\
 \Psi_7 &= L_7 \times i_7 + M_2 \times i_5 + M_2 \times i_6, \\
 \Psi_8 &= L_8 \times i_8, \\
 \Psi_9 &= L_9 \times i_9 + M_3 \times i_{10}, \\
 \Psi_{10} &= L_{10} \times i_{10} + M_3 \times i_9, \\
 \Psi_{11} &= L_{11} \times i_{11}.
 \end{aligned} \right\} (2)$$

В уравнениях (2) рассчитываются потокосцепления для каждой обмотки ВСГ.

$$\left. \begin{aligned}
 L_2 &= k_2 + M_1, \\
 L_3 &= k_3 + M_1, \\
 L_5 &= k_5 + M_2, \\
 L_6 &= k_6 + M_2, \\
 L_7 &= k_7 + M_2, \\
 L_8 &= k_8 + M_2, \\
 L_9 &= k_9 + M_3, \\
 L_{10} &= k_{10} + M_3, \\
 L_{11} &= k_{11} + M_3.
 \end{aligned} \right\} (3)$$

В уравнениях (3) рассчитываются индуктивности обмоток ВСГ, индекс которых совпадает с порядковым номером на рис 1, 2.

Пересчет токов многофазной обмотки 4 якоря подвозбудителя из системы координат α, β на девятифазное исполнение, производится по следующим уравнениям:

$$\left. \begin{aligned} i_{41} &= i_4, \\ i_{42} &= \frac{i_4}{\cos(\varphi_1 + 10^\circ)}, \\ i_{43} &= \frac{i_4}{\cos(\varphi_1 - 30^\circ)}, \\ i_{44} &= \frac{i_4}{\cos(\varphi_1 - 20^\circ)}, \\ i_{45} &= \frac{i_4}{\cos(\varphi_1 + 20^\circ)}, \\ i_{46} &= \frac{-i_4}{\cos(\varphi_1 + 30^\circ)}, \\ i_{47} &= \frac{-i_4}{\cos(\varphi_1 - 10^\circ)}, \\ i_{48} &= \frac{i_4}{\cos(\varphi_1 + 40^\circ)}, \\ i_{49} &= \frac{i_4}{\cos(\varphi_1)}. \end{aligned} \right\} (4)$$

Пересчет токов многофазной обмотки 8 якоря возбудителя в системе координат α, β на девятифазное исполнение, производится по следующим уравнениям:

$$\left. \begin{aligned}
 i_{g1} &= i_g, \\
 i_{g2} &= \frac{i_g}{\cos(\varphi_1 + 10^\circ)}, \\
 i_{g3} &= \frac{i_g}{\cos(\varphi_1 - 30^\circ)}, \\
 i_{g4} &= \frac{i_g}{\cos(\varphi_1 - 20^\circ)}, \\
 i_{g5} &= \frac{i_g}{\cos(\varphi_1 + 20^\circ)}, \\
 i_{g6} &= \frac{-i_g}{\cos(\varphi_1 + 30^\circ)}, \\
 i_{g7} &= \frac{-i_g}{\cos(\varphi_1 - 10^\circ)}, \\
 i_{g8} &= \frac{i_g}{\cos(\varphi_1 + 40^\circ)}, \\
 i_{g9} &= \frac{i_g}{\cos(\varphi_1)}.
 \end{aligned} \right\} (5)$$

где ω_p – угловая скорость вращения ротора (постоянного многополюсного магнита 2 и магнитопровода 7) (рис. 1, 2); $\varphi_1 = 2\pi/m_2$ – угол сдвига фаз, $m_2=9$ – число фаз обмоток 4 якоря подвозбудителя, 8 якоря возбудителя и 11 якоря основного генератора [6,7].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта №16-48-230200 «р_а»

Литература

1. Разработка математической модели элек-тромагнитных и электромеханических переходных процессов в аксиальных многофазных генераторных установках. / Б.Х. Гайтов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. - Краснодар: КубГАУ. – 2012. – №02(76). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/02/pdf/84.pdf>, 0,625 у.п.л.

2. Ветро-солнечные генераторы для элек-троснабжения объектов нефтегазовой отрасли / Е.А. Зеленская [и др.] // Газовая промышленность. – 2014. – № 6 (707). – С. 114-117.
3. Система автономного электроснабжения на базе аксиальных электромагнитных устройств. / Т.Б. Гайтова [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 33. – С. 205-209.
4. Математическое моделирование перспективных генераторных установок для систем автономного электроснабжения. / Т.Б. Гайтова [и др.] // Изв. вузов. Электромеханика. – 2013. – № 3. – С.16-23.
5. Пат. РФ № 2561504. Аксиальный двухвходовый бесконтактный ветро-солнечный генератор / Гайтов Б.Х. [и др.] Зар. 03.08.2015 г.
6. Создание перспективных систем автономного энергоснабжения объектов на базе принципиально новых электромеханических преобразователей энергии повышенной надежности / Б.Х. Гайтов [и др.] // отчет о НИР № 13-08-96515/14 от 08.10.2014 (РФФИ и Администрация Краснодарского края).
7. Самородов А.В. Математическое моделирование элементов автономных энергосистем с использованием возобновляемых источников энергии / Л.Е. Копелевич, Р.А. Пахомов, Н.Г. Андрейко // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2015. – № 1. – С. 95-99.
8. Пат. РФ № 2450411. Аксиальная двухвходовая бесконтактная электрическая машина-генератор / Гайтов Б.Х. [и др.] Зар. 12.01.2011 г.
9. Кашин Я.М. Обоснование и разработка перспективных конструкций генераторных установок для систем автономного электроснабжения / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, Д.В. Пауков // Изв. вузов. Электромеханика. – 2012. – № 3. – С. 46-53.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОГО ГЕНЕРАТОРА В СРЕДЕ MATLAB

*Б.Х. Гайтов** (д.т.н., проф.), *Л.Е. Копелевич** (к.т.н., доц.),
*А.В. Самородов** (к.т.н., доц.), *А.О. Схашок** (студент), *А.Я. Кашин***
* *Кубанский государственный технологический университет*
(г. Краснодар, Россия)
** *Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков*
им. А.К. Серова (г. Краснодар, Россия)

Ветро-солнечный генератор (ВСГ) – представляет собой сложное электромеханическое устройство. ВСГ совмещает в одном корпусе: два девятифазных синхронных генератора переменного тока, два девятифазных выпрямителя и трехфазный синхронный генератор переменного тока. (Девятифазные синхронные генераторы нужны для снижения коэффициента пульсации). Особенностью данной машины это возможность эффективного использования, например, в качестве преобразователя механической энергии вращения (энергии ветра), подаваемой на механический вход машины, и электрической энергии постоянного тока (световой энергии Солнца, преобразованной фотоэлектрическими преобразователями в электроэнергию постоянного тока) [4, 5, 8, 9].

КОНСТРУКЦИЯ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОГО ГЕНЕРАТОРА

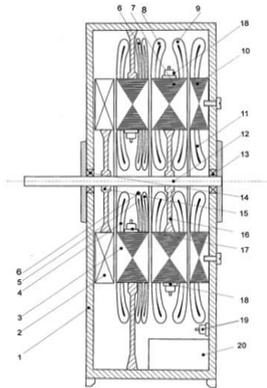


Рисунок 1 – Ветро-солнечный генератор в разрезе

ВСГ содержит (рис. 1): корпус 1, постоянный многополюсный магнит 2 индуктора подвозбудителя, магнитопровод 3 с обмоткой 4 якоря подвозбудителя, однофазной обмоткой 5 возбуждения возбудителя и дополнительной обмоткой 6 возбуждения возбудителя; внутренний аксиальный магнитопровод 7 с многофазной обмоткой 8 якоря возбудителя и однофазной обмоткой возбуждения 9 основного генератора, аксиальный магнитопровод 10 с многофазной обмоткой 11 якоря основного генератора, вал 12, закрепленный в подшипниковых узлах 13 и 14 и жестко связанный с постоянным многополюсным магнитом 2 индуктора подвозбудителя посредством диска 15 и с внутренним аксиальным магнитопроводом 7 посредством диска 16, девятифазных выпрямителей 17 и 18 [1, 5].

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА И ПРИНЦИП РАБОТЫ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОГО ГЕНЕРАТОРА

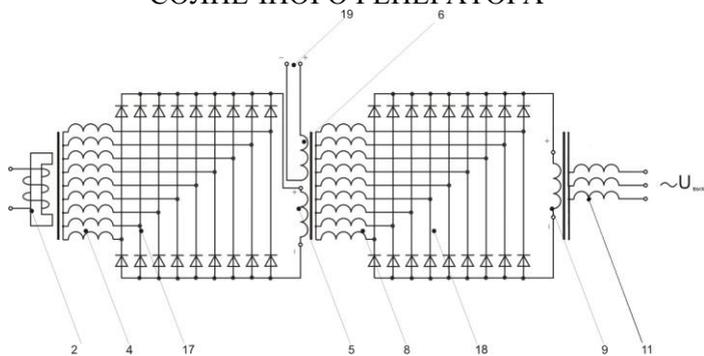


Рисунок 2 – Электрическая схема ВСГ

На рис. 2 видно, что постоянный многополюсный магнит 2 (на рис. 1 позиция 2) индуцирует магнитный поток. Однофазная обмотка 5 (на рис. 1 позиция 5) возбуждения возбудителя подключается к многофазной обмотке 4 (на рис. 1 позиция 8) якоря подвозбудителя через многофазный выпрямитель 17 (на рис. 1 позиция 17). Однофазная обмотка 9

(на рис. 1 позиция 9) возбуждения основного генератора подключается к многофазной обмотке 8 (на рис. 1 позиция 8) якоря возбудителя через многофазный двухполупериодный выпрямитель 18 (на рис. 1 позиция 18). С многофазной обмотки 11 (на рис. 1 позиция 11) получаем трехфазное напряжение [2, 3].

МОДЕЛЬ MATLAB

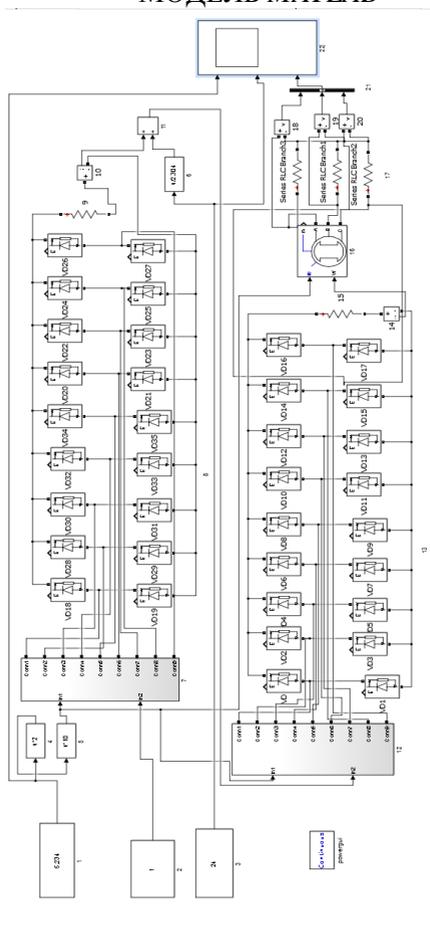


Рисунок 3 – Блок-схема модели ВСГ

Таблица 1 – Назначение блоков из блок-схемы

№ блока	Название блока	Назначение блока
1	Constant	Предназначен для задания скорости воздушного потока
2	Constant	Предназначен для задания тока возбуждения
3	Constant	Предназначен для задания напряжения солнечной батареи
4	Fcn	Предназначен для моделирования ветротурбины
5	Fcn	Предназначен для моделирования мультипликатора
6	Fcn	Предназначен для моделирования солнечной батареи
7, 12	Девятифазный синхронный генератор	Девятифазный генератор
8, 13	Модель девятифазного выпрямителя	Предназначен для преобразования переменного девятифазного тока в постоянный пульсирующий
11	Add	Предназначен для суммирования подающих сигналов
10, 14	Current Measurement	Предназначен для измерения тока
16	Synchronous Machine SI Fundamental	Трехфазный синхронный генератор предназначен для электроснабжения объектов
17	Блок нагрузки	Нагрузка генератора
9, 15	Активное сопротивление	Активное сопротивление выпрямителей
18, 19, 20	Voltage Measurement	Предназначен для измерения напряжения
21	Bus creator	Шина
22	Scope	Осциллограф

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

На блоке 1 задается скорость воздушного потока, которая подается через блоки 4 и 5 на механический вход девятифазного синхронного генератора (блок 7). На электрический вход блока 7 подается сигнал из блока 2. Выходной сигнал из блока 7 поступает на блок 8, на котором девятифазный переменный ток преобразовывается в постоянный пульсирующий. Этот выпрямленный ток поступает на блок 11. Также на этот блок подается ток солнечной батареи из блока 6, на который поступает напряжения солнечной батареи из блока 3. На блоке 11 токи из блока 8 и 6 суммируются и подаются на электрический вход девятифазного синхронного генератора (блок 12). На механический вход поступает сигнал из блока 5. Выходной ток из блока 12 подается на блок 13, на котором девятифазный переменный ток преобразовывается в постоянный пульсирующий. Этот ток поступает на электрический вход трехфазной синхронной машины (блока 16). На механический вход подается сигнал из блока 5. Выходное напряжение подается на блок 17. Оно измеряется блоками 18, 19, 20 и подается на осциллограф через шину [6, 7].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 16-48-230200 «р_а».

Литература

1. Разработка математической модели электромагнитных и электромеханических переходных процессов в аксиальных многофазных генераторных установках. / Б.Х. Гайтов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. - Краснодар: КубГАУ. – 2012. – №02(76). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/02/pdf/84.pdf>, 0,625 у.п.л.

2. Ветро-солнечные генераторы для электроснабжения объектов нефтегазовой отрасли / Е.А. Зеленская [и др.] // Газовая промышленность. – 2014. – № 6 (707). – С. 114-117.

3. Система автономного электроснабжения на базе аксиальных электромагнитных устройств. / Т.Б. Гайтова [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 33. – С. 205-209.

4. Математическое моделирование перспективных генераторных установок для систем автономного электроснабжения. / Т.Б. Гайтова [и др.] // Изв. вузов. Электромеханика. – 2013. – № 3. – С.16-23.

5. Пат. РФ № 2561504. Аксиальный двухвходовой бесконтактный ветро-солнечный генератор / Гайтов Б.Х. [и др.] Зар. 03.08.2015 г.

6. Программа расчета математической модели ветро-солнечного генератора / Копелевич Л.Е. [и др.] // свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RUS 2016618268, 26.07.2016.

7. Программа расчета математической модели девятифазного синхронного генератора / Копелевич Л.Е. [и др.] // свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RUS 2016618414, 28,07,2016.

8. Пат. РФ № 2450411. Аксиальная двухвходовая бесконтактная электрическая машина-генератор / Гайтов Б.Х. [и др.] Зар. 12.01.2011 г.

9. Кашин Я.М. Обоснование и разработка перспективных конструкций генераторных установок для систем автономного электроснабжения / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, Д.В. Пауков // Изв. вузов. – Электромеханика. – 2012. – № 3. – С.46-53.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОГО ГЕНЕРАТОРА В СРЕДЕ *MATLAB*

Л.Е. Копелевич (к.т.н., доц.), Я.М. Кашин (к.т.н., доц.),
А.О. Схашок (студент), В.С. Суворов (студент)
Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)

В нетрадиционной энергетике по-разному решается вопрос одновременного использования нескольких возобновляемых источников энергии (ВИЭ), например, ветра и Солнца. Суммирование энергии от нескольких ВИЭ в одной установке энергетически выгоднее, чем суммирование энергии от нескольких установок, каждая из которых получает энергию от одного из ВИЭ. Поэтому актуальным является создание таких устройств, в частности, электрических генераторов, в которых происходит суммирование энергий от нескольких ВИЭ. Подобные машины должны иметь несколько входов, каждый из которых подключается к своему источнику энергии. В силу повсеместной доступности энергий Солнца и ветра целесообразно создавать двухвходовые электрические машины (ЭМ), т.е. такие машины, которые имеют два входа для подключения двух различных источников энергий, например, электрической энергии, вырабатываемой фотоэлектрическими преобразователями под воздействием солнечного излучения, и механической энергии, вырабатываемой ветровыми установками [1-8].

На рис. 1 приведены скриншоты осциллограмм выходного напряжения солнечной батареи и осциллограммы выходного напряжения ВСГ в интервале с 0 до 40 секунды. На рис. 2 приведены скриншоты осциллограмм выходного напряжения солнечной батареи и осциллограммы выходного напряжения ВСГ в интервале с 39,8 до 40 секунды. На рис. 3-5 приведены скриншоты осциллограмм кривых изменения скорости ветра, выходного напряжения солнечной батареи и осциллограммы выходного напряжения ВСГ в интервале с 38 до 40 секунды. На рис. 6-7 приведен скриншот осциллограмм кривых изменения

скорости ветра, выходного напряжения солнечной батареи и осциллограммы выходного напряжения ВСГ в интервале с 37 до 50 секунды.

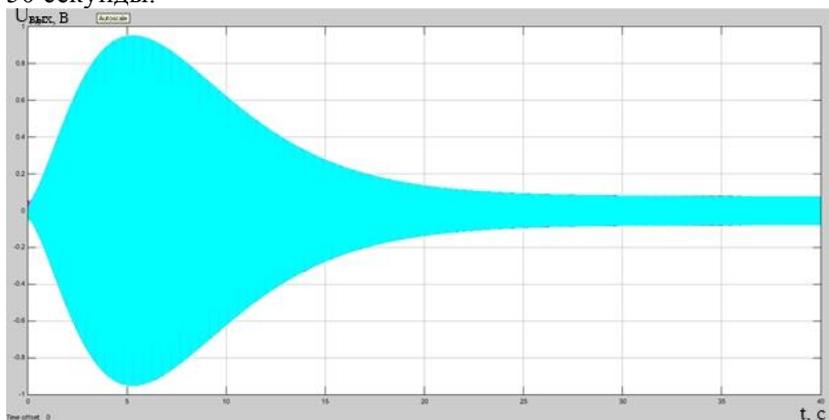


Рисунок 1 – Скриншот осциллограммы переходного процесса ВСГ

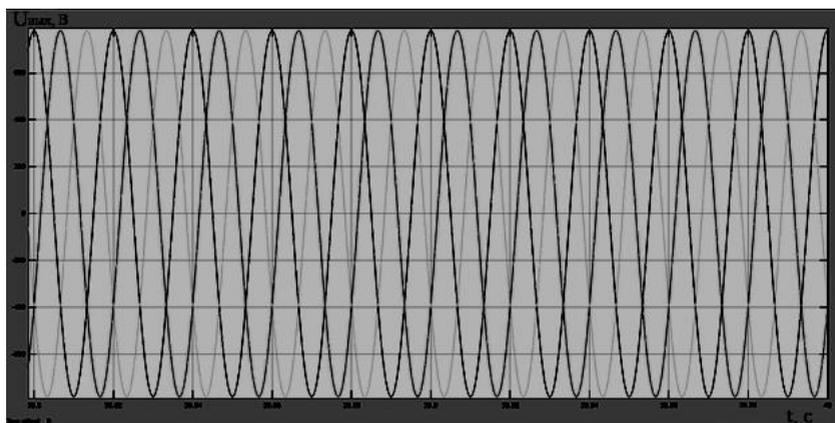


Рисунок 2 – Скриншот осциллограммы установившегося режима работы ВСГ

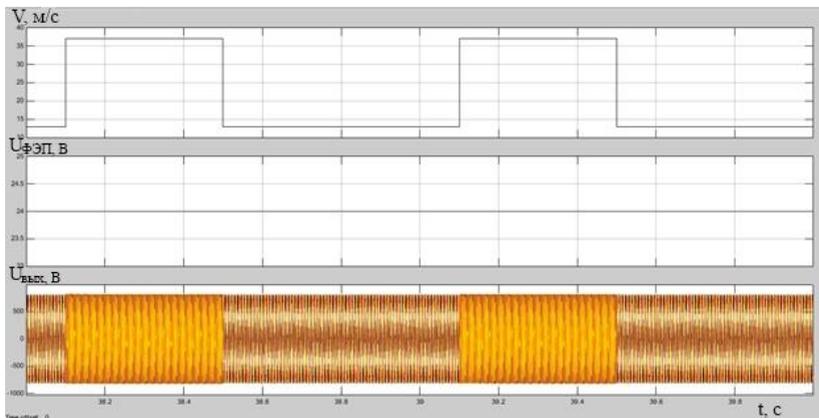


Рисунок 3 – Скриншот осциллограммы выходного напряжения ВСГ при изменяемой скорости воздушного потока и постоянном напряжении солнечной батареи

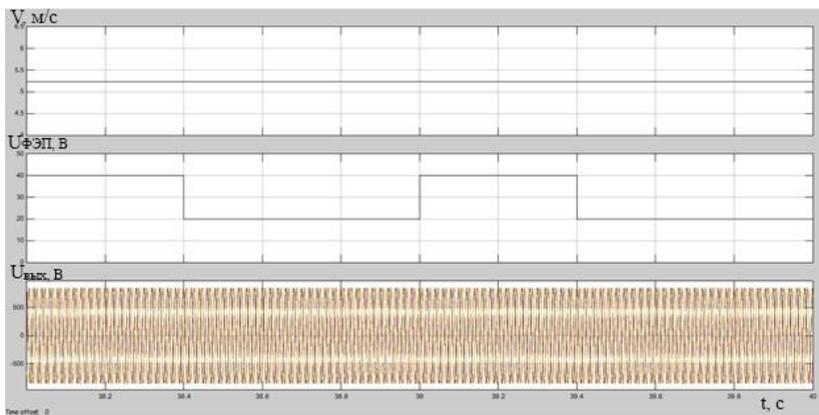


Рисунок 4 – Скриншот осциллограммы выходного напряжения ВСГ при изменяемом напряжении солнечной батареи и постоянной скорости воздушного потока

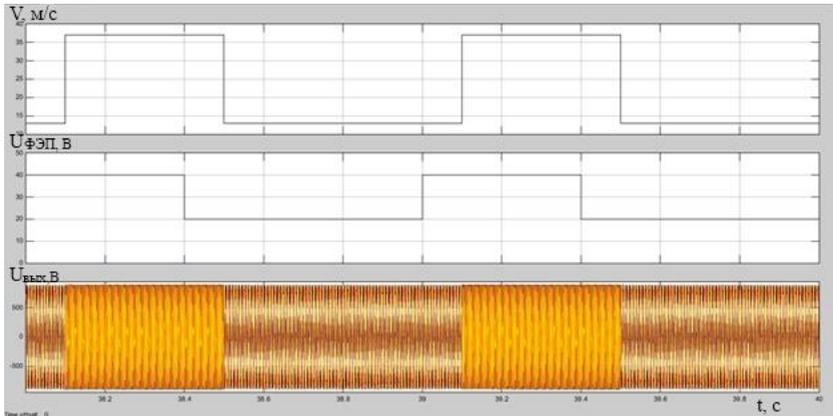


Рисунок 5 – Скриншот осциллограммы выходного напряжения ВСГ при изменяемом напряжении солнечной батареи и изменяемой скорости воздушного потока

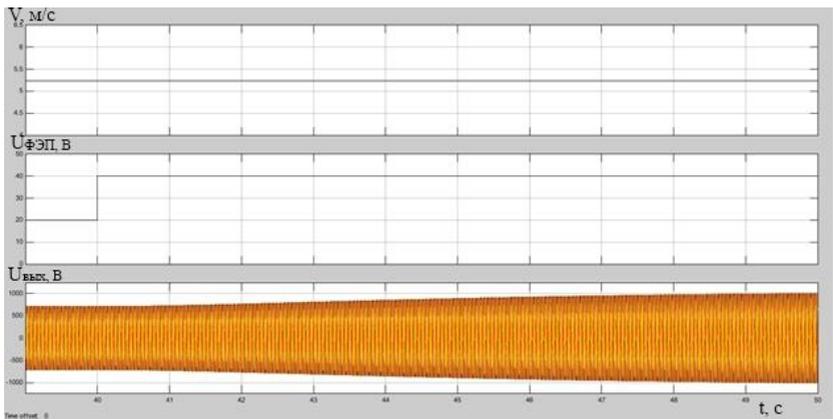


Рисунок 6 – Скриншот осциллограммы изменения выходного напряжения при изменении напряжения солнечной батареи скачком

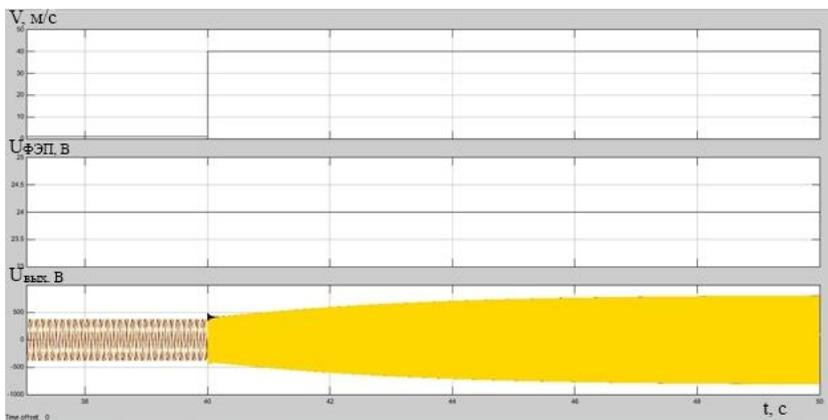


Рисунок 7 – Скриншот осциллограммы изменения выходного напряжения при изменении скорости воздушного потока скачком

Данные осциллограммы получены в программе расчета математической модели ветро-солнечного генератора, на которую было получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [6].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 16-48-230200 «р_а».

Литература

1. Разработка математической модели электромагнитных и электромеханических переходных процессов в аксиальных многофазных генераторных установках. / Б.Х. Гайтов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. - Краснодар: КубГАУ. – 2012. – №02(76). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/02/pdf/84.pdf>, 0,625 у.п.л.

2. Ветро-солнечные генераторы для электроснабжения объектов нефтегазовой отрасли / Е.А. Зеленская [и др.] // Газовая промышленность. – 2014. – № 6 (707). – С. 114-117.

3. Система автономного электроснабжения на базе аксиальных электромагнитных устройств. / Т.Б. Гайтова [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 33. – С. 205-209.

4. Математическое моделирование перспективных генераторных установок для систем автономного электроснабжения. / Т.Б. Гайтова [и др.] // Изв. вузов. Электромеханика. – 2013. – № 3. – С.16-23.

5. Пат. РФ № 2450411. Аксиальная двухвходовая бесконтактная электрическая машина-генератор / Б.Х. Гайтов [и др.] Зар. 12.01.2011 г.

6. Пат. РФ № 2349016 Управляемая двухмерная электрическая машина / Б.Х. Гайтов [и др.] Зар. 07.05.2007.

7. Самородов А.В. Разработка системы автономного электроснабжения на базе двухмерной электрической машины : Дис. ... канд. техн. наук. – Краснодар, 2002.

8. Кашин Я.М. Обоснование и разработка перспективных конструкций генераторных установок для систем автономного электроснабжения / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, Д.В. Пауков // Изв. вузов. – Электромеханика. – 2012. – № 3. – С.46-53.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОГО ГЕНЕРАТОРА В СРЕДЕ *MATHCAD*

А.В. Самородов*(к.т.н., доц.), В.С. Суворов *(студент),
А.О. Схашок*(студент), А.Я. Кашин**

* *Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

** *Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков
им. А.К. Серова (г. Краснодар, Россия)*

Территория Российской Федерации простирается на дальние расстояния по четырем направлениям света. В связи с этим присутствуют отдаленные на большие расстояния объекты энергетики, населенные пункты от невозобновляемых источников электроэнергии.

Проблему обеспечения электроэнергией таких объектов может решить двухходовая электрическая машина (ДЭМ), разработанная для использования энергии возобновляемых источников энергии – Солнца и ветра. [2, 3, 5, 8, 9]. Такая машина является по существу ветро-солнечным генератором.

Исследование переходных процессов в этой машине выполнено в среде *MATCAD*.

На рис. 1 приведены скриншоты осциллограммы выходного напряжения ВСГ в интервале с 0 до 85 секунды. На рис. 2 приведены скриншоты осциллограмм задаваемой скорости потока ветра, изменяющейся в интервале с 0 до 85 секунды [5, 6, 7].

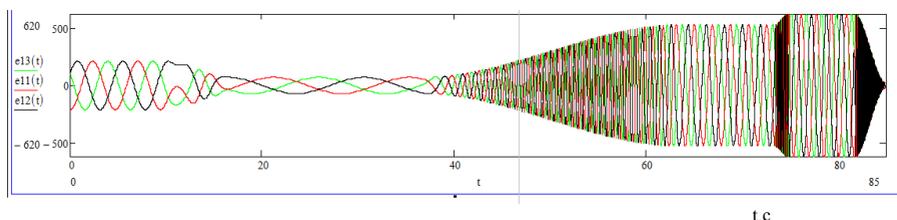


Рисунок 1 – Скриншот осциллограммы переходного процесса ВСГ

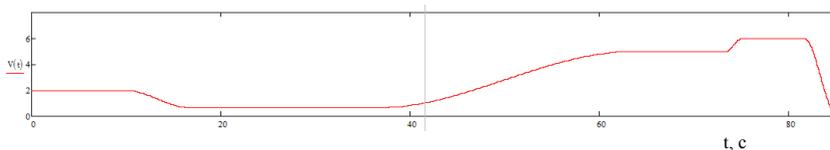


Рисунок 2 – Скриншот осциллограммы установившегося режима работы ВСГ

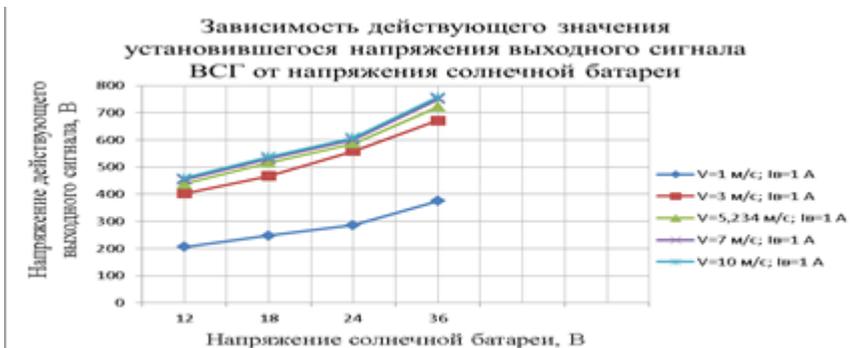


Рисунок 3 – График зависимости действующего значения установившегося напряжения выходного сигнала ВСГ от напряжения солнечной батареи

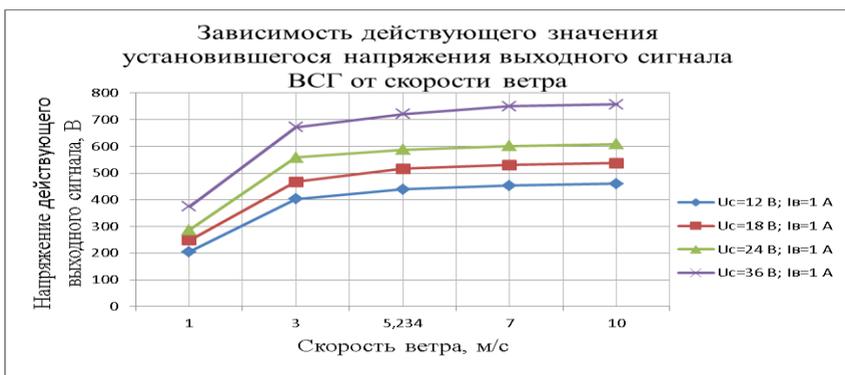


Рисунок 4 – График зависимости действующего значения установившегося напряжения выходного сигнала ВСГ от скорости ветра

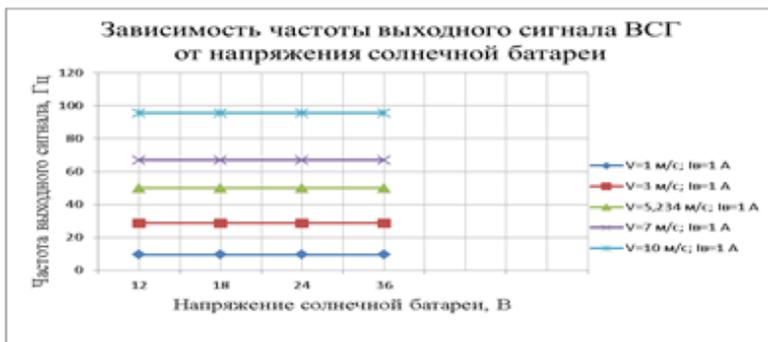


Рисунок 5 – График зависимости частоты выходного сигнала ВСГ от напряжения солнечной батареи

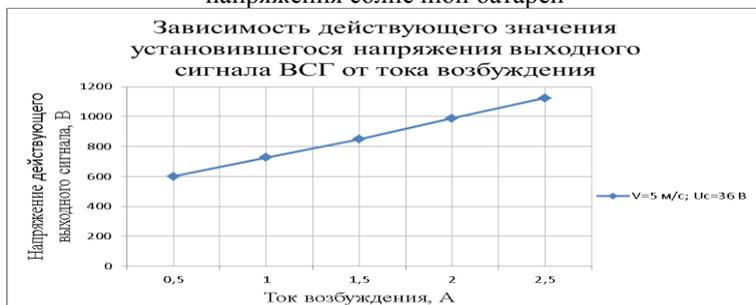


Рисунок 6 – График зависимости действующего значения установившегося напряжения выходного сигнала ВСГ от тока возбуждения

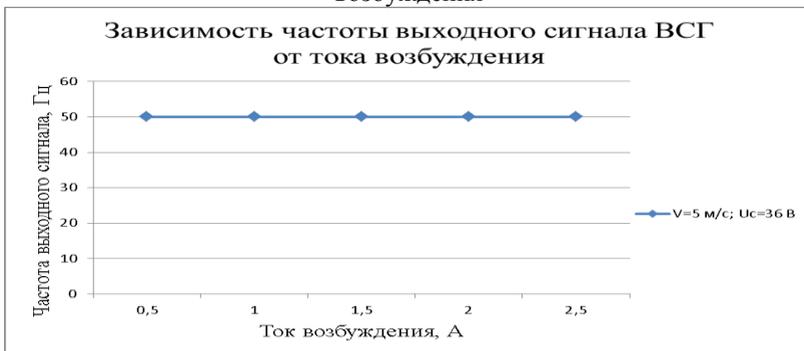


Рисунок 7 – График зависимости частоты выходного сигнала ВСГ от тока возбуждения

Вывод

На рис. 3 показано, что при повышении напряжения солнечной батареи действующее значение установившегося выходного напряжения ВСГ возрастает по экспоненте. На рис. 4 при повышении скорости ветра увеличивается действующее значение установившегося выходного напряжения ВСГ по экспоненте. На рис. 5 при повышении напряжения солнечной батареи частота выходного напряжения ВСГ не меняется. На рис. 6 при повышении тока возбуждения повышается действующее значение установившегося напряжения выходного сигнала ВСГ линейно. На рис. 7 при повышении тока возбуждения частота выходного сигнала ВСГ не меняется..

«Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта №16-48-230200 «р_а»».

Литература

1. Разработка математической модели электромагнитных и электромеханических переходных процессов в аксиальных многофазных генераторных установках. / Б.Х. Гайтов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. - Краснодар: КубГАУ. – 2012. – №02(76). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/02/pdf/84.pdf>, 0,625 у.п.л.
2. Ветро-солнечные генераторы для электроснабжения объектов нефтегазовой отрасли / Е.А. Зеленская [и др.] // Газовая промышленность. – 2014. – № 6 (707). – С. 114-117.
3. Система автономного электроснабжения на базе аксиальных электромагнитных устройств. / Т.Б. Гайтова [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 33. – С. 205-209.
4. Математическое моделирование перспективных генераторных установок для систем автономного

электроснабжения. / Т.Б. Гайтова [и др.] // Изв. вузов. Электромеханика. – 2013. – № 3. – С.16-23.

5. Пат. РФ № 2450411. Аксиальная двухвходовая бесконтактная электрическая машина-генератор / Б.Х. Гайтов [и др.] Зар. 12.01.2011 г.

6. Создание перспективных систем автономного энергоснабжения объектов на базе принципиально новых электромеханических преобразователей энергии повышенной надежности / Б.Х. Гайтов [и др.] // отчет о НИР № 13-08-96515/14 от 08.10.2014 (РФФИ и Администрация Краснодарского края).

7. Самородов А.В. Математическое моделирование элементов автономных энергосистем с использованием возобновляемых источников энергии / Л.Е. Копелевич, Р.А. Пахомов, Н.Г. Андрейко // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2015. – № 1. – С. 95-99.

8. Пат. РФ № 2450411. Аксиальная двухвходовая бесконтактная электрическая машина-генератор / Гайтов Б.Х. [и др.] Зар. 12.01.2011 г.

9. Кашин Я.М. Обоснование и разработка перспективных конструкций генераторных установок для систем автономного электроснабжения / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, Д.В. Пауков // Изв. вузов. Электромеханика. – 2012. – № 3. – С. 46-53.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ УПРАВЛЕНИЕ МАЛЫМИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С ЗАВИСЯЩИМ ОТ СКОРОСТИ МОМЕНТОМ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Ю.П. Добробаба (к.т.н., доц.), Г.А. Кошкин (студент),
Н.Я. Прохоренко (студент)
Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)

Математическая модель электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления описывается уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} U(t) &= C_e \cdot \omega(t) + R_y \cdot I_y(t) + L_y \cdot I_y^{(1)}(t); \\ C_m \cdot I_y(t) &= M_{co} + K_c \cdot \omega(t) + J \cdot \omega^{(1)}(t); \\ \varphi^{(1)}(t) &= \omega(t), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где U - напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя, B ;

ω - угловая скорость исполнительного органа электродвигателя, $\frac{рад}{с}$;

I_y - ток якорной цепи электродвигателя, A ;

M_{co} - постоянный по величине момент сопротивления электропривода, $H \cdot м$;

φ - угол поворота исполнительного органа электропривода, $рад$;

C_e - коэффициент пропорциональности между угловой скоростью и ЭДС электродвигателя, $\frac{B \cdot с}{рад}$;

$R_{я}$ - сопротивление якорной цепи электродвигателя,
Ом;

$L_{я}$ - индуктивность якорной цепи электродвигателя,
Гн;

C_m - коэффициент пропорциональности между током
и моментом электродвигателя, $B \cdot c$;

K_c - коэффициент, $\frac{H \cdot m \cdot c}{rad}$;

J - момент инерции исполнительного органа
электропривода, $kg \cdot m^2$.

Критерий оптимизации

$$\int_0^{T_y} dt = \min, \quad (2)$$

где T_y - длительность цикла, с.

На электропривод накладываются ограничения:

$$-U_{\text{доп}} \leq U(t) \leq U_{\text{доп}}; \quad (3)$$

$$-I_{\text{доп}} \leq I_{я}(t) \leq I_{\text{доп}}; \quad (4)$$

$$-\omega_{\text{доп}} \leq \omega(t) \leq \omega_{\text{доп}}, \quad (5)$$

где $U_{\text{доп}}$ - максимально допустимое значение напряжения,
приложенного к якорной цепи электродвигателя, В;

$I_{\text{доп}}$ - максимально допустимое значение тока
якорной цепи электродвигателя, А;

$\omega_{доп}$ - максимально допустимое значение угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{рад}{с}$.

Начальные значения контролируемых координат электропривода:

$$\left. \begin{aligned} U(0) &= \frac{R_{я}}{C_{м}} \cdot M_{со}; \\ I_{я}(0) &= \frac{1}{C_{м}} \cdot M_{со}; \\ \omega(0) &= 0; \\ \varphi(0) &= \varphi_{нач}, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где $\varphi_{нач}$ - начальное значение угла поворота (перемещения) исполнительного органа электропривода, $рад$.

Конечные значения контролируемых координат электропривода:

$$\left. \begin{aligned} U(T_{ц}) &= \frac{R_{я}}{C_{м}} \cdot M_{со}; \\ I_{я}(T_{ц}) &= \frac{1}{C_{м}} \cdot M_{со}; \\ \omega(T_{ц}) &= 0; \\ \varphi(T_{ц}) &= \varphi_{кон}, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где $\varphi_{кон}$ - конечное значение угла поворота(перемещения) исполнительного органа электропривода механизма, $рад$.

Задача оптимального по быстродействию управления малыми перемещениями исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления формулируется следующим образом: определить диаграмму перемещения исполнительного органа электропривода, удовлетворяющую системе уравнений (1) и доставляющую минимум интегралу (2), при ограничении по напряжению (3), начальных значениях контролируемых координат электропривода (6) и конечных значениях контролируемых координат электропривода (7).

Так как система уравнений (1) имеет локальные ограничения, то в соответствии с принципом максимума академика Л.С. Понтрягина, управляющее воздействие представляет собой кусочно-постоянную функцию от времени, принимающую граничные значения.

Система уравнений (1) представима в виде:

$$\frac{L_{\text{я}}J}{C_e C_{\text{м}} + R_{\text{я}}K_c} \cdot \varphi^{(3)}(t) + \frac{R_{\text{я}}J + L_{\text{я}}K_c}{C_e C_{\text{м}} + R_{\text{я}}K_c} \cdot \varphi^{(2)}(t) + \varphi^{(1)}(t) = \frac{U_*}{C_e} - \frac{R_{\text{я}}M_{\text{со}^*}}{C_e C_{\text{м}}}, \quad (8)$$

$$U_* = U \cdot \frac{C_e C_{\text{м}}}{C_e C_{\text{м}} + R_{\text{я}}K_c};$$

где

$$M_{\text{со}^*} = M_{\text{со}} \cdot \frac{C_e C_{\text{м}}}{C_e C_{\text{м}} + R_{\text{я}}K_c}.$$

Характеристическое уравнение системы (1) имеет вид:

$$\frac{L_{\text{я}}J}{C_e C_{\text{м}} + R_{\text{я}}K_c} \cdot p^3 + \frac{R_{\text{я}}J + L_{\text{я}}K_c}{C_e C_{\text{м}} + R_{\text{я}}K_c} \cdot p^2 + p = 0. \quad (9)$$

Если выполняется условие

$$(R_{\text{я}}J - L_{\text{я}}K_c)^2 > 4L_{\text{я}}JC_e C_{\text{м}}, \quad (10)$$

то характеристическое уравнение системы имеет вид первый:

$$p \cdot (T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1) = 0, \quad (11)$$

где

$$T_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_{\text{я}}J + L_{\text{я}}K_c}{C_e C_m + R_{\text{я}}K_c} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{(R_{\text{я}}J - L_{\text{я}}K_c)^2 - 4L_{\text{я}}JC_e C_m}}{C_e C_m + R_{\text{я}}K_c};$$

$$T_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_{\text{я}}J + L_{\text{я}}K_c}{C_e C_m + R_{\text{я}}K_c} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{(R_{\text{я}}J - L_{\text{я}}K_c)^2 - 4L_{\text{я}}JC_e C_m}}{C_e C_m + R_{\text{я}}K_c}.$$

Если выполняется условие

$$(R_{\text{я}}J - L_{\text{я}}K_c)^2 = 4L_{\text{я}}JC_e C_m, \quad (12)$$

то характеристическое уравнение системы имеет вид второй:

$$p \cdot (Tp + 1)^2 = 0, \quad (13)$$

$$T = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_{\text{я}}J + L_{\text{я}}K_c}{C_e C_m + R_{\text{я}}K_c}.$$

где

Если выполняется условие

$$(R_{\text{я}}J - L_{\text{я}}K_c)^2 < 4L_{\text{я}}JC_e C_m, \quad (14)$$

то характеристическое уравнение системы имеет вид третий:

$$p \cdot (T^2 p^2 + 2Tp + 1) = 0, \quad (15)$$

$$T = \sqrt{\frac{L_{\text{я}}J}{C_e C_m + R_{\text{я}}K_c}};$$

где

$$\xi = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{R_{\text{я}}}{L_{\text{я}}} + \frac{K_c}{J} \right) \cdot \frac{R_{\text{я}}J + L_{\text{я}}K_c}{C_e C_m + R_{\text{я}}K_c}}.$$

Оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления состоит из трёх этапов. На первом и третьем этапах напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя, равно максимально допустимому значению $U_{доп}$; на втором этапе напряжение равно максимально допустимому значению со знаком «минус» $-U_{доп}$.

Для трёх видов оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления получены зависимости для определения длительностей этапов перемещений.

ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЕРЕНОСНЫХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ТИПА

В.И. Демин (к.т.н., доц.), А.В. Косолапов (к.т.н., доц.),
Д.В. Ломоносова (студент), Е.А. Чихачев (студент)
Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)

Электроприемники передвижных электроустановок (ПЭУ) могут получать питание от стационарных или передвижных автономных источников. Передвижные электростанции чаще всего имеют глухозаземленную нейтраль и напряжение 380/220 В, но встречаются и с изолированной нейтралью (сети 3х220 или 3х380 В).

Для сетей передвижных станций с глухозаземленной нейтралью применяются следующие защитные мероприятия:

- защитное зануление, иногда с повторным заземлением нулевого провода;
- защитное отключение и сочетание его с защитным занулением.

Сопротивление заземляющего устройства передвижной станции должно быть таким же, что и стационарной.

При питании электроприемников ПЭУ от автономных источников с изолированной нейтралью в соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) защитное заземление должно быть выполнено в сочетании с контролем сопротивления изоляции.

Заземляющие устройства ПЭУ должны выполняться с соблюдением требований либо к его сопротивлению растеканию, либо к напряжению прикосновения при однополюсном замыкании на корпус.

Причем, при выполнении заземляющего устройства с соблюдением требований к сопротивлению растеканию, его значение не должно превышать 25 Ом. При сооружении заземляющих устройств, как для электроустановок стационарных, так и ПЭУ в районах с большим удельным электрическим сопротивлением грунта и в мерзлых грунтах ПУЭ рекомендуют выполнение следующих мероприятий:

1. Устройство вертикальных заземлителей увеличенной длины, если с глубиной удельное электрическое сопротивление грунта снижается.

2. Устройство выносных заземлителей, если вблизи (до 20 м) от электроустановок есть места с меньшим удельным электрическим сопротивлением грунта.

3. Применение искусственной обработки грунта с целью снижения его удельного электрического сопротивления, если другие способы не могут быть применены или не дают необходимого эффекта.

4. Помещать заземлители в непромерзшие водоемы и талые зоны.

5. Создавать искусственно талые зоны.

Если перечисленные мероприятия не позволяют получить приемлемых величин сопротивления растеканию заземляющего устройства, допускается повышать его сопротивление растеканию до 250 Ом.

Для выполнения защитного заземления ПЭУ применяются стержневые заземлители, конструкция которых показана на рис. 1.

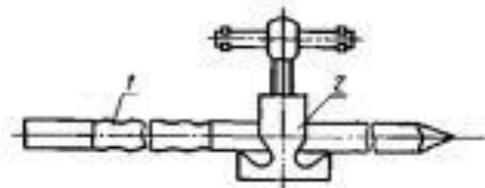


Рисунок 1 – Конструкция стержневого заземлителя для ПЭУ:
1 - стержень; 2 – зажим

Стержневой заземлитель представляет собой заостренный металлический стержень длиной 2 м и диаметром 15 мм. Для облегчения забивки стержня в грунт конец его заострен. На поверхности стержня имеются кольцеобразные выточки для закрепления замка. Для забивки стержней в грунт имеется специальное приспособление, которое состоит из замка 1 и молота 2 (рис. 2).

Замок своими разъемными частями накладывается на кольцеобразные выточки стержня и фиксируется поворотом рукоятки вниз. Стержень пропускается в отверстие молота и ударами молота по зажиму забивается в грунт.

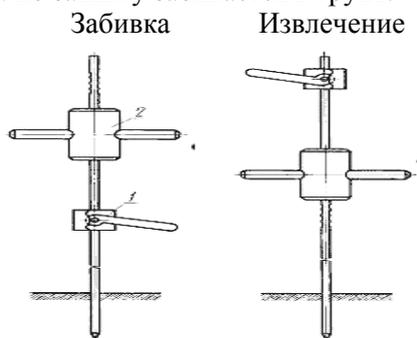


Рисунок 2 – Устройство для забивки стержня в грунт и извлечения стержня из грунта:
1 - замок; 2 – молот.

Для подсоединения проводов заземления к стержню необходимо надеть зажим 2 (рис. 1) для крепления провода на стержень, пропустить концы проводов заземления в прорези зажима и с помощью болта, имеющегося на зажиме, обеспечить надежный контакт проводов заземления со стержнем.

В [1] проведен анализ использования стержневых заземлителей в различных условиях эксплуатации и сделан вывод о том, что выполнение защитного заземления для ПЭУ во многих случаях вызывает определенные трудности, а в районах с большим удельным сопротивлением грунта даже невозможность его выполнения. Для решения задачи повышения эффективности защитного заземления для ПЭУ был проведен анализ условий работы заземлителя в грунте, который позволил характеризовать грунт как электролитическую гетерогенную систему, при взаимодействии с которой и осуществляется создание системы защитного заземления. Также подтверждено, что возможно достижение электролитического контакта заземляемого объекта с грунтом.

В [2] определена еще одна область применения ПЭУ, в частности, при геофизических исследованиях нефтяных и газовых скважин. Это подъемники каротажные, станции каротажные, лаборатории перфораторной станции. Они имеют в своем составе, как правило, автономный дизель-генератор и достаточно насыщенное электрооборудование. Основной защитной мерой от косвенного прикосновения в этих ПЭУ является защитное заземление, которое должно обеспечивать эффективную защиту в широком диапазоне почвенно-климатических условий при температуре от -45°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Применение в этих условиях стержневых заземлителей во многих случаях затруднительно, а иногда и невозможно.

Перспективным направлением обеспечения электробезопасности при эксплуатации ПЭУ в этих почвенно-климатических зонах является применение поверхностных переносных заземлителей электролитического типа (ППЗЭЛТ). Особенностью этих заземлителей является применение

электролита для обеспечения надежного электрического контакта заземляемого оборудования с грунтом. Для разработки оптимальной конструкции ППЗЭЛТ был проведен анализа конструктивных особенностей известных заземлителей электролитического типа [3-8].

На основании проведенного анализа сделаны следующие выводы:

1. Перспективным направлением обеспечения электробезопасности при эксплуатации ПЭУ в различных почвенно-климатических зонах является применение ППЗЭЛТ.

2. Необходимы дополнительные исследования экспериментальных образцов ППЗЭЛТ, которые должны быть направлены на:

- уменьшение времени готовности к применению;
- увеличение времени поддержания высокой проводимости грунта;
- увеличение времени использования без доливки электролита;
- увеличение устойчивости при механических воздействиях на заземлитель и заземляющие проводники;
- увеличение площади контакта с грунтом;
- создание возможности учета состояния грунта и уменьшения дополнительных затрат времени на подготовку заземлителя к применению;
- сокращение времени достижения заземлителем нормируемой величины сопротивления за счет принудительного пролива необходимого количества электролита из заземлителя непосредственно на поверхность грунта, минуя пористое дно;
- создание возможности контроля за необходимостью очистки пористой пробки дна заземлителя по изменению скорости истечения электролита;
- разработку способов эксплуатации таких заземлителей.

3. Исследованные конструкции заземлителей не отвечают в полной мере требованиям эффективности, простоты и удобства в эксплуатации.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований в [9] предложена конструкция ППЗЭЛТ (рис. 3).

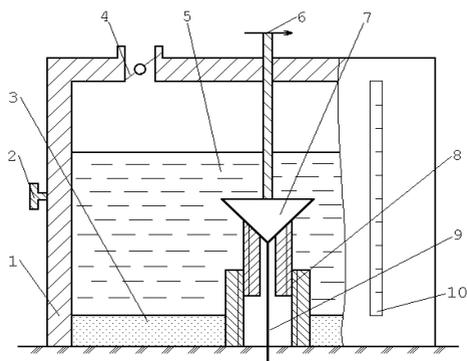


Рисунок 3 – Конструкция ППЗЭЛТ

ППЗЭЛТ содержит резервуар 1, корпус которого выполнен из электропроводящего материала, зажим 2 для подключения заземляемого объекта, расположенный на корпусе, пористую пробку 3, расположенную на дне для контакта с грунтом, приспособление дросселирования воздуха 4, устанавливаемое в отверстие в резервуаре для заливки электролита 5, указатель 6 положения клапана 7 узла принудительного пролива части электролита, устройство 8 регулирования клапана по высоте по отношению к нижней его части, шток 9, приспособленный к нижней части клапана и выступающий ниже кромки пористой пробки и смотровой щели с делениями 10 для визуальной фиксации изменения скорости истечения электролита в грунт.

Пористая пробка-дно ППЗЭЛТ изготавливается из пористого, проводящего электрический ток, проницаемого для электролита материала и стойкого к воздействию электролита. Таким требованиям в полной мере отвечают пористые сетчатые металлы из стали марки 12Х18Н10Т, из которой выполнена пористая пробка экспериментальных образцов ППЗЭЛТ.

Применение ППЗЭЛТ предложенной конструкции позволит учитывать влажность грунта, сократить время достижения заземлителем нормированного значения сопротивления растеканию, более рационально использовать электролит и увеличить длительность его эксплуатации за счет восстановления фильтрующих свойств пористой пробки дна резервуара.

В [10] приведен анализ экспериментальных исследований ППЗЭЛТ, который показал, что их применение позволит повысить эффективность эксплуатации ПЭУ, а соответственно электробезопасность, за счет сокращения в 3-4 раза трудозатрат на установку и снятие заземляющих устройств при сохранении требуемой величины их сопротивления растеканию электрического тока.

Таким образом, для определения оптимальной конструкции ППЗЭЛТ, применяемой в различных почвенно-климатических зонах для обеспечения электробезопасности ПЭУ, необходимо провести физическое и математическое моделирование процесса растекания электролита в грунте.

Литература

1. Демин В.И. О возможности достижения электролитического контакта заземляемого корпуса передвижной электроустановки с грунтом [Электронный ресурс] / В.И. Демин // Научные труды КубГТУ: электрон. сетевой политематич. журн. 2015. № 6. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/485>.
2. Демин В.И. Анализ конструктивных особенностей электролитических заземлителей / В.И. Демин, Л.А. Пашинян // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2015. – № 3. – С. 44-48.
3. А.с. 1343476 СССР, МКИ Н 01 R 4/66. Заземлитель / Р.А. Ляпунов, В.И. Демин, А.В. Варфоломеев (СССР). - № 4093186/24-07; заявл. 23.04.86; опубл. 07.10.87, Бюл. № 37. – 2 с.: ил.

4. А.с. 1390670 СССР, МКИ Н 01 R 4/66. Способ эксплуатации переносного заземлителя / Е.С. Есин, В.А. Петров, Н.Н. Сапига, Р.А. Ляпунов, В.И. Демин, А.С. Попов (СССР). - № 4096260; заявл. 05.08.86; опубл. 23.04.88. - 2 с.: ил.

5. А.с. 1429205 СССР, МКИ Н 01 R 4/66, Н 02 В 1/16. Способ эксплуатации переносного заземлителя / Р.А. Ляпунов, Е.С. Есин, В.И. Демин, А.В. Варфоломеев, О.М. Толощук, В.А. Петров, Н.Н. (СССР). - № 4206832; заявл. 09.03.87; опубл. 07.10.88, Бюл. № 37. - 2 с.: ил.

6. А.с. 1582230 СССР, МКИ Н 01 R 4/66. Поверхностный переносной электролитический заземлитель/Р.А. Ляпунов, А.В. Варфоломеев, В.И. Демин (СССР). - № 4375450/24-07; заявл. 30.06.87; опубл. 30.07.90, Бюл. № 28. - 2 с.: ил.

7. Пат. 2092944 РФ, МПК 6 Н 01 R 4/66. Поверхностный переносной электролитический заземлитель / Ляпунов Р.А., Демин В.И., Варфоломеев А.В.; заявитель и патентообладатель Кубанский гос. технол. ун-т. - № 96111700/07; заявл. 11.06.96; опубл. 10.10.97, Бюл. № 28. - 3 с.: ил.

8. Пат. 2096875 РФ, МПК 6 Н 01 R 4/66. Способ эксплуатации поверхностного переносного электролитического заземлителя / Демин В.И., Варфоломеев А.В., Ляпунов Р.А., Детьнченко О.В.; заявитель и патентообладатель Демин В.И. - № 95118542/07; заявл. 31.10.95; опубл. 20.11.97, Бюл. № 32. - 3 с.: ил.

9. Разработка конструкции поверхностного переносного заземлителя электролитического типа / В.И. Демин [и др] // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2016. – № 2. – С. 42-45.

10. Демин В.И. Анализ результатов экспериментальных исследований поверхностных переносных заземлителей электролитического типа [Электронный ресурс] / В.И. Демин, Л.А. Пашинян, Л.В. Лавриненко // Научные труды КубГТУ: электрон. сетевой политематич. журн. – 2016. – № 10. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1157>.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ И КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ, ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ НЕУРАВНОВЕШЕННОСТИ ТРЕХПРОВОДНОЙ ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПОЛНОЙ АСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ

А.Н. Плахотнюк (д.т.н., проф.), В.Е. Нечёсов (аспирант),
Б.О. Креминский (магистрант)

*Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

Способ измерения реактивной мощности в трёхпроводной трёхфазной системе, при полной асимметрии не содержащий методических погрешностей, рассмотрен в работе [1].

Известный способ измерения по схеме с «искусственной нейтралью» [2]. Предполагает наличие симметрии линейных и фазных напряжений при допускаемой асимметрии токов. Однако, согласно существующему отечественному стандарту (ГОСТ 32144-2013) допустимая асимметрия напряжений составляет 4% при наблюдаемой тенденции фактического увеличения асимметрии фазных напряжений в результате возрастания удельной мощности однофазных потребителей.

Для оценки методических погрешностей схемы с «искусственной нейтралью» были проведены моделирование и экспериментальные исследования для различных вариантов асимметрии фазных напряжений:

$$\underline{K}_{2U} = 4\%; -j4\%; -4\%; j4\%,$$

где \underline{K}_{2U} – комплексный коэффициент асимметрии.

$$\underline{K}_{2U} = \frac{U_{A(2)}}{U_{A(1)}} = 100\% \text{ по обратной последовательности.}$$

Конкретные исходные данные симметричного режима для моделирования влияния асимметрии следующие:

$$\overset{\square}{U}_{A(1)} = j100 \text{ В}, \quad \overset{\square}{U}_{B(1)} = \exp < j30^\circ > 100 \text{ В},$$

$$\overset{\square}{U}_{C(1)} = \exp < j30^\circ > 100 \text{ В}, \quad \overset{\square}{U}_{AB(1)} = \exp < j120^\circ > 100\sqrt{3} \text{ В},$$

$$\overset{\square}{U}_{BC(1)} = 100\sqrt{3} \text{ В}, \quad \overset{\square}{U}_{CA(1)} = \exp < -j120^\circ > 100\sqrt{3} \text{ В}.$$

При заданной неизменной асимметрии токов имеем:

$$\alpha = \angle \left(\overset{\square}{U}_{AB(1)}, \overset{\square}{I}_A \right) = 70^\circ, \quad \beta = \angle \left(\overset{\square}{U}_{CB}, \overset{\square}{I}_C \right) = 10^\circ,$$

$$I_A = 1 \text{ А}, \quad I_C = 3 \text{ А}.$$

Асимметрия токов составляет

$$\underline{K}_{2i} = 55,46 \cdot \exp < -j146^\circ > \%.$$

Для предложенного способа измерения $Q_{3\varphi}$ [1] получим

$$Q_{3\varphi} = \overset{\square}{U}_{AB} \overset{\square}{I}_A \sin \alpha + \overset{\square}{U}_{CB} \overset{\square}{I}_C \sin \beta = 252,98978 \text{ ВАр},$$

$$\overset{\square}{I}_A = 1 \exp < j50^\circ >; \quad \overset{\square}{I}_C = 3 \exp < j170^\circ > \text{ А},$$

и для схемы с «искусственной нейтралью;

$Q_{3\varphi(ИН)} = 252,98978 \text{ ВАр}$, т.е. наблюдается полное совпадение,

так как рассматривается исходный симметричный режим. При различных режимах асимметрии напряжений, погрешности измерений реактивной мощности представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Методические погрешности измерений

$Q_{3\varphi(ИН)}$ при неизменной асимметрии токов

$\underline{K}_{2U}, \%$	0	4	-j4	-4	j4
$\delta(Q_{3\varphi}), \%$	0	1,92	-10,24	-1,18	11,4

Как видно из табл. 1, наибольший разброс погрешностей наблюдается при $\underline{K}_{2U} = -j4\%$ и $\underline{K}_{2U} = j4\%$, а способ измерения $Q_{3\varphi(ИН)}$ неприемлем при асимметрии напряжений, где

$$\delta(Q_{3\varphi}) = \frac{Q_{3\varphi(ИН)} - Q_{3\varphi}}{Q_{3\varphi}} 100\%, \quad P_{3\varphi} = 570,96075 \text{ Вт}.$$

Рассмотрим вариант асимметрии $\underline{K}_{2U} = 4\%$ (по фазным напряжениям), определяя линейные напряжения

$$\underline{U}_{AB} = (-48\sqrt{3} + j156) = 176,77104 \cdot \exp < j118,05488^\circ > \text{В},$$

$$\underline{U}_{CB} = -\sqrt{3} \cdot 96 = 96 \cdot \sqrt{3} \cdot \exp < -j180^\circ > \text{В},$$

$$I_A = 3 \exp < j50^\circ > \text{А}, \quad I_C = 3 \exp < j170^\circ > \text{А}.$$

Реактивная мощность равна $Q_{3\phi} = 250,58364 \text{ ВАр}$.

Активная мощность равна $P_{3\phi} = 557,31485 \text{ Вт}$.

Рассмотрим вариант асимметрии $\underline{K}_{2U} = -j4\%$ (по фазным напряжениям), определяя линейные напряжения

$$\underline{U}_{AB} = \left[(6 - 50\sqrt{3}) + j(150 - 2\sqrt{3}) \right] =$$

$$= 167,24096 \cdot \exp < j118,81313^\circ > \text{В},$$

$$\underline{U}_{CB} = (-100\sqrt{3} - j4\sqrt{3}) =$$

$$= 173,34359 \cdot \exp < -j177,70939^\circ > \text{В}.$$

Реактивная мощность равна $Q_{3\phi} = 266,63554 \text{ ВАр}$.

Активная мощность равна $P_{3\phi} = 568,55462 \text{ Вт}$.

Рассмотрим вариант асимметрии $\underline{K}_{2U} = -4\%$ (по фазным напряжениям), определяя линейные напряжения

$$\underline{U}_{AB} = (-52\sqrt{3} + j144) \text{В} = 169,84699 \cdot \exp < j122,02445^\circ > \text{В},$$

$$\underline{U}_{CB} = -102\sqrt{3} \text{В} = 102\sqrt{3} \cdot \exp < j180^\circ > \text{В},$$

Реактивная мощность равна $Q_{3\phi} = 253,59131 \text{ ВАр}$.

Активная мощность равна $P_{3\phi} = 574,37222 \text{ Вт}$.

Рассмотрим вариант асимметрии $\underline{K}_{2U} = j4\%$ (по фазным напряжениям), определяя линейные напряжения

$$\underline{U}_{AB} = (-92,60254 + j153,4641) = 179,23856 \cdot \exp < j121,10741^\circ >$$

В,

$$U_{CB} = (-100\sqrt{3} + j4\sqrt{3}) = 173,34359 \cdot \exp < j177,70939^\circ > \text{В}$$

Реактивная мощность равна $Q_{3\phi} = 239,34388 \text{ВАр}$.

Активная мощность равна $P_{3\phi} = 573,36689 \text{Вт}$.

В соответствии с теоремой Ланжевена [1] о балансе реактивных мощностей в приёмниках и источниках электрической энергии сложной электрической системы при синусоидальных напряжениях и токах одной частоты формируются представление о «системном резонансе», который в частных случаях сводится к резонансу напряжений или токов в приёмниках энергии. При полной компенсации энергии, когда отсутствуют обменные энергетические процессы с источниками становится очевидной «многовариантность» способов компенсации реактивной мощности и необходимость выбора оптимальных вариантов, удовлетворяющих определённым критериям: минимум потерь в ЛЭП, минимум энергетической неуравновешенности: активной, реактивной, полной и др.

Рассмотрим различные варианты полной компенсации $Q_{3\phi}$ с активно-индуктивной нагрузкой при подключении ёмкостей между линейными проводами для варианта асимметрии $K_{2U} = j4\%$, (табл. 1) наиболее чувствительного к асимметрии.

1. Включение 3-х одинаковых ёмкостей треугольником.

Исходные данные: $Q_{3\phi} = 239,34388 \text{ВАр}$,

$P_{3\phi} = 573,36689 \text{Вт}$,

напряжения $U_{AB} = 179,2386 \text{В}$, $U_{BC} = 173,34359 \text{В}$,

$U_{CA} = 167,24096 \text{В}$,

токи до полной компенсации:

$I_A = 1 \text{А}$, $I_B = 2,6457513 \text{А}$, $I_C = 3 \text{А}$.

Удельные суммарные потери в ЛЭП составляют

$$\Delta P_{Л} = I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 = 1 + 7 + 9 = 17 \frac{\text{Вт}}{\text{Ом}}.$$

Линейные токи после полной компенсации:

$$I'_A = 0,75010924 \text{ А}, I'_B = 2,7985227 \text{ А}, I'_C = 2,58827 \text{ А},$$

и потери

$$\Delta P_{\text{Л}} = (I'_A)^2 + (I'_B)^2 + (I'_C)^2 = 15,093535 \frac{\text{Вт}}{\text{Ом}} < 17 \frac{\text{Вт}}{\text{Ом}}$$

(Снижение потерь на 27%)

Активная энергетическая неуравновешенность (АЭН) по нормированной мгновенной мощности:

$$P_{3\phi}(t) = \frac{573,3669 + 359,84465 \sin(2\omega t - 103,33355^\circ)}{573,3669} =$$

$$= 1 + 0,6277 \cdot \sin(2\omega t - 103,33355^\circ).$$

С активной пульсацией от асимметрии токов:

$$q_{P(3\phi)}^{2\omega} = \frac{359,84465}{573,3669} \cdot 100\% = 62,76\% - (\text{АЭН}).$$

2. Включение одной ёмкости C_{AC} :

$$Q_{3\phi} = 239,34388 \text{ ВАр}, U_{CA} = 167,24096 \text{ В},$$

$$I'_A = 1,578806 \text{ А}, I'_B = 2,6457514 \text{ А}, I'_C = 1,708828 \text{ А}.$$

Удельные суммарные потери в ЛЭП составляют

$$\Delta P_{\text{Л}} = (I'_A)^2 + (I'_B)^2 + (I'_C)^2 = 12,412926 \frac{\text{Вт}}{\text{Ом}} < 17 \frac{\text{Вт}}{\text{Ом}}.$$

(Снижение потерь на 27%)

Активная энергетическая неуравновешенность из мгновенной мощности:

$$P_{3\phi} = 1573,36691 + 247,37392 \cdot (2\omega t - 148,59997^\circ),$$

$$q_{P(3\phi)}^{2\omega} = \frac{247,37392}{573,36691} \cdot 100\% = 43,144087\% - (\text{АЭН})$$

Лучший вариант полной компенсации.

Литература

1. Анализ основных существующих методов измерения реактивной мощности (энергии) в трёхфазных системах и особенности измерения при полной асимметрии трёхпроводной

системы / А.Н. Плахотнюк [и др] // Технические и технологические системы (ТТС-15) : сб. матер. VII межд. науч. конф. Краснодар, 7-9 октября 2015г. / КубГТУ под общей ред. Б.Х. Гайтова – Краснодар, 2015. – С. 95-99.

2. Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов / Б.Я. Авдеев [и др] ; Под ред. Е.М. Душина 6-е издание, переработанное и дополненное Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1987. – 480 с.

АНАЛИЗ РЕЖИМА САМОЗАПУСКА ДЛЯ ПРИВОДА ЦИРКУЛЯЦИОННОГО НАСОСА ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

А.В. Косолапов (к.т.н., доц.), В.В. Крайнюков (магистрант)
*Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

В настоящее время надежности работы блоков атомных электростанций АЭС уделяется большое внимание. Двигатель ДАВДЗ -7100/2800-10000-6/8 АМ 05 предназначен для привода главного циркуляционного насоса энергетических установок АЭС и рассчитан на работу в закрытом необслуживаемом помещении с повышенной влажностью и температурой в условиях радиационной среды [1].

Определение параметров самозапуска двигателя при кратковременном перерыве питания предусматривает определение угла расхождения между вектором напряжения сети и вектором остаточной ЭДС в статоре во времени, а также значение остаточной ЭДС с учетом затухания магнитного потока в зазоре, создаваемого током в короткозамкнутой обмотке ротора [2].

Условия самозапуска рассматриваются в предположении, что перед перерывом питания двигатель работает в номинальном режиме, то есть ротор вращается с частотой близкой к синхронной, а частота и фаза основного напряжения сети не меняются к моменту его восстановления.

При перерыве питания ротор двигателя под действием момента сопротивления механизма начинает тормозиться в соответствии с уравнением движения

$$M_H = -J_M \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

где M_H – номинальный момент;

J_M – момент инерции ротора двигателя с маховиком и механизма;

ω – угловая частота вращения ротора.

На основании этого уравнения угловая частота вращения ротора определяется выражением

$$\omega = \omega_H - \frac{M_H}{J_M} t = \frac{d\alpha}{dt} \quad (2)$$

Угол расхождения между векторами напряжения сети и остаточной ЭДС, наводимой в обмотке статора полем ротора, в произвольный момент времени определяется выражением

$$\alpha = s \cdot \omega_0 \cdot t + 0,5(1-s)\omega_0 \frac{t^2}{T_M}, \quad (3)$$

где t – текущее время восстановления напряжения, с;

s – скольжение перед перерывом питания, о.е.;

ω_0 – угловая частота вращения ротора, рад/с;

T_M – механическая постоянная времени ротора, с

$$T_{\text{мхол}} = J_M \cdot \frac{\omega}{M_H} = 74556 \cdot \frac{104,070}{64580} = 120,147, \quad (4)$$

где $M_H = 64580$ Н·м – величина момента сопротивления механизма при номинальной частоте вращения для $2p=6$ в режиме «холодная вода» для насоса, определенная по экспериментальному графику зависимости момента сопротивления насоса от частоты вращения.

Полученное весьма большое значение механической постоянной времени при номинальном моменте для режима «горячая вода», обусловленное наличием маховика и более

низким моментом сопротивления, чем для режима «холодная вода», предопределяет замедленное нарастание угла расхождения при исчезновении напряжения сети.

При отключении двигателя с размыканием статорной цепи магнитный поток убывает с постоянной времени, обусловленной параметрами короткозамкнутой обмотки ротора

$$T_{20} = \frac{L_2'}{R_2}, \quad (5)$$

где L_2' – индуктивность роторной цепи с учетом взаимоиנדукции между фазами, Гн

$$L_2' = \frac{3}{2} \cdot L_m + L_{\sigma 2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{x_m'}{2\pi f} + \frac{x_2'}{2\pi f}, \quad (6)$$

где R_2' – активное сопротивление роторной цепи, Ом;

x_m' – индуктивное сопротивление цепи намагничивания, Ом;

x_2' – индуктивное сопротивление цепи ротора, Ом;

f – частота тока питающей сети, Гц.

С постоянной времени T_{20} убывает остаточная ЭДС в цепи статора по экспоненциальной зависимости

$$E = E_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_{20}}} \quad (7)$$

Результаты расчета значений угла расхождения между векторами напряжения сети и остаточной ЭДС, величин остаточной ЭДС и результирующего напряжения при $2p=6$ для фиксированных моментов времени в интервале от 0 до 2,1 с приведены в таблице 1.

Максимальное значение результирующего напряжения при режиме работы «холодная вода» будет наблюдаться в момент времени 1,96 с, как для напряжения сети $U_{\text{сети}} = 0,7U_n$, так и для $U_{\text{сети}} = U_n$, и составляет соответственно 1,229 U_n и 1,528 U_n . При режиме работы «горячая вода» значения результирующего напряжения ниже, так как угол расхождения увеличивается не так быстро, как при режиме «холодная вода».

При переключении питания на резервный источник угол расхождения между остаточной ЭДС и подключаемым напряжением резервного источника может быть любым. Для наиболее тяжелого случая, когда в момент включения угол расхождения будет иметь 180^0 , в момент времени от 1,0 до 1,5 секунд максимальное значение результирующего напряжения $U_{рез} = 1,727U_n$ ($U_{сети} = U_n$).

Таблица 1

режим «холодная вода»							
t, с	0,8	1,0	1,2	1,6	1,8	2,0	1,96
$E_{ост, о.е.}$	0,775	0,727	0,682	0,600	0,563	0,529	0,535
α , град	45,64	62,02	80,37	123,1	147,4	173,7	169,9
$U_{рез, о.е.}$ ($U_{сети}=0,7U_n$)	0,58	0,74	0,89	1,144	1,213	1,227	1,229
$U_{рез, о.е.}$ ($U_{сети}=1,0U_n$)	0,72	0,92	1,11	1,42	1,51	1,526	1,528
режим «горячая вода»							
t, с	0,8	1,0	1,2	1,6	1,8	2,0	2,43
$E_{ост, о.е.}$	0,775	0,727	0,682	0,600	0,563	0,529	0,535
α , град	31,88	43,36	56,25	86,23	103,3	121,8	169,9
$U_{рез, о.е.}$ ($U_{сети}=0,7U_n$)	0,41	0,53	0,65	0,89	0,99	1,08	1,153
$U_{рез, о.е.}$ ($U_{сети}=1,0U_n$)	0,53	0,69	0,84	1,13	1,26	1,36	1,452

Практическое значение значения $U_{рез}$ имеет место при расчетах переходного максимального момента, являющегося знакопеременным и действующего кратковременно, для дальнейшего расчета на прочность элементов двигателя.

При $U_{сети} = U_n$ и, соответственно, $U_{рез} = 1,528U_n$ переходной максимальный момент при самозапуске будет достигать значения 3,396 M_n .

При отключении питания двигателя начинается выбег, при котором за заданный интервал времени 1,5 секунды частота вращения ротора для $2p=6$ снизится до 950 об/мин в режиме «горячая вода» и до 931,5 об/мин в режиме «холодная вода», что соответствует скольжению $s=0,5$ и $0,7$. Наиболее тяжелые условия самозапуска наблюдаются при снижении напряжения питающей сети. В нашем случае, согласно технического задания на двигатель, напряжение сети при самозапуске может иметь значение от $0,7$ до $1,0 U_n$ для режима «холодная вода» и от $0,6$ до $1,0$ для режима «горячая вода» и наиболее тяжелый режим пуска будет наблюдаться при $U_{\text{сети}} = 0,7U_n$ для режима «холодная вода» и $U_{\text{сети}} = 0,6U_n$ для режима «горячая вода». Результаты расчета пускового момента при самозапуске для $2p=6$ приведены в таблице 2. При $2p=8$ частота вращения ротора для режима нагрузки «холодная вода» снизится до 710 об/мин, для режима нагрузки «горячая вода» до 727,5 об/мин. Расчет режимов самозапуска для полюсности $2p=8$ осуществляется аналогичным образом, как и для $2p=6$.

Для наглядности графики $M_{\text{пуск}}$ и $M_{\text{сопр}}$ в зависимости от частоты вращения представлены на рис.1 для режима нагрузки «холодная вода» и на рис.2 для режима нагрузки «горячая вода».

Для уверенного пуска двигателя необходимо иметь величину отношения $(M_{\text{пуск}} - M_{\text{сопр}}) / M_{\text{ном}}$ не ниже $0,1$.

Как видно из графиков $(M_{\text{пуск}} - M_{\text{сопр}}) / M_{\text{ном}}$ имеет значения выше минимально допустимого в точке восстановления напряжения.

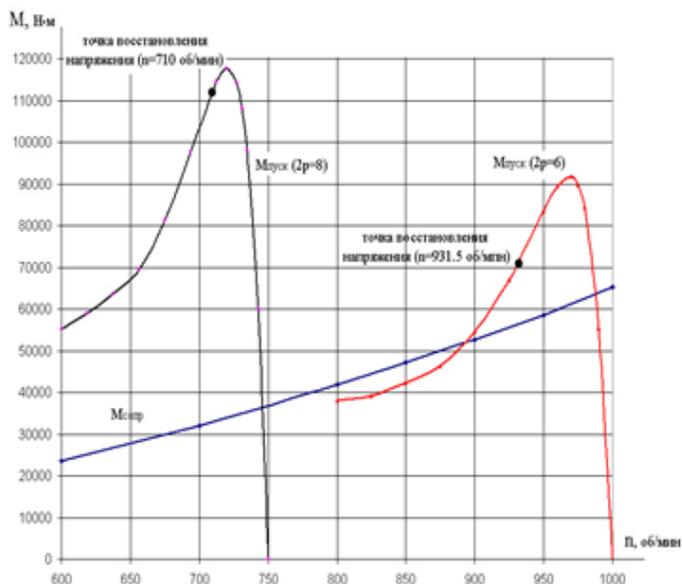


Рисунок 1 – Зависимость пускового момента двигателя при $U_{сети}=0,7U_n$ и момента сопротивления насоса от частоты вращения (режим нагрузки «холодная вода»)

Таблица 2

режим «холодная вода» $U_c=0,7U_n$							
S	о.е.	0,2	0,175	0,15	0,125	0,075	0,025
n	об/мин	800	825	850	875	925	975
$M_{пуск}$	о.е.	0,559	0,574	0,619	0,679	0,9867	1,317
$M_{пуск}$	Н·м	38177	39126	42269	46282	67057	89819
$M_{сопр}$	Н·м	41832	44870	47224	50043	55925	62135
режим «горячая вода» $U_c=0,6U_n$							
n	об/мин	800	825	850	875	925	975
$M_{пуск}$	о.е.	0,385	0,411	0,443	0,487	0,7074	0,966
$M_{пуск}$	Н·м	26281	28021	30251	33218	48252	65918
$M_{сопр}$	Н·м	29495	31367	33297	35285	39432	43893

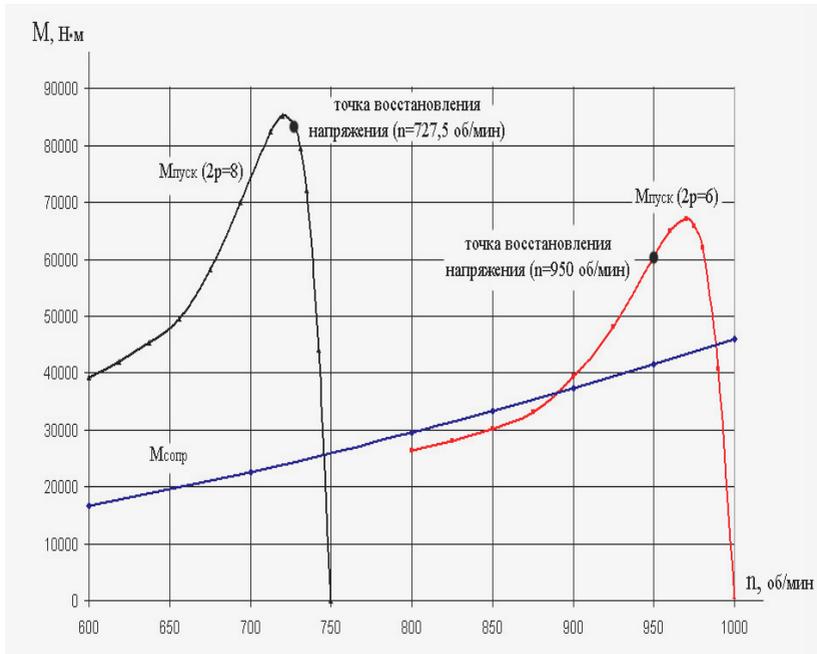


Рисунок 2 - Зависимость пускового момента двигателя при $U_{\text{сети}}=0,6U_n$ и момента сопротивления насоса от частоты вращения (режим нагрузки «горячая вода»).

Литература

1. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств: Справ. пособие / Г.Г.Рекус. – М. : Высш. шк., 2007. – 709 с.
2. Курбангалиев У.К. Самозапуск двигателей собственных нужд электростанций / У.К. Курбангалиев М. : Энергопрогресс, 2001. – 64 с.

СЕКЦИЯ 2.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-
УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННО-
АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ
АСУ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.В. Говоритель (к.т.н.), А.А. Пушина (к.т.н.)
*Научно-исследовательский институт информационных
технологий (г. Тверь, Россия)*

Учитывая, что приоритеты в разработке автоматизированных систем управления военного назначения (АСУ ВН) должны быть направлены на интеграцию в единую систему всех уровней управления и унификацию программно-технических средств, объединенных в комплексы средств автоматизации (КСА), а главным условием четкого взаимодействия КСА с внешними объектами является их техническая, информационная, лингвистическая и программная совместимость, мы считаем, что разработка АСУ ВН должна базироваться на совокупности организационно-технических мероприятий, направленных на повышение эффективности использования лучших практик, через призму информационно-логистической поддержки полного жизненного цикла АСУ ВН посредством применения CALS-технологии [1-3], это позволит реализовать процессный подход и интегрировать все имеющиеся ресурсы, а также сформировать единое электронное информационное пространство для всех участников, кто имел, имеет или будет иметь отношение ко всем этапам жизненного цикла АСУ ВН.

Однако, несмотря на достаточную высокую оснащенность всех участников ЖЦ средствами современной вычислительной техники и информационно-коммуникационными технологиями

для организации их взаимодействия, информационная поддержка существующей системы управления жизненным циклом АСУ ВН осуществляется в ручном режиме без применения технологии информационной поддержки полного жизненного цикла КСА и его элементов (CALS-технологии).

На наш взгляд, применение информационно-аналитической системы управления жизненным циклом АСУ ВН позволит снизить суммарные экономические затраты на основных этапах жизненного цикла АСУ ВН в части разработки, производства, эксплуатации, ремонта и модернизации КСА.

Данная система должна представлять собой совокупность взаимосвязанных подсистем, функционирование которых направлено на поддержание значений эксплуатационно-технических характеристик КСА из состава АСУ ВН на протяжении всего жизненного цикла.

Далее предложены основные подсистемы с перечнем реализуемых ими возможностей.

1. Подсистема управления требованиями должна обеспечивать:

- разработку требований к КСА и его свойствам на начальной стадии разработки и анализа взаимосвязей между требованиями;

- привязку требований к КСА и его элементам;
- текущее сопровождение и корректировку требований.

2. Подсистема управления проектами должна обеспечивать:

- разработку и формирование планов-графиков выполнения работ;

- планирование потребностей в ресурсах и их оптимизацию;

- отслеживание хода выполнения работ, сравнение текущего состояния работ и планируемого, а также расчета рисков невыполнения плана;

- отслеживание исполнения принятых решений и поставленных задач;

- привязку проектных задач (работ) к организационным, информационным и отчетным документам системы корпоративного электронного документооборота [4].

3. Подсистема управления процессами разработки должна обеспечивать:

- коллективную работу над КСА всех задействованных в проекте специалистов, от конструкторов до заказывающих органов МО РФ и их представителей;

- сквозное проектирование, с постоянной поддержкой ассоциативных связей, хранением истории и контролем изменений;

- управление данными с разграничением прав доступа, гарантией их целостности и уникальности в рамках единой информационной среды предприятия, а также их быстрого поиска и удобной навигации по большим объемам информации;

- организацию взаимодействия между соисполнителями кооперации разработчика и заказчиком, с обеспечением наглядности процессов взаимодействия, как между подразделениями предприятия, так и сторонними соисполнителями работ, в рамках разграничения доступа в едином информационном пространстве разрабатываемого КСА.

4. Подсистема управления данными о составе КСА должна обеспечивать:

- формирование полного представления о составе каждого КСА с учетом его изменений, когда необходимо учитывать такие факторы, как дата ввода/аннулирования изменения, для каких конечных образцов действует данное изменение;

- формирование предложений по проведению необходимых доработок в рамках мероприятий по авторскому и техническому обслуживанию конкретных КСА.

5. Подсистема управления соответствия нормативно-техническими документами должна обеспечивать:

- фиксацию и документирование нормативных требований;
- интеграцию этих требований в принятые на предприятиях процессы разработки КСА;
- отслеживание соответствия этих требований на всех этапах жизненного цикла КСА.

6. Подсистема управления разработкой эксплуатационной документацией и учебно-методических материалов должна обеспечивать:

- формирование интерактивных инструкций по эксплуатации и ремонту;
- формирование руководств пользователя, различных описаний и прочей комплексной документации, требующей коллективной, параллельной разработки и частичного изменения;
- настройку соответствия требованиям действующих стандартов и простоту внесения изменений в окончательный документ;
- повторное использование фрагментов ранее разработанных документов;
- декомпозицию и сборку необходимого документа из различных элементов информационной модели разрабатываемого КСА;
- синхронизацию данных между элементами информационной модели разрабатываемого КСА и исходными данными;
- разработку и управление шаблонами и таблицами стилей.

7. Подсистема управления взаимоотношениями с кооперацией соисполнителей должна обеспечивать:

- сбор и анализ основных показателей деятельности соисполнителей разработчика и изготовителя КСА;
- консолидацию и обработку данных о договорной работе;
- организацию и координацию совместной работы с поставщиками и соисполнителями работ.

8. Подсистема управления процессами технологической подготовки производства должна обеспечивать:

- разработку всех технологических процессов при подготовке и освоении производства;
- разработку дополнительных программно-технических средств диагностики КСА и технологической оснастки;
- отладку запроецированной технологии и изготовленного программного и технологического оснащения.

9. Подсистема управления расчётными данными должна обеспечивать:

- моделирование эксплуатационных характеристик КСА от стадии проектирования до изготовления опытного образца (физического прототипа);
- интеграцию данных по результатам применения различных математических моделей и систем инженерного анализа.

10. Подсистема авторского и технического обслуживания должна обеспечивать:

- сбор и анализ разработчиком предложений по улучшению качественных характеристик изделия по находящимся в эксплуатации КСА;
- управление данными о техническом обслуживании, регламентных работах и ремонте;
- управление корпоративными знаниями для различных КСА и конструкторской документацией к ним;
- планирование и оптимизацию необходимых регламентных работ и технического обслуживания;
- планирование и проведение доработок КСА по бюллетеням.

Учитывая, что АСУ ВН являются территориально распределёнными и построены с учетом принципов иерархии, интеграция представленных подсистем в единую информационно-аналитическую систему управления жизненным циклом АСУ ВН позволит существенно повысить оперативность и качество принимаемых управленческих

решений всеми участниками жизненного цикла системы и её элементов, осуществляющих разработку, изготовление, эксплуатацию и ремонт.

Литература

1. Лясковский В.Л. Системотехнические основы автоматизации процессов обработки информации и управления в иерархических системах военного назначения / В.Л. Лясковский – Тверь: ВА ВКО, 2014. – 244 с.

2. Гороп Д.Н. Teamcenter. Начало работы / Д.Н. Гороп, В.В. Терликов – М.: ДМК Пресс, 2011. – 280 с.

3. Гришаков В.Г. Управление модернизацией АСУ предприятием на основе информационной поддержки ее жизненного цикла / В.Г. Гришаков, И.В. Логинов, Д.В. Христенко // Информационно-управляющие системы. – 2012. – Е. 3, №58. – С. 84-90.

4. Говоритель В.В. Опыт автоматизации управления проектами в ОАО «НИИИТ» с использованием системы электронного документооборота / В.В. Говоритель // Информационные технологии на службе оборонно-промышленного комплекса России : сб. док. III конф. Саров. / ВПК при Правительстве РФ – Саров, 2014. – С. 92-93.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВЫЯВЛЕНИЮ И ОПИСАНИЮ ЗАДАЧ И ФУНКЦИЙ УПРАВЛЕНИЯ, РЕАЛИЗУЕМЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ХОДЕ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

О.Д. Мирошниченко (к.в.н., доц.), И.Б. Бреслер (к.в.н., доц.)
АО «НИИИТ», (г. Тверь, Россия)

В настоящее время, в условиях, с одной стороны, ускоряющегося прогресса в области развития автоматизированных систем (АС) различного, в том числе и специального, назначения, а с другой – ресурсных ограничений, остро стоит вопрос об оптимизации облика / направлении развития, как в процессе модернизации, так и при создании

новых элементов многоуровневых информационно-управляющих систем (МИУС) [1,2].

Однако реалии таковы, что автоматизированные системы, а особенно МИУС специального назначения (СН), зачастую создаются, исходя из понимания военного дела работниками промышленности (читай – ИТ-специалистами). И этому есть объективная причина: «Даже самый великий учёный, если он практически не командовал танковым взводом, не сможет качественно описать задачи, решаемые этим взводом, функционал командира взвода и его подчинённых при решении этих задач. А без этого невозможно создание полноценной АСУ танкового взвода» [3]. Заказчики, в свою очередь, также не всегда могут грамотно и всесторонне поставить разработчикам задачу, так как не вполне представляют себе особенности, возможности и задачи автоматизации (для чего нужна АСУ и как ею пользоваться). Такая ситуация приводит к тому, что функционал, закладываемый в автоматизированные рабочие места (АРМ) созданной АС, «на местах» используется, по большей части, весьма ограниченно, если он вообще используется.

На рис. 1 представлена графическая интерпретация ситуации, когда, в зависимости от восприятия АСУ СН участниками её создания, мы получим соответствующий результат.

В целях выработки единообразного подхода в понимании сути АСУ и к содержанию автоматизированного управления при взаимодействии промышленности, заказчика и его представителей предлагается следующий методологический подход к выявлению и описанию задач и функций, реализуемых в АС СН.

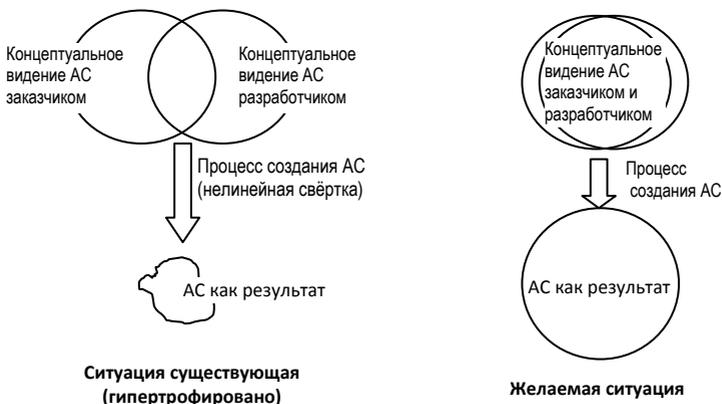


Рисунок 1 – Результат работ по созданию АС в зависимости от степени общности взглядов разработчика и заказчика

В настоящее время существует достаточное множество определений автоматизированной системы. В качестве исходного определения предлагается определение ГОСТ 34.003-90, в соответствии с которым: автоматизированная система (АС) – это «система, состоящая из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, реализующая информационную технологию выполнения установленных функций».

Приведённое определение достаточно универсально, но в тоже время позволяет вычлнить следующие ключевые (основные, определяющие) моменты:

есть некий «персонал», осуществляющий определённую (целенаправленную) деятельность;

есть средства автоматизации этой деятельности;

совместно они реализуют информационную технологию этой деятельности.

Использовать данное определение в качестве исходного, «опорного» является **первым положением** предлагаемого методологического подхода.

Согласно этого же ГОСТ, информационная технология – это «приёмы, способы и методы применения средств вычислительной техники при выполнении функций сбора, хранения, обработки, передачи и использования данных». Согласно [4] информационные технологии – процессы, методы поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления, распространения информации и способы осуществления таких процессов и методов. Кроме того, существует определение из области менеджмента качества, согласно которому, информационные технологии – это «Ресурсы, необходимые для получения, обработки, хранения и распространения информации...» (ISO/IEC 38500:2008).

В [5] дано интегральное определение понятия «Управление» на основе сопоставления и анализа более чем 20-ти определений: «Управление – это осознанное целенаправленное воздействие на управляемую систему для приведения её в состояние, необходимое управляющему субъекту».

Одно из основных положений кибернетики состоит в том, что управление – это процесс переработки информации.

Обобщая вышесказанное, **вторым положением** предлагаемого методологического подхода является то, что к управлению, как к процессу в АСУ СН применимо следующее определение:

Управление в АСУ СН – это процесс переработки информации о состоянии объекта управления и окружающей среде в управляющее воздействие.

В формализованном виде:

$$y=K(x),$$

где y – управляющее воздействие на объект управления (выход СУ); $K(\cdot)$ – оператор преобразования (набор всех необходимых функций (и действий) СУ); x – информация о состоянии объекта управления и окружающей среде. Они все носят векторный характер.

Очевидно, что описать оператор преобразования $K(\cdot)$, содержащий в общем случае как формализуемые, так и не формализуемые зависимости, и более того, способный меняться сам (как размерно, так и функционально) в зависимости от складывающейся обстановки, в виде строгой формульной, и тем более математической, зависимости не представляется возможным. Однако, при создании АСУ СН, как на этапе задания ТЗ, так и в ходе ОКР, входящие в $K(\cdot)$ параметры и зависимости, с теми или иными точностью, достоверностью/неопределённостью (и которые должны улучшаться и достигать необходимых значений/характеристик), необходимо учитывать.

Анализ показал, что для того чтобы получить оператор $K(\cdot)$ (сначала в описательном виде, затем детализировать функции, методы и технологии), целесообразно прибегать к наработкам, полученным на основе теории Бойда (рис. 2).

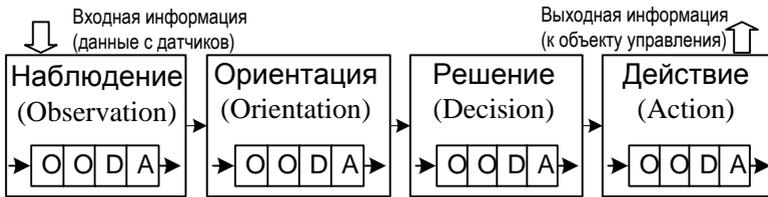


Рисунок 2 – Цикл Бойда OODA (НОРД) и его декомпозиция

В работах [6,7] достаточно подробно описаны ключевые моменты теории, на которые следует обращать внимание. Следует отметить, что в настоящее время имеется достаточное развитие теории управления в области противоборства (например, концепция «Критика-Исследование-Сравнение-Адаптация» (КИСА) [8] или «Поиск-Фиксация-Завершение-Исследование-Анализ-Рассеивание» (ПФЗИАР) – Find, Fix, Finish, Exploit, Analyze, and Disseminate (FZEAD) [9]). Однако большинство подходов в основе своей имеют теорию «цикла Бойда» и, по существу, являются развитием этой теории применительно к конкретным задачам и/или областям и условиям деятельности.

Таким образом, **третье положение** предлагаемого методологического подхода заключается в том, чтобы содержательно процесс управления представлять в виде петли НОРД.

Литература

1. Лясковский В.Л. К вопросу формализации задачи развития многоуровневых информационно-управляющих систем за счёт повышения степени автоматизации функциональных процессов в условиях ресурсных ограничений / В.Л. Лясковский, И.Б. Бреслер // Технические и технологические системы (ТТС-15) : сб. матер. VII межд. науч. конф. Краснодар, 7-9 октября 2015г. / КубГТУ под общей ред. Б.Х. Гайтова – Краснодар, 2015. – С. 165-169.

2. Лясковский В.Л. Системотехнические основы автоматизации процессов обработки информации и управления в иерархических системах военного назначения / В.Л. Лясковский – Тверь: ВА ВКО, 2014. – 244 с.

3. Системные проблемы внедрения ЕСУ ТЗ. URL: <http://nvo.ng.ru/>.

4. Федеральный закон от 27.07.2006 N 149-ФЗ (ред. от 13.07.2015) "Об информации, информационных технологиях и о защите информации".

5. Определения понятия «Управление». URL: <http://gigabaza.ru/doc/50123.html>.

6. Ивлев А.А. Основы теории Джона Бойда. Направления развития, применения и реализации (Монография). / М., 2008., URL: http://old.vko.ru/pdf/2008/library/08_05_23_02.pdf

7. Леонид Черняк. Петля Бойда и кибернетика второго порядка. «Открытые системы», № 07, 2013. URL: <http://www.osp.ru/os/2013/07/13037357/#>

8. Bryant, D.J. Critique, Explore, Compare and Adapt (CE-CA): A New Model for Command Decisionmaking. Defence R&D Toronto Technical Report, DRDC, Toronto TR, 2003.

9. Faint, Charles and Harris, Michael. F3EAD: Ops/Intel Fusion “Feeds” The SOF Targeting Process // Small Wars Journal, January 31, 2012 URL: <http://smallwarsjournal.com/jrnl/art/f3ead-opsintel-fusion-%E2%80%9Cfeeds%E2%80%9D-the-sof-targeting-process>.

РАЗРАБОТКА ОБЩЕЙ ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНКИ И ВЫБОРА СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО РАЗВИТИЮ МНОГОУРОВНЕВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

В.Л. Лясковский*(д.т.н., проф.), И.Б. Бреслер**(к.в.н., доц.)

**Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана (г. Москва, Россия)*

***Научно-исследовательский институт информационных технологий
(г. Тверь, Россия)*

Задачи оценки и выбора системотехнических решений (СТР) по развитию многоуровневых информационно-управляющих систем (МИУС) являются достаточно сложными и трудно формализуемыми. Это связано с необходимостью при постановке задач подобного вида и разработке соответствующих методов их решения учитывать значительное количество показателей, параметров и факторов научно-технического, технологического, экономического и организационного типа.

Ниже будем рассматривать сущность оценки и выбора СТР для такого варианта формализации задачи развития МИУС при котором должно быть обеспечено повышение эффективности функционирования МИУС за счет обеспечения требуемой степени автоматизации реализуемых в системе функциональных подсистем (функциональных процессов и задач) в условиях ресурсных и технологических ограничений по разработке, проектированию, изготовлению комплексов средств автоматизации (КСА) и их пуско-наладке в органах управления (ОУ) из состава МИУС [1-3]. При этом, будем считать, что в процессе развития МИУС ряд функций и задач должен быть

обязательно реализован, а автоматизация других функций и задач имеет рекомендательный характер.

Приведем содержательную постановку задачи выбора СТР в интересах развития МИУС [2].

Для заданных **исходных данных** по:

- организационной структуре МИУС (типовая организационная структура МИУС может быть представлена как в [1,4]);

- техническим, стоимостным, временным и надежностным параметрам изготовления и функционирования существующих, разрабатываемых и перспективных КСА для оснащения ОУ из состава МИУС;

- требованиям к реализации функциональных подсистем (ФПс), функциональных процессов (ФП) и функциональных задач (ФЗ): в том числе, перечень обязательных к реализации и рекомендуемых ФПс, ФП и ФЗ, а также предельно-допустимые вероятностно-временные и надежностные характеристики (ВВНХ) их реализации в МИУС;

- организационным, производственным и экономическим параметрам организаций промышленности, которые могут выполнять работы по поддержанию в требуемой степени готовности существующих КСА, изготовлению и поставкам серийных КСА, а также разработке перспективных КСА для оснащения ОУ из состава МИУС;

- допустимым временным и стоимостным параметрам для заданного интервала прогноза по развитию МИУС;

- **необходимо** определить перечень и параметры соответствующих СТР, обеспечивающие на каждом плановом периоде развития МИУС максимизацию эффективности реализации ФПс, ФП, ФЗ, при обеспечении обязательной реализации ФП и ФЗ высшего приоритета, заданных предельно-допустимых ВВНХ реализации ФПс, ФП, ФЗ, в условиях заданных ограничений на временные и стоимостные параметры процесса развития МИУС.

Ряд общих подходов и элементы научно-методического аппарата оценки и выбора СТР по развитию МИУС приведен в [1,4,5]. Однако, предложенные в [1,4,5] отдельные методы и методики являются разрозненными и не связаны едиными параметрами по «входу» и «выходу».

Приведем общую процедуру и описание элементов научно-методического аппарата по подготовке исходных данных, оценке и выбору СТР по развитию МИУС.

Блок 1. Анализ тенденций развития внешних систем, организаций и структур на заданный горизонт прогноза.

Блок 2. Анализ требований по реализации процессов обработки информации и управления на заданный горизонт прогноза.

В результате выполнения блоков 1 и 2 должны быть сформированы:

- перечень необходимых для реализации в перспективной МИУС ФПс, ФП и ФЗ;
- перечень рекомендуемых в перспективной МИУС ФПс, ФП и ФЗ;
- требования к ВВНХ реализации ФПс, ФП и ФЗ.

Блок 3. Формирование перечня и основных параметров реализованных на рассматриваемый момент времени в МИУС ФПс, ФП и ФЗ.

В результате выполнения блока 3 должны быть сформированы:

- перечень реализованных в существующей МИУС ФПс, ФП и ФЗ;
- ВВНХ реализованных в существующей МИУС ФПс, ФП и ФЗ.

Блок 4. Формирование ФПс, ФП и ФЗ, заданных к реализации на рассматриваемых интервалах прогноза (в рамках выполняющихся научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке новых или модернизации существующих КСА на рассматриваемых интервалах прогноза).

Прогнозная оценка ВВНХ ФПс, ФП и ФЗ, заданных к реализации.

Блок 5. Сопоставительный анализ реализованных на рассматриваемый момент времени и требующих реализации (необходимых) ФПс, ФП и ФЗ, а также их ВВНХ. Выявление ФПс, ФП и ФЗ, требующих разработки (в том числе, разработки или модернизации существующих КСА).

Блок 6. Формирование допустимых вариантов СТР по развитию МИУС для которых обеспечивается реализация необходимых ФПс, ФП и ФЗ, а также их ВВНХ.

Варианты СТР по развитию МИУС для каждого планового этапа должны включать:

- решения по снятию с эксплуатации КСА, выработавших свой ресурс (или морально устаревших КСА), и замене их на новые;

- решения по изготовлению новых КСА для их поставки на органы и объекты из состава МИУС;

- решения по доработкам (модернизации) существующих КСА в интересах реализации в них автоматизируемых требуемых и (или) рекомендуемых ФПс, ФЗ и ФП);

- решения по разработке перспективных КСА с обоснованием организации функционирования КСА, перечня и параметров реализуемых ФПс, ФЗ и ФП, а также обеспечением требуемых сроков их создания, изготовления, поставки на объекты автоматизации и вводу в эксплуатацию;

- решения по порядку и последовательности оснащения органов и объектов из состава МИУС соответствующими КСА на плановых этапах ее развития.

Блок 7. Выбор наилучшего варианта СТР, обеспечивающего максимизацию эффективности реализации ФПс, ФП, ФЗ в МИУС, при обеспечении обязательной реализации ФП и ФЗ высшего приоритета, заданных предельно-допустимых ВВНХ реализации ФПс, ФП, ФЗ.

Литература

1. Лясковский В.Л. Системотехнические основы автоматизации процессов обработки информации и управления в иерархических системах военного назначения / В.Л. Лясковский. – Тверь: ВА ВКО, 2014. – 244 с.
2. Лясковский В.Л. К вопросу формализации задачи развития многоуровневых информационно-управляющих систем за счёт повышения степени автоматизации функциональных процессов в условиях ресурсных ограничений / В.Л. Лясковский, И.Б. Бреслер // Технические и технологические системы (ТТС-15) : сб. матер. VII межд. науч. конф. Краснодар, 7-9 октября 2015г. / КубГТУ под общей ред. Б.Х. Гайтова – Краснодар, 2015. – С. 165-169.
3. Вопросы создания интегрированных автоматизированных систем организационного управления / Лясковский В.Л. [и др.] // Инфокоммуникационные технологии. – 2007. – №2. – С. 62-65.
4. Лясковский В.Л. Методика обоснования плана оснащения средствами автоматизации органов управления территориально распределенных информационно-управляющих систем организационного типа / В.Л. Лясковский, И.Б. Бреслер // Электронные информационные системы. – 2016. – № 4 (11). – С. 19-30.
5. Методика выбора состава задач и комплексов средств автоматизации для многоуровневой системы управления РЭС / В.Л. Лясковский [и др.] // Радиотехника. – 2004. – №10. – С. 75-78.

ФОРМИРОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В ИНТЕРЕСАХ ВЫБОРА ВАРИАНТОВ МОДЕРНИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

С.В. Перепелица (к.т.н.)*, В.Л. Лясковский** (д.т.н., проф.),
Е.В. Титова*, И.С. Жихарев***

**Научно-исследовательский институт информационных технологий
(г. Тверь, Россия)*

***Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана (г. Москва, Россия)*

****Военная академия воздушно-космической обороны
им. Г.К. Жукова (г. Тверь, Россия)*

Сложная иерархическая автоматизированная система управления (АСУ), как правило, представляет собой многоуровневую сеть взаимосвязанных пунктов и органов управления (далее – объектов автоматизации), оснащенными комплексами средств автоматизации (КСА) различного исполнения и базирования, предназначенную для автоматизации процессов управления. [1-4]

Система поддержки принятия решения (СППР) должна обеспечить эффективное управление выделенным бюджетом на модернизацию АСУ в каждый отчетный период.

Для обеспечения принятия эффективного решения по выбору вариантов модернизации сложной иерархической АСУ имеет большое значение качественное формирование всех необходимых исходных данных для СППР.

Систему исходных данных для построения СППР целесообразно разбить на следующие группы:

- об объектах автоматизации, в том числе об их функциях;
- о разрабатываемых, серийных и действующих КСА;
- о предприятиях-разработчиках и предприятиях-изготовителях средств автоматизации.

В каждой группе исходные данные классифицируются на данные, несущие информативный и функциональный характер.

Каждый объект автоматизации может характеризоваться следующими основными параметрами:

- уровень иерархии в общей АСУ;
- признак подчиненности объекту высшего уровня;
- тип объекта автоматизации;
- дислокация;
- функции, подлежащие автоматизации;
- признак наличия средств приема-передачи данных, необходимой для нормального взаимодействия КСА как на одном объекте, так и на взаимодействующих объектах автоматизации;
- пропускная способность каналов связи;
- признак наличия КСА;
- дата ввода КСА в эксплуатацию (если есть признак наличия КСА);
- специализированные параметры (например, признак территориальной размещенности объекта автоматизации).

Уровень иерархии в общей АСУ и признак подчиненности объекту высшего уровня показывают точное место объекта автоматизации в АСУ. Тип объекта автоматизации, дислокация и признак территориальной размещенности объекта автоматизации несут информативный характер, и могут быть использованы для визуализации разрабатываемой СППР.

Основным параметром объектов автоматизации является перечень функций, на автоматизацию которых выделяется бюджет. Функции, реализуемые должностными лицами объектов автоматизации, как правило, регламентируются нормативными и организационными документами.

Функции объектов автоматизации целесообразно объединять в функциональные процессы согласно их целевому назначению, а процессы в функциональные подсистемы, образуя, таким образом, стволы управления по всем уровням иерархии АСУ. Функциональные подсистемы, процессы и

задачи должны иметь такую характеристику, как показатель степени важности, характеризующий их значимость в системе в целом. Ранжирование функций, процессов и подсистем по степени важности дает возможность определения приоритетной автоматизации, а также оснащения КСА наиболее важных объектов автоматизации.

Наличие средств приема-передачи данных необходимой для нормального взаимодействия КСА как на одном объекте, так и на взаимодействующих объектах автоматизации и значение показателя пропускной способности каналов связи указывают на возможность работы КСА в централизованном или децентрализованном режимах, а также на необходимость модернизации средств приема-передачи данных или каналов связи.

Группа исходных данных об объектах автоматизации является основополагающей для построения системы поддержки принятия решения в интересах выбора вариантов модернизации сложной иерархической АСУ.

Группа исходных данных о разрабатываемых, серийных и действующих КСА должна включать в себя все необходимые параметры, позволяющие оценить КСА по стоимостным и временным показателям, а также по показателю эффективности, отражающему реализованность функций объектов автоматизации в КСА.

К таким показателям могут относиться, например:

- наименование;
 - тип объекта автоматизации, для которого реализован КСА;
 - стадия (этап) жизненного цикла;
 - стоимости разработки /изготовления /утилизации /обслуживания КСА;
 - сроки разработки /изготовления /утилизации КСА;
 - признак возможности доработки (модернизации) КСА;
 - функции объекта автоматизации, реализованные в КСА
- и др.

Наиболее важными из перечисленных показателей являются стоимостные и временные параметры КСА. По стоимости и сроку разработки /изготовления /утилизации /обслуживания КСА возможно выбрать предприятие - разработчика или предприятие-изготовителя, в случае ликвидации или реорганизации этих предприятий необходимо учитывать признак возможной доработки (модернизации) КСА.

Соответственно, группа исходных данных о разрабатываемых, серийных и действующих КСА необходима для решения задачи эффективного выбора КСА для объектов автоматизации АСУ.

Группа исходных данных о предприятиях-разработчиках и предприятиях-изготовителях КСА отражает их производственные мощности, сроки и стоимости разработки/изготовления КСА, что позволит получить возможность решить задачу обоснованного выбора между этими предприятиями с целью разработки/изготовления КСА.

Сформировав систему исходных данных, появляются возможности оценки степени автоматизации объектов АСУ, ее стоимости и сроков, а также определения целесообразности разработки/изготовления КСА или автоматизации отдельных функций объектов автоматизации согласно их важности в каждый отчетный период.

Литература

1. Ляковский В.Л. Системотехнические основы автоматизации процессов обработки информации и управления в иерархических системах военного назначения / В.Л. Ляковский. – Тверь: ВА ВКО, 2014. – 244 с.

2. Ляковский В.Л. К вопросу формализации задачи развития многоуровневых информационно-управляющих систем за счёт повышения степени автоматизации функциональных процессов в условиях ресурсных ограничений / В.Л. Ляковский, И.Б. Бреслер // Технические и технологические системы (ТТС-15) : сб. матер. VII межд. науч.

конф. Краснодар, 7-9 октября 2015г. / КубГТУ под общей ред. Б.Х. Гайтова – Краснодар, 2015. – С. 165-169.

3. Вопросы создания интегрированных автоматизированных систем организационного управления / Ляковский В.Л. [и др.] // Инфокоммуникационные технологии. – 2007. – №2. – С. 62-65.

4. Ляковский В.Л. Методика обоснования плана оснащения средствами автоматизации органов управления территориально распределенных информационно-управляющих систем организационного типа / В.Л. Ляковский, И.Б. Бреслер // Электронные информационные системы. – 2016. – № 4 (11). – С. 19-30.

СТРУКТУРИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕГРИРОВАННЫХ УЗЛОВ СВЯЗИ В ИНТЕРЕСАХ ВЫБОРА СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО РАЗВИТИЮ МНОГОУРОВНЕВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

В.Л. Ляковский*(д.т.н., проф.), А.И. Бойко**

**Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана (г. Москва, Россия)*

***Концерн ВКО «Алмаз-Антей» (г. Москва, Россия)*

Общая структура типовой многоуровневой информационно-управляющих системы (МИУС) приведена в работах [1-3] и включает в свой состав:

подсистему обработки информации и управления, включающую, как правило, центр обработки информации и управления, а также пункты обработки информации и управления различных иерархических уровней;

телекоммуникационную подсистему, включающую, как структурные элементы – узлы и линии связи различного назначения, так и функциональные элементы – транспортную сеть связи, сети связи доступа, объектовые сети связи, систему оперативно-технического обеспечения эксплуатации, систему информационной безопасности и систему управления связью;

подсистему внешних объектов, включающую как источники, так и потребители информации.

В [1,2,4,5] приводятся задачи выбора системотехнических решений (СТР) по обоснованию вариантов развития МИУС, в [3] приводится задача обоснования СТР по обоснованию плана оснащения средствами автоматизации пунктов и органов управления из состава МИУС, а также соответствующие научно-методические аппараты решения указанных задач. При этом, предполагается, что оборудование подсистемы передачи информации является неизменным (заранее выбранным) для которого выполняются необходимые требования по реализации межуровневых функциональных процессов.

Однако выбор оборудования подсистемы передачи информации является одним из важных СТР по обоснованию вариантов развития МИУС (по обоснованию плана оснащения телекоммуникационным оборудованием соответствующих объектов из состава МИУС).

В интересах реализации функций телекоммуникационной подсистемы МИУС центр обработки информации и управления, а также пункты обработки информации и управления различных иерархических уровней должны включать в свой состав оборудование интегрированных узлов связи (ИУС). Выбор типов и технических характеристик оборудования ИУС существенно влияет на эффективность организации взаимодействия МИУС с внешними объектами и взаимодействующими системами, обеспечения необходимых вероятностно-временных характеристик (ВВХ) реализации межуровневых функциональных процессов, а также на эффективность функционирования МИУС в целом.

Ниже приведено информационное описание основного перечня и технических характеристик оборудования ИУС.

В общем случае оборудование ИУС может быть классифицировано по признаку основных стадий жизненного цикла систем на действующие, серийные и перспективные (разрабатываемые) образцы.

Для действующих и серийных образцов ИУС основными информационными параметрами являются:

состав оборудования ИУС (как правило, в состав оборудования ИУС входят комплексы и средства каналообразования, комплексы и средства обеспечения оперативно-командной (телефонной и громкоговорящей) связи, комплексы и средства передачи данных, средства телеграфной связи, средства видеоконференцсвязи и документального обмена (электронной почты), аппаратура обеспечения передачи конфиденциальных данных (аппаратура шифрования и криптозащиты передаваемых данных), средства автоматизированной системы управления связью);

дата ввода в эксплуатацию на соответствующий объект из состава МИУС (только для действующих образцов ИУС);

серийный номер (только для действующих образцов и изготовленных образцов ИУС);

назначенный срок службы;

признак возможности продления срока службы (модернизации) действующего образца ИУС, определяемый возможностью изготовления и поставки составных частей и комплектующих оборудования ИУС;

предприятие-разработчик оборудования ИУС;

предприятие-изготовитель оборудования ИУС;

стоимость среднегодового обслуживания оборудования МИУС;

надежностные характеристики оборудования ИУС (коэффициент готовности, средняя наработка на отказ / среднее время восстановления);

технические характеристики оборудования ИУС (количество организуемых направлений информационного обмена, принятые дисциплины организации обмена, ВВХ доведения информации различной степени важности (категорий срочности различных типов сообщений), параметры достоверности доставки сообщений для различных условий функционирования МИУС);

вариант исполнения оборудования ИУС (стационарный, мобильный (подвижный), перебазируемый);
группа исполнения оборудования ИУС в части устойчивости к внешним воздействующим факторам;
стоимость серийного образца оборудования ИУС;
сроки изготовления серийного образца оборудования ИУС.

Для перспективных образцов ИУС основными информационными параметрами являются:

сроки и стоимость выполнения работ по проектированию опытного образца ИУС;

прогнозируемые технико-экономические параметры освоения серийного производства и эксплуатации оборудования перспективного образца ИУС;

предполагаемый состав оборудования перспективного образца ИУС;

предприятие-разработчик оборудования МИУС (предприятие, которое выполняет соответствующую опытно-конструкторскую работу по проектированию ИУС);

предполагаемое предприятие-изготовитель оборудования МИУС;

прогнозируемые технические и эксплуатационные характеристики оборудования перспективного образца ИУС;

прогнозируемые экономические характеристики оборудования перспективного образца ИУС.

Основные из перечисленных характеристик и параметров являются заданными (в основном, для действующих и серийных образцов ИУС), либо могут быть рассчитаны на основе известных математических методов и моделей (для перспективных образцов ИУС).

Таким образом, использование при постановке задачи выбора СТР по обоснованию вариантов развития МИУС, задачи обоснования СТР по обоснованию плана оснащения средствами автоматизации и связи для пунктов и органов управления из состава МИУС приведенных в работе параметров и

характеристик обеспечит комплексный учет всех типов оборудования МИУС, что обеспечит повышение эффективности процессов ее развития.

Литература

1. Лясковский В.Л. Системотехнические основы автоматизации процессов обработки информации и управления в иерархических системах военного назначения / В.Л. Лясковский. – Тверь: ВА ВКО, 2014. – 244 с.

2. Лясковский В.Л. К вопросу формализации задачи развития многоуровневых информационно-управляющих систем за счёт повышения степени автоматизации функциональных процессов в условиях ресурсных ограничений / В.Л. Лясковский, И.Б. Бреслер // Технические и технологические системы (ТТС-15) : сб. матер. VII межд. науч. конф. Краснодар, 7-9 октября 2015г. / КубГТУ под общей ред. Б.Х. Гайтова – Краснодар, 2015. – С. 165-169.

3. Лясковский В.Л. Методика обоснования плана оснащения средствами автоматизации органов управления территориально распределенных информационно-управляющих систем организационного типа / В.Л. Лясковский, И.Б. Бреслер // Электронные информационные системы. – 2016. – № 4 (11). – С. 19-30.

4. Вопросы создания интегрированных автоматизированных систем организационного управления / Лясковский В.Л. [и др.] // Инфокоммуникационные технологии. – 2007. – №2. – С. 62-65.

5. Лясковский В.Л. Методологические основы создания (развития) и оснащения иерархических автоматизированных систем специального назначения / В.Л. Лясковский. – Тверь: ВА ВКО, 2010. – 284 с.

МОДЕЛЬ БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Н.Я. Половинчук (к.т.н., доц.), В.В. Животиков,
С.В. Иванов (к.т.н.)

Ростовский филиал МГТУ ГА (г. Ростов-на-Дону, Россия)

Для бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС), измерительный комплекс которой содержит три акселерометра, три датчика угловой скорости и баровысотометр получены уравнения вектора состояния и его наблюдателя, ориентированные на использование методов нелинейной фильтрации, обеспечивающих требуемую точность оценивания при произвольном пространственном маневре летательного аппарата.

Введение

Результаты, достигнутые в последние годы в области создания новых прецизионных датчиков (лазерных, динамически настраиваемых, твердотельных, волоконнооптических гироскопов и т. д.) и бортовых цифровых вычислительных комплексов, построенных на базе современных технологий спецвычислителей, делают приоритетным использование бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БНС) в системах управления летательных аппаратов (ЛА) различного назначения включая и высокоскоростные беспилотные ЛА [1].

Однако, отказ от традиционной гиростабилизированной платформы, предохраняющей акселерометры от влияния угловых и линейных вибраций, резко снижает помехоустойчивость навигационной системы ЛА, что приводит к необходимости применения в алгоритмах навигации методов стохастической фильтрации.

Существующие подходы к решению задачи фильтрации помех измерений чувствительных элементов предполагают линеаризацию уравнений состояния БНС, что увеличивает ошибки навигации ЛА и, как следствие, сокращает время его

автономного движения [2,6]. Таким образом, возникает необходимость в разработке нового подхода к решению задачи автономной навигации ЛА, позволяющего, с одной стороны, увеличить интервал его автономного движения, а, с другой, обеспечить на нем требуемую точность определения параметров движения ЛА. Рассмотрим далее один из возможных способов решения этой задачи.

Синтез вектора состояния автономной БИНС.

Для решения поставленной задачи оценивания вектора состояния ЛА предварительно запишем уравнения исследуемой автономной БИНС при самых общих предположениях о характере движения ЛА и погрешностях измерительного комплекса. Необходимо подчеркнуть, что при данном подходе обеспечивается требуемая точность оценки вектора состояния БИНС на длительном интервале времени автономного движения ЛА. Следуя [3], введем в рассмотрение следующие правые системы координат (СК):

- инерциальную (ИСК) I с началом в центре Земли,
- сопровождающую (ССК) $S OXYZ$, начало которой совпадает с центром масс ЛА, а плоскость OXY относительно оси Z не вращается,
- приборную (ПСК) $J Oxyz$, оси которой направлены по соответствующим осям чувствительности приборов, входящих в состав измерительного комплекса ЛА.

Считаем также, что в состав измерительного комплекса входят три акселерометра, оси измерения которых ортогональны и совпадают с соответствующими осями ПСК и баровысотомер, удовлетворяющий заданным требованиям по точности измерения в предполагаемом режиме функционирования объекта.

В качестве модели шумов измерений чувствительных элементов ИС примем белый гауссовский шум (БГШ). Такой подход не накладывает принципиальных ограничений на решение поставленной задачи, поскольку, при необходимости, путем расширения вектора состояния за счет введения

формирующих фильтров оказывается возможным получить из БГШ процесс с требуемым законом распределения.

Для синтеза вектора состояния БНС необходимо определить через его переменные текущую ориентацию ССК относительно ПСК. Для этого предварительно рассмотрим текущую ориентацию ПСК и ССК относительно ИСК.

Взаимная текущая ориентация трехгранника J относительно I описывается известной системой кинематических уравнений [4].

$$\lambda = \frac{1}{2} \Phi(\lambda) \omega, \quad (1)$$

$$\lambda_1(0) = \lambda_{1_0}, \lambda_2(0) = \lambda_{2_0}, \lambda_3(0) = \lambda_{3_0}, \lambda_4(0) = \lambda_{4_0},$$

где $\omega = [\omega_X \ \omega_Y \ \omega_Z]^T$ - проекции абсолютной угловой скорости ССК на ее оси равные

$$\omega_X = \omega_{X_0} - \Omega \cos \varphi \sin \chi,$$

$$\omega_Y = \omega_{Y_0} + \Omega \cos \varphi \cos \chi,$$

$$\omega_Z = \Omega \sin \varphi,$$

$\omega_{X_0}, \ \omega_{Y_0}$ - проекции угловой скорости ССК на ее оси, обусловленные движением ПО относительно Земли, $\lambda = [\lambda_1 \ \lambda_2 \ \lambda_3 \ \lambda_4]^T$ - вектор параметров Родрига-Гамильтона [4],

$$\Phi(\lambda) = \begin{bmatrix} -\lambda_2 & -\lambda_3 & -\lambda_4 \\ \lambda_1 & \lambda_4 & -\lambda_3 \\ -\lambda_4 & \lambda_1 & \lambda_2 \\ \lambda_3 & -\lambda_2 & \lambda_1 \end{bmatrix} - \text{кватернионная матрица, } \Omega -$$

скорость вращения Земли, φ - широта центра масс ЛА, которую можно выразить через параметры Родрига-Гамильтона следующим образом

$$\varphi = \arctg \frac{2(\lambda_1 \lambda_2 - \lambda_3 \lambda_4)}{1 - 2(\lambda_2^2 + \lambda_3^2)} + k\pi, \quad \chi = \arctg \frac{2(\lambda_1 \lambda_4 - \lambda_2 \lambda_3)}{1 - 2(\lambda_3^2 + \lambda_4^2)} + k\pi, \quad k = \overline{0, \infty}.$$

В свою очередь, текущая ориентация трехгранника ПСК относительно ИСК описывается вектором $\mu = [\mu_1 \ \mu_2 \ \mu_3 \ \mu_4]^T$, записанным в параметрах Родрига-Гамильтона:

$$\dot{\mu} = \frac{1}{2} \Phi(\mu) \omega_{\mathbf{J}}, \quad (2)$$

$$\mu_1(0) = \mu_{10}, \mu_2(0) = \mu_{20}, \mu_3(0) = \mu_{30}, \mu_4(0) = \mu_{40},$$

где $\Phi(\mu) = \begin{bmatrix} -\mu_2 & -\mu_3 & -\mu_4 \\ \mu_1 & \mu_4 & -\mu_3 \\ -\mu_4 & \mu_1 & \mu_2 \\ \mu_3 & -\mu_2 & \mu_1 \end{bmatrix}$ - кватернионная матрица,

$\omega_{\mathbf{J}} = [\omega_x \ \omega_y \ \omega_z]^T$ - вектор абсолютной угловой скорости вращения приборного трехгранника, который может быть получен по показаниям $\mathbf{z}_d = [z_x \ z_y \ z_z]^T$ датчиков угловой скорости (ДУС)

$$\omega_{\mathbf{J}} = \mathbf{Z}_d - \mathbf{W}_d, \quad (3)$$

где $\mathbf{w}_d = [w_x \ w_y \ w_z]^T$ - вектор аддитивных помех измерения ДУСов, который аппроксимируется БГШ с нулевым средним и матрицей интенсивности \mathbf{D}_d . С учетом (2) угловое движение БНС (1) может быть представлено в векторном виде

$$\dot{\mu} = \frac{1}{2} \Phi(\mu) (\mathbf{Z}_d - \mathbf{W}_d) \quad (4)$$

Для окончательного синтеза вектора состояния навигационной системы ЛА необходимо в замкнутой форме представить правую часть системы уравнений (1).

Будем учитывать, что проекции угловой скорости $\omega_{x_0}, \omega_{y_0}$ трехгранника S связаны с проекциями линейной скорости объекта V_x, V_y на соответствующие оси сопровождающей СК линейными соотношениями [5]

$$V_x = -\omega_{y_0} (r+h), V_y = \omega_{x_0} (r+h), \quad (5)$$

где r - радиус Земли, h - высота объекта над уровнем моря, которая может быть получена по показаниям Z_h баровысотомера

$$Z_h = h + W_h \quad (6)$$

Входящий в выражение (6) помеха измерения W_h описывается в общем случае стохастическим нелинейным дифференциальным уравнением не ниже 2-го порядка:

$$\begin{aligned} \dot{W}_{h_1} &= f_{h_0}(Z, W_{h_1}, W_{h_1}, t) + f_{h_1}(Z, W_{h_1}, W_{h_1}, t)\xi_{h_1}; \\ \dot{W}_{h_2} &= W_{h_2} = f_{h_2}(Z, W_{h_1}, W_{h_1}, t) + f_{h_3}(Z, W_{h_1}, W_{h_1}, t)\xi_{h_2}, \end{aligned} \quad (7)$$

где f_i , $i=0,3$ – известные нелинейные функции, определяемые типом прибора, $\xi_h = \begin{bmatrix} \xi_{h_1} \\ \xi_{h_2} \end{bmatrix}$ – нормальный белый гауссовский вектор-шум.

Для синтеза искомых выражений проекций V_X и V_Y обратимся к основному уравнению инерциальной навигации [5 стр.124]

$$\mathbf{a} = \dot{\mathbf{V}} + (2\Omega_3 + \omega_0) \times \mathbf{V} - \mathbf{g}, \quad (8)$$

где \mathbf{a} – ускорение, измеряемое акселерометрами в ССК, $\omega_0 = [\omega_{X_0} \ \omega_{Y_0} \ 0]^T$ – вектор угловой скорости ССК, обусловленные движением ПО относительно Земли, $\mathbf{v} = [V_X \ V_Y \ V_Z]^T$ – вектор скорости центра масс ЛА относительно Земли, $\Omega_3 = [-\Omega \cos \varphi \sin \chi \ \Omega \cos \varphi \cos \chi \ \Omega \sin \varphi]^T$ – вектор угловой скорости вращения Земли в ССК, $\mathbf{g} = \left[\Omega^2 (r+h) \cos \varphi \sin \varphi \sin \chi \quad -\Omega^2 (r+h) \cos \varphi \sin \varphi \cos \chi \quad \Omega^2 (r+h) \cos^2 \varphi + g_0 \right]^T$ – вектор ускорения силы тяжести, g_0 – гравитационное ускорение, в наиболее общем случае рассматриваемое как функция $g_0 = g(R, \varphi, h)$ высоты h и широты φ , аппроксимируемая конечным рядом Лежандра.

Стохастическое выражение для вектора ускорения \mathbf{a} может быть получено из выражения вектора выходных сигналов акселерометров $\mathbf{z}_a = [z_1 \ z_2 \ z_3]^T$ в следующем виде:

$$\mathbf{a} = \mathbf{C}^T (\mathbf{Z}_a - \mathbf{W}_a), \quad (9)$$

где $\mathbf{C}(\mu, \lambda) = \mathbf{D}(\mu) \cdot \mathbf{B}^T(\lambda)$ – матрица направляющих косинусов в параметрах Родрига-Гамильтона, определяющая ориентацию ПСК относительно ССК, $\mathbf{D}(\mu)$ – матрица поворота 2-го рода в параметрах Родрига-Гамильтона [4], определяющая ориентацию ПСК относительно ИСК

$$\mathbf{D}(\mu) = \begin{bmatrix} 1 - 2(\mu_2^2 + \mu_3^2) & 2(\mu_1\mu_2 + \mu_0\mu_3) & 2(\mu_1\mu_3 - \mu_0\mu_2) \\ 2(\mu_1\mu_2 - \mu_0\mu_3) & 1 - 2(\mu_1^2 + \mu_3^2) & 2(\mu_2\mu_3 + \mu_0\mu_1) \\ 2(\mu_1\mu_3 + \mu_0\mu_2) & 2(\mu_2\mu_3 - \mu_0\mu_1) & 1 - 2(\mu_1^2 + \mu_2^2) \end{bmatrix},$$

$\mathbf{V}=\mathbf{D}(\lambda)$ - матрица 2-го рода в параметрах Родрига-Гамильтона, определяющая ориентацию ССК относительно ИСК, $\mathbf{w}_a = [w_1 \ w_2 \ w_3]^T$ - вектор помех акселерометров, который в общем случае может быть описан БГШ с нулевым математическим ожиданием и известной матрицей интенсивностей \mathbf{D}_a .

Из первого и второго уравнений системы (8) с учетом (6,7 и 9) получим стохастические выражения для проекций V_X и V_Y

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_X \\ \dot{V}_Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \end{bmatrix} (\mathbf{Z}_a - \mathbf{W}_a) + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \left\{ (2\Omega_3 + \omega_0) \times \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ \dot{Z}_h - f_{h_0} - f_{h_1} \xi_{h_1} \end{bmatrix} \right\} + \begin{bmatrix} 0 \\ -\Omega^2 (r+h) \cos \varphi \sin \varphi \cos \chi \end{bmatrix} \quad (10)$$

Объединяя в единую систему уравнения (3,4,7 и 8), в окончательном виде получим вектор состояния исследуемой БНС:

$$\dot{\lambda} = \frac{1}{2} \Phi(\lambda) \left\{ (r + Z_h - W_h)^{-1} \begin{bmatrix} -V_Y \\ V_X \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\Omega \cos \varphi \sin \chi \\ \Omega \cos \varphi \cos \chi \\ \Omega \sin \varphi \end{bmatrix} \right\},$$

$$\dot{\mu} = \frac{1}{2} \Phi(\mu) (\mathbf{Z}_d - \mathbf{W}_d),$$

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_X \\ \dot{V}_Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \end{bmatrix} (\mathbf{Z}_a - \mathbf{W}_a) + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \left\{ (2\Omega_3 + \omega_0) \times \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ \dot{Z}_h - f_{h_0} - f_{h_1} \xi_{h_1} \end{bmatrix} \right\} + \begin{bmatrix} 0 \\ -\Omega^2 (r+h) \cos \varphi \sin \varphi \cos \chi \end{bmatrix},$$

$$\dot{W}_{h_1} = f_{h_0} (Z_h, W_h, W_{h_1}, t) + f_{h_1} (Z_h, W_h, W_{h_1}, t) \xi_{h_1},$$

$$\dot{W}_h = f_{h_2} (Z_h, W_h, W_{h_1}, t) + f_{h_3} (Z_h, W_h, W_{h_1}, t) \xi_{h_2}.$$

Или в каноническом виде

$$\dot{\mathbf{Y}} = \mathbf{F}(\mathbf{Y}, \mathbf{t}) + \mathbf{F}_0(\mathbf{Y}, \mathbf{t}) \zeta,$$

где $\mathbf{Y} = [\lambda \quad \mu \quad V_X \quad V_Y \quad W_{h_1} \quad W_{h_2}]^T$ - вектор состояния навигационной системы ЛА $\dim(\mathbf{Y}) = 12 \times 1$, $\zeta = [\mathbf{w}_d \quad \mathbf{w}_a \quad \xi_{h_1} \quad \xi_{h_2}]^T$ - вектор помех измерения $\dim(\zeta) = 8 \times 1$,

$$\mathbf{F}(\mathbf{Y}, t) = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \Phi(\lambda) \left\{ (r + Z_h - W_h)^{-1} \begin{bmatrix} -V_Y \\ V_X \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\Omega \cos \varphi \sin \chi \\ \Omega \cos \varphi \cos \chi \\ \Omega \sin \varphi \end{bmatrix} \right\} \\ \frac{1}{2} \Phi(\mu) \mathbf{Z}_d \\ \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \end{bmatrix} (\mathbf{Z}_a - \mathbf{W}_a) + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \left\{ (2\Omega_3 + \omega_0) \times \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ \dot{Z}_h - f_{h_0} \end{bmatrix} \right\} + \begin{bmatrix} 0 \\ -\Omega^2 (r + h) \cos \varphi \sin \varphi \cos \chi \\ 0 \end{bmatrix} \\ f_{h_1} \\ f_{h_2} \end{bmatrix}$$

- вектор $\dim(\mathbf{F}) = 12 \times 1$,

$$\mathbf{F}_0(\mathbf{Y}, t) = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ -\frac{1}{2} \Phi(\mu) : \mathbf{0} \\ \mathbf{0} : \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \end{bmatrix} : \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \left\{ (2\Omega_3 + \omega_0) \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -f_{h_1} \end{bmatrix} \right\} : \mathbf{0} \\ \mathbf{0} : f_{h_1} : \mathbf{0} \\ \mathbf{0} : f_{h_2} \end{bmatrix}$$

- матрица $\dim(\mathbf{F}_0) = 12 \times 8$.

Синтез уравнения наблюдения.

Для последующего использования методов оптимальной фильтрации необходимо получить уравнение наблюдения за вектором \mathbf{Y} , т.е. аналитическую модель информационно-измерительного сигнала, явно зависящую от одного или нескольких компонентов вектора \mathbf{Y} и позволяющую построить его апостериорную плотность в соответствии с известными в теории фильтрации подходами [1, 2, 5].

Используя третье уравнение системы (8) и выражения проекций параметров движения в ССК через выходные сигналы измерителей и их помех, получим уравнение наблюдателя за вектором состояния \mathbf{Y} .

$$Z_3 = 1/C_{33} \{ \ddot{Z}_h - f_{h_2} - [C_{31} \ C_{32}] \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \end{bmatrix} + (2\Omega_X + (r + Z_h - W_h)^{-1} V_Y) V_Y - \\ - (2\Omega_Y - (r + Z_h - W_h)^{-1} V_X) V_X + \Omega^2 (r + h) \cos^2 \varphi + g_0 \} - 1/C_{33} \{ [C_{31} \ C_{32} \ C_{33}] \mathbf{W}_a + f_{h_3} \xi_{h_2} \}$$

Или в каноническом виде

$$Z_3 = H(\mathbf{Y}, t) + \mathbf{H}_0(\mathbf{Y}, t) \begin{bmatrix} \mathbf{W}_a \\ \xi_{h_2} \end{bmatrix},$$

где $\mathbf{H}_0 = -1/C_{33} [C_{31} \ C_{32} \ C_{33}] \ f_{h_3}$ - вектор - строка $\dim(\mathbf{H}_0) = 1 \times 2$,

$$H = 1/C_{33} \left\{ \begin{array}{l} \ddot{Z}_h - f_{h_2} - [C_{31} \ C_{32}] \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \end{bmatrix} + (2\Omega_X + (r + Z_h - W_h)^{-1} V_Y) V_Y - \\ - (2\Omega_Y - (r + Z_h - W_h)^{-1} V_X) V_X + \Omega^2 (r + h) \cos^2 \varphi + g_0 \end{array} \right\}.$$

Заключение.

Для иллюстрации возможности практического использования такого подхода было рассмотрено численное моделирование движения БИНС совместно с текущей оценкой навигационных параметров на интервале $0 - 10000$ с при шаге $t=0,1$ с и значениях характеристик помех измерительного комплекса, которыми обладают используемые в настоящее время ДУС, акселерометры и БЦВМ. Оценка вектора состояния \mathbf{Y} осуществлялась на основе аппроксимации апостериорной плотности вероятности вектора состояния - гауссовской.

По окончании временного интервала моделирования максимальные ошибки оценивания переменных вектора состояния составили: по вертикальной составляющей скорости движения ЛА - 1%, по высоте -5%, по углам ориентации - 0,15%, по угловой скорости - 0,025 %.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о возможности эффективного практического использования предложенного подхода к синтезу вектора состояния в форме объект-наблюдатель в реальных навигационных системах ЛА различных типов.

Литература

1. Ривкин С.С. Определение параметров ориентации объекта бесплатформенной инерциальной системой /

С.С. Ривкин, З.М. Берман, И.М. Окон – Санкт-Петербург : ГНЦ РФ – ЦНИИ «Электроприбор», 1996.

2. Кузовков Н.Г. Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация / Н.Г. Кузовков, О.С. Салычев – М. : 1982.

3. Ишлинский А.Ю. Ориентация, гироскопы и инерциальная навигация / А.Ю. Ишлинский – М. : Наука, 1976.

4. Командно-измерительные приборы / Под. ред. Б.И. Назарова – М. : МО, 1975.

5. Соколов С.В. Теоретические основы построения бесплатформенных инерциальных систем навигации летательных аппаратов / С.В. Соколов, Н.Я. Половинчук – МО РФ, РВИ РВ : 1998.

7. Половинчук Н.Я. Математические модели и синтез навигационного обеспечения автономных помехоустойчивых бесплатформенных навигационных систем / Н.Я. Половинчук, С.В. Соколов – в МО РФ : 1998.

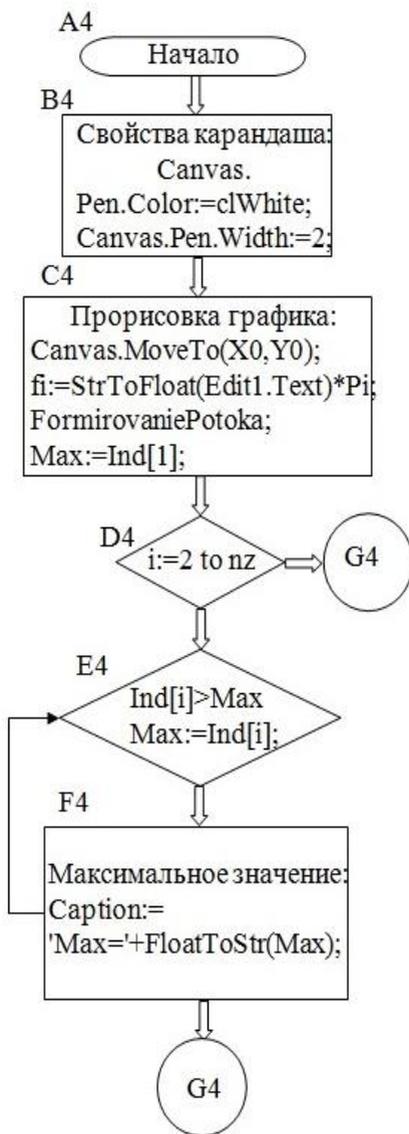
СЕКЦИЯ 3.
КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И БЕЗОПАСНОСТЬ
ИНФОРМАЦИИ В ТЕХНИЧЕСКИХ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

ОПИСАНИЕ КАРКАСА ПРОГРАММЫ
САМОАНИМАЦИОННОГО ПОСТРОЕНИЕ КАРТИНЫ
ПОТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ
СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
КАСКАДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА
С УТОЧНЕННОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

В.Ю. Карандей (к.т.н., доц.), В.Л. Афанасьев (магистрант),
Ю.Н. Саш (магистрант).
Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)

Представлен алгоритм программы в виде блок схемы для расчета распределения потока обмотки статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода [1-4]. Алгоритм построен на ряде принципов и видов расчета [5-10]. На принципе задания конструкции обмотки, для возможности использования этого принципа для дальнейшего расчета. На процедуре расчета картины распределения магнитного поля в зазоре компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода, соответственно операции по его построению. На получении псевдоанимации, показывающей картину изменения поля в пространстве при повороте трехфазной системы токов с течением времени.

В данном докладе представлена часть алгоритма в виде блок схемы, для кнопки стереть. Операция по стиранию происходит за счет прорисовывания картины поля с изменением цвета линий. Вместо красного используем белый цвет. При этом оси координат и сетка также прорисовываются [11-13].



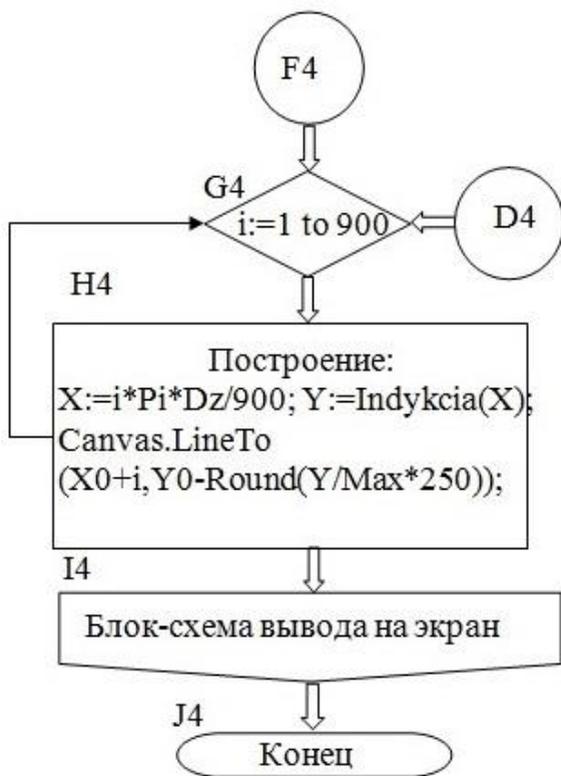


Рисунок 1 – Блок-схема для кнопки “Стереть”.

Литература

1. Пат. РФ № 2402857. Управляемый каскадный электрический привод / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов. Зар. 27.10.2010 г.

2. Пат. РФ № 2461947. Управляемый каскадный электрический привод с жидкостным токоъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов. Зар. 20.09.2012 г.

3. Пат. РФ № 2483415. Аксиальный каскадный электрический привод с жидкостным токоъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, О.Б. Попова. Зар. 11.03.2013 г.

4. Пат. РФ № 2370869. Токоъемное устройство / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов. Зар. 30.06.2008 г.

5. Karandey V. Yu. Intelligence amplification in distance learning through the binary tree of question-answer system / Karandey, V.Yu., Popova, O.B., Popov, B.K // Procedia-social and behavioral science. Том: 214, год 2015, стр. 711-719.

6. Karandey V. Yu. Intelligence amplification via language of choice description as a mathematical object (binary tree of question-answer system) / Karandey, V.Yu., Popova, O.B., Popov, B.K, Evseeva, M.A. // Procedia-social and behavioral science. Том: 214, год 2015, стр. 897-905.

7. Karandey V. Yu. New Methods and Evaluation Criteria of Research Efficiency / Popova, O.B., Popov, B.K., Karandey, V.Yu., Romanov, D.A., Kobzeva, S.A. & Evseeva, M.A. (2015) // Mediterranean journal of social sciences, Vol 6, No 6 S5, pp. 212-217.

8. Разработка подхода к расчету магнитного потока одной катушечной группы обмотки статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №06(120). – IDA [article ID]: 1201606039. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/39.pdf>.

9. Разработка алгоритма расчета электромагнитных параметров статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей, [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный

журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №06 (120). – IDA [article ID]: 1201606041. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/41.pdf>.

10. Карандей В.Ю. Подход к определению магнитных параметров управляемого асинхронного каскадного электрического привода с уточненной геометрией / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №06(120). – IDA [article ID]: 1201606040. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/40.pdf>.

11. Карандей В.Ю. Программа расчета параметров и анимационного построения потокораспределения компонента асинхронного каскадного электропривода / В.Ю. Карандей, А.В. Базык, В.Л. Афанасьев Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2015615828 от 25 мая 2015 г.

12. Карандей В.Ю. Программа расчета параметров и самоанимационного построения потокораспределения компонента асинхронного каскадного электропривода / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, А.В. Базык Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2015615826 от 25 мая 2015 г.

13. Карандей В.Ю. Программа задания конструктивных параметров компонента асинхронного каскадного электропривода, статорной обмотки и визуального построения полученного потокаспределения / В.Ю. Карандей Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2015615827 от 25 мая 2015 г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОНЯТИЯ ИНФОРМАЦИИ В ЮРИСПРУДЕНЦИИ

К.С. Шарифуллина (студентка)

*Российский государственный университет правосудия
(Северо-Кавказский филиал), (г. Краснодар, Россия)*

В настоящее время во многих областях человеческой деятельности используются такие понятия как информация, электронное сообщение, облачные информационные технологии, информационные сети, сайты, электронные адреса и т.д. Главным и широко распространенным понятием является информация. Оно используется в естественных и гуманитарных науках, в том числе и в законодательных актах. В качестве примера можно привести «Федеральный закон об информации, информационных технологиях и о защите информации» № 149 от 27 июля 2006 года, ГОСТ 7.0-99. В этих и подобным им документах вводится понятие информации: ФЗ 149 – «Информация – сведения (сообщения, данные) независимо от формы их представления»; ГОСТ 7.0-99 – «Информация – сведения, независимо от формы представления, восприятия человеком или специальным устройством как отражение фактов материального мира в процессе коммуникации».

Любое определение не может быть неправильным или правильным. Оно может быть плохим или хорошим. Один из способов введения понятий основан на идее использования категорий «интенционал» и «экстенционал». «Интенционал» – это введение понятия путем соотнесения с понятием более высокого уровня абстракции и указанием свойств. «Экстенционал» – введение понятия посредством перечисления его конкретных примеров, т.е. свойств более низкого уровня абстракции. «Интенционалы» определяют знания об объектах, а «Экстенционалы» формируют данные. Вместе они задают элементы поля знаний конкретной предметной области. Но самое важное, что введение понятий в предметной области зависит от поставленных целей – цели определяют средства, иными словами, определение понятия должно быть

конструктивным, т.е. пригодным для достижения поставленных целей.

Качественными свойствами обладает любая информация. Например, она имеет такие качества, как ценность, смысл, объективность и условность. Ценность информации определяется целью, для которой она используется. Часто количество смысловой информации существенно меньше полного количества информации. Условная информация в неживой и живой природе играет часто более важную роль, чем безусловная (объективная) информация. Языковая, генетическая, нейронная и другие виды информации обладают этими свойствами.

Цель предлагаемой работы – проанализировать понятие информации и показать, что при формулировании юридических законов фактически используется естественнонаучное синергетическое понятие информации. В этом представлении вводится понятие информации как выбор равновозможного варианта. Поэтому информация представляет объединение (синтез) идеального (выбор) и реального (запись выбора). Количественная мера синтеза идеального и реального может быть выражена только вероятностным способом. Справедливость вводимых утверждений демонстрируется на примерах формулирования и изменения юридических законов. В синергетике такой подход называется определением информации Каствлера-Чернавского [1,2].

Очевидно, что при таком подходе знания, сведения, идеи, данные, сообщения, мысли, факты, свойства, характеристики, законы и т.д. – это синонимы понятия «информация». В настоящее время область применения информационных процессов существенно увеличилась. При этом появляются вопросы о возникновении информации и эволюции ее ценности. Качественное и количественное определение понятия информации при решении такого рода задач необходимо.

В качестве примера рассмотрим возникновение правовой информации. При установлении правопорядка появляются

статьи. Поскольку возникли статьи, то нужно знать предел их применения. Знание предела позволяет избавиться от опасности. Для появления правой информации в виде закона и статей, ему соответствующих, необходимо иметь множество отношений. Оно формируется материальными и идеальными объектами и субъектами. Отношения могут быть односторонними, двусторонними, многосторонними абсолютными, относительными, простыми, сложными, регулятивными, охранительными, активными, пассивными, материальными, процессуальными и др. Они могут также возникать при наступлении предусмотренных законом юридических фактов. Правовое регулирование данного множества отношений является средством достижения определенных целей. Задача стоит в выборке нужных для достижения целей отношений и их запоминания в виде закона со статьями. Фактически именно такое понятие «информация» впервые предложил Генри Кастлер [1]: «информация есть случайный и запомненный выбор одного варианта из нескольких возможных и равноправных». Оно подробно также анализируется в работе Д.С. Чернавского [2].

В этом определении Г. Кастлера выделено слово «случайный». Оно определяется способом выбора и поэтому область применимости дефиниции сужается. В общем случае выбор варианта может оказаться и подсказанным (не случайным). Такая ситуация соответствует рецепции информации. Случайное возникновение информации, называемое генерацией, происходит при спонтанном выборе варианта. Термин «случайный» часто в определении информации опускают. Однако его принимают во внимание при обсуждении процессов генерации и рецепции информации.

Слово «запомненный» также выделено. Его роль чрезвычайно важна. Это слово относится к записи информации. Однако выбор варианта может и не записываться, а тут же забываться. Выбор варианта без записи называется

микроинформацией. Записанный выбор варианта, в отличие от незаписанного выбора, называется **макроинформацией.**

Во всех информационных процессах используется только макроинформация. Микроинформация используется редко. Поэтому под информацией обычно понимают только записываемую информацию и приставку «макро» часто опускают.

Варианты выбора варианта принадлежат одному рассматриваемому множеству. Если доопытные различия между вариантами не велики, то для вариантов используют слова «возможные и равноправные». В общем случае варианты могут и отличаться, но могут быть полностью равноправны и равновероятны. В данном случае слово «равноправные» подразумевает, что один и тот же порядок для априорных вероятностей различных вариантов выбора.

Таким образом, определение информации можно представить в следующем виде [2]: «Информация выражается записанным выбором одного варианта из заданного множества возможных и равноправных вариантов». Это определение мы будем использовать для наших целей, и сослаться на него, как (QC – Quastler, Chernavsky).

Принятое нами определение (QC) отличается от приведенных выше определений следующими моментами.

1. Оно имеет интуитивный смысл, понятно и четко определено. Кроме того, оно используется в технических и естественных науках. Его эффективность проверена на многих примерах. Кроме того приведенное определение не противоречит указанным выше дефинициям, если обсуждаются реальные задачи. Например, определение информации как инструкции или оператора в конкретных задачах сводится именно к выбору варианта, который нужно сделать в том или ином случае. Это имеет место и в законотворчестве.

2. В соответствии с этим определением, информация выглядит как нечто конкретное. Однако это определение позволяет понять с естественнонаучной точки зрения

возникновение жизни и механизмы мышления [2]. Другими словами оно предоставляет мост между техническими, естественными и гуманитарными науками.

3. Важно, что определение (QC) позволяет простым способом ввести меру – количество информации.

В принятом определении (QC) можно выделить и такую особенность. Существительное «выбор» – происходит от глагола «выбирать». Этот выбор можно понимать двояко: сам процесс и результат процесса. Отличие между ними, как между судопроизводством и приговором суда. В определении Каствлера-Чернавского информация понимается, как конечный результат выбора, но не как сам процесс выбора. Именно в этом таком смысле оно является конструктивным. В реальных задачах понятие информации так и используется.

В естественных науках под словом «процесс» понимают изменение системы во времени. Это называется движением. В общем случае процесс может не закончиться. Согласно определению (QC) при этом информация еще не появилась. Однако появление информации в результате выбора варианта не может существовать без самого выбора. В частности, например, приговор не существует без решения суда. Но не любой процесс завершается выбором варианта. Выбор варианта возможен лишь в процессах определенного класса. Поэтому для выбора варианта необходимо ввести понятие “информационного процесса”.

В заключение отметим, что в любом информационном процессе всегда должна присутствовать не просто информация, а осмысленная или ценная информация. Это обстоятельство часто не берут в расчет, и полагают, что не ценная информация – вообще не относится к информации. Такой подход приводит к недоразумениям.

Литература

1. Каствлер Г. Возникновение биологической организации / Г. Каствлер. Под ред. Л.А. Блюменфельда – М.: Мир, 1967. – 89 с.

2. Чернавский Д.С. Синергетика и информация (динамическая теория информации) / Чернавский Д.С. – М. : Едиториал УРСС, 2004. – 288 с.

**ОСОБЕННОСТИ РАЗВЕРТЫВАНИЯ
ИНФРАСТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ
СРЕДСТВОМ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОТ НСД
«SECRETNET STUDIO»**

Н.Н. Елохин (курсант), И.В. Заводцев (к.т.н., доц.)
*Краснодарское высшее военное училище
им. генерала армии С.М. Штеменко (г. Краснодар, Россия)*

Новые вызовы и угрозы безопасности России предопределяют необходимость совершенствования структуры управления автоматизированными системами, адаптации форм и способов их применения в современных условиях. При этом информационное обеспечение деятельности органов исполнительной власти всех уровней будет играть все более важную роль в современных условиях, характеризующихся высокой динамикой, неопределенностью, важностью последствий принимаемых решений.

Существенное значение будет иметь проблема автоматизации обмена данными, решение которой возможно за счет подключения данных органов к информационным ресурсам Интернет. Ведущие мировые государства уже осуществляют формирование глобальных информационных сетей различного назначения, на основе имеющихся и разрабатываемых систем связи. Такие сети, построенные с использованием интернет-технологий, будут обладать высокой пропускной способностью, масштабностью, а также устойчивостью к внешним воздействиям.

Таким образом, перспективное расширение функциональных возможностей средств связи и автоматизации управления, согласование с общей структурой органов исполнительной власти определяют потребность в

совершенствовании существующих технологий защиты информации в комплексах средств автоматизации.

Цель статьи – рассмотреть возникающие сложности при развертывании инфраструктуры управления средством защиты информации от НСД «SecretNet Studio» и возможные способы их решения.

К сожалению, внедрение только средств защиты, как правило, не гарантирует высокую степень защищенности, ибо не позволяет напрямую оценивать насколько полученный уровень безопасности соответствует требуемому, а значит и насколько эффективна вся система защиты информации в целом.

В результате, затраты сил и средств на внедрение средств защиты на проверку могут оказаться не столь эффективными как планировалось в связи с тем, что:

- на автоматизированных рабочих местах отделов и служб зачастую установлено не разрешенное программное обеспечение;

- конфигурации средств вычислительной техники (в т.ч. СЗИ) не соответствуют разработанной частной политике.

Отсюда можно сделать следующий вывод, что весьма важные и принципиальные требования к развертыванию системы обеспечения информационной безопасности включают:

- защиту надо проектировать как единую систему;
- систему защиты необходимо строить с учетом принципов, обеспечивающих эффективность ее создания и эксплуатации.

Выход в свет нового поколения СЗИ от НСД «SecretNet Studio» требует, с учетом вышеуказанного, дополнительных исследований в части касающейся вопросов ее развёртывания и администрирования, а также организации управления системой защиты в целом. Рассмотрим эти вопросы на практике.

Централизованное управление параметрами Secret Net Studio осуществляется администратором безопасности со своего рабочего места. Для централизованной настройки и применения

параметров безопасности на защищаемых компьютерах с установленным клиентом в сетевом режиме функционирования могут использоваться групповые политики. В дополнение к параметрам локальной политики могут быть заданы параметры в политиках доменов, организационных подразделений и серверов безопасности.

При работе в централизованном режиме Secret Net Studio предоставляет возможности управления защищаемыми компьютерами на рабочем месте администратора безопасности, мониторинга и просмотра журналов, поступивших на хранение в базу данных сервера безопасности. Также предусмотрена возможность запуска без соединения с сервером безопасности – для работы с записями журналов, сохраненных в файлах (рис. 1).

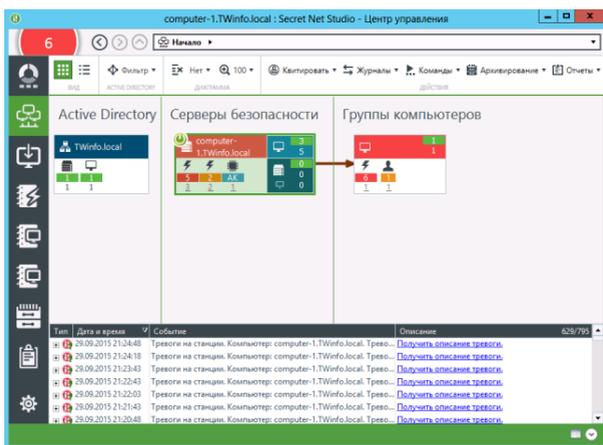


Рисунок 1 – Экранная форма программы в централизованном режиме работы

Программа управления предоставляет возможность реализовать централизованное развертывание клиентского ПО системы Secret Net Studio на компьютерах. При развертывании автоматически выполняются заданные действия по установке или удалению на компьютерах клиента Secret Net Studio, его

компонентов или обновлений. Запуск установки или удаления ПО на компьютерах осуществляется под управлением сервера безопасности от имени специальной службы (рис. 2).

Таким образом, в ходе практического исследования были установлены следующие особенности работы с СЗИ от НСД «Secret Net Studio»:

централизованная регистрация лицензий на сервере выполняется в программе управления в централизованном режиме работы. После централизованной регистрации происходит автоматическая активация лицензий соответствующих подсистем на компьютерах с установленным ПО клиента и подчиненных серверу безопасности;

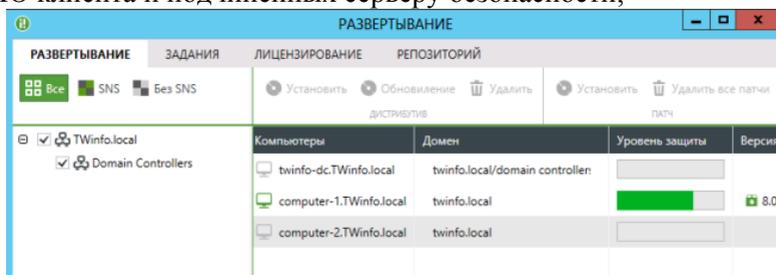


Рисунок 2 – Экранная форма программы централизованного развертывания клиентского ПО

чтобы обеспечить бесперебойное функционирование защищаемых компьютеров, подчиненных серверу безопасности, следует предусмотреть наличие резервного сервера в этом же домене безопасности. Резервный сервер безопасности должен находиться в постоянной доступности для регулярной синхронизации с основным сервером;

после формирования списка централизованно устанавливаемого ПО необходимо добавить задания развертывания. Задания определяют списки компьютеров, на которых в автоматическом режиме будут выполняться нужные действия.

Литература

1. Федеральный закон Российской Федерации от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».

2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006 Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента ИБ. Требования.

3. Средство защиты информации Secret Net Studio. Руководство администратора. Централизованное управление, мониторинг и аудит. RU.88338853.501400.001 91 4.

4. Средство защиты информации Secret Net Studio. Руководство администратора. Установка, обновление, удаление. RU.88338853.501400.001 91 2.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ УЧЕТА МНИ В LINUX-ПОДОБНЫХ СИСТЕМАХ

В.В. Самофал (курсант), С.А. Капустин (к.т.н., доц.)

*Краснодарское высшее военное училище
им. генерала армии С.М. Штеменко (г. Краснодар, Россия)*

На сегодняшний день информация становится одним из наиболее ценных продуктов человеческой деятельности. Эффективность работы организации во многом зависит от наличия соответствующей информации, методов ее использования и системы защиты информационной системы.

Угрозы появляются потому, что существуют системы или процессы, а не потому, что есть какие-то конкретные их недостатки. Так угроза пожара существует для всех помещений независимо от объема проводимых на них противопожарных мероприятий. Угрозы безопасности информационной системе могут быть связаны с работником (нарушитель), объектом (неисправное оборудование или программное обеспечение) или событием (пожар, землетрясение, оползень и т.п.).

Угрозы обрабатываемой информации в информационной системе зависят от характеристик самой информационной

системы, физической среды, персонала и обрабатываемой информации с ограниченным доступом.

Наиболее актуальная угроза исходит от персонала, который работает с информацией. Угрозы исходящие от персонала могут быть различными:

- отключение или вывод из строя подсистем обеспечения функционирования информационной системы;

- действия по дезорганизации функционирования системы;

- хищение носителей информации;

- внедрение аппаратных специальных взносов, программных "закладок" и "вирусов";

- запуск технологических программ, способных при некомпетентном использовании вызывать потерю работоспособности системы или осуществляющих необратимые изменения в системе;

- нелегальное внедрение и использование неучтенных программ с последующей необоснованным расходом ресурсов.

Как видно из вышеперечисленного, наибольшую опасность представляет внедрение машинных носителей информации в информационную систему, либо их хищение. Для предотвращения таких угроз необходимо использовать специальные, учтенные машинные носители информации. Как правило учет производится в бумажных журналах. При этом в Российских силовых структурах используются операционные системы основанные на дистрибутивах Linux. В ОС Windows произвести учет МНИ можно при помощи реестра и нескольких не хитрых действий. Но в дистрибутивах Linux нет реестра, но есть конфигурационные файлы (рис.1).

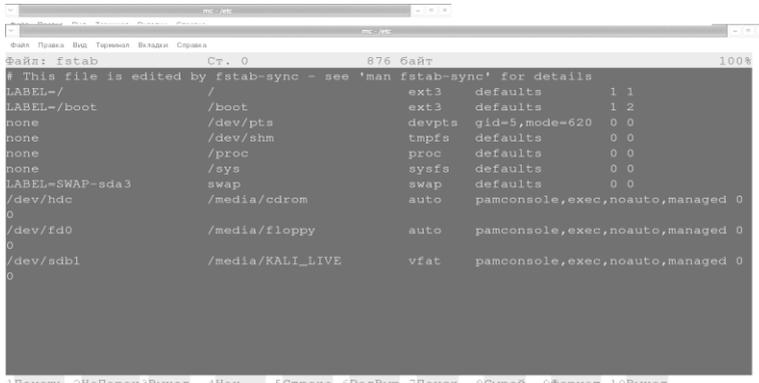


Рисунок 1

В них содержится необходимая информация для учета. Но процесс работы с конфигурационными файлами довольно рутинный. Чтобы произвести учет всех МНИ потребуется много времени (рис.2).

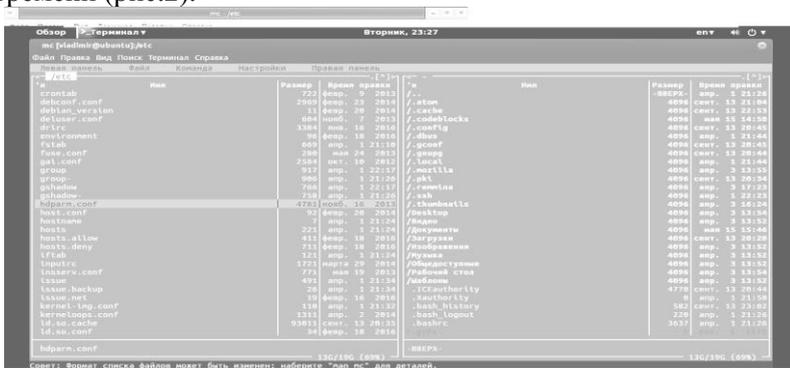


Рисунок 2

Необходимая для учета информация: наименование МНИ, серийный номер, размер, файловая система и даже номер UUID присвоенный ему файловой системой, содержится в разных конфигурационных файлах рис. 3, 4.



Рисунок 3

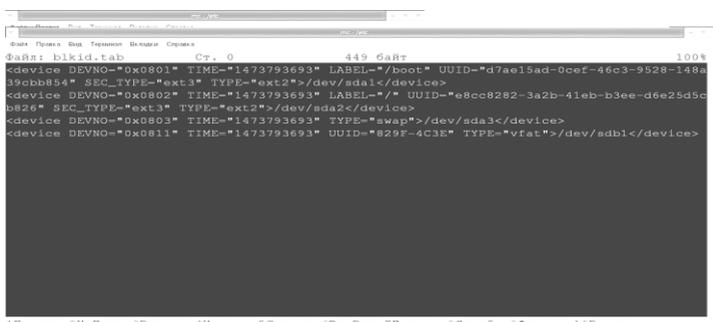


Рисунок 4

В связи с необходимостью автоматизировать данный процесс, было разработано программное обеспечение для учета МНИ в дистрибутивах Linux, состоящее из модулей: монтирования МНИ, регистрации МНИ, журнала учета МНИ, справки и сведений о программе рис. 5.

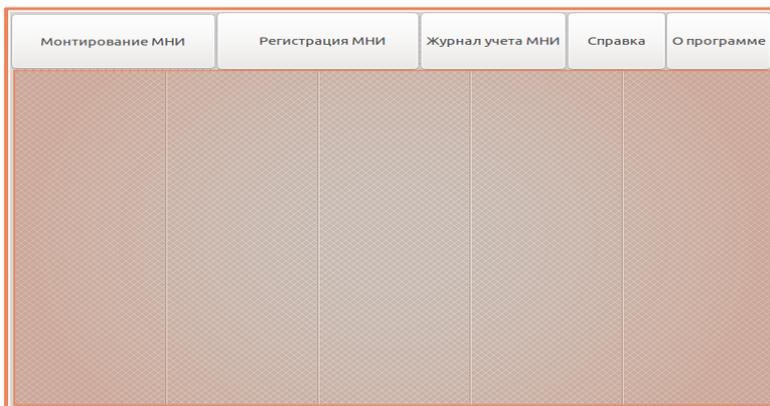


Рисунок 5

Работа с конфигурационными файлами осуществляется почти в каждом модуле с использованием стандартных операций ввода-вывода, открытия файла, закрытия файла, а также его чтение с последующим копированием в базу данных программы.

Литература

1. Уорд Б. Внутреннее устройство Linux / Б. Уорд – СПб.: Питер, 2016. – 384 с.
2. Колисниченко Д.Н. Разработка Linux-приложений / Д.Н. Колисниченко – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 432 с.
3. Дж. Фуско Linux. Руководство программиста / Дж. Фуско – СПб.: Питер, 2011. – 448 с.
4. Лав Р. Linux. Системное программирование / Р. Лав – СПб.: Питер, 2008. – 416 с.
5. IT-Спец: УГРОЗЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ – 2016.

УЧЕТ И МОНИТОРИНГ ПОДКЛЮЧЕНИЯ USB-НАКОПИТЕЛЕЙ ДЛЯ LINUX СИСТЕМ

А.С. Капустин (курсант), С.А. Капустин (к.т.н., доц.)
*Краснодарское высшее военное училище
им. генерала армии С.М. Штеменко (г. Краснодар, Россия)*

Анализ нарушений информационной безопасности показывает непрекращающееся использование неучтённых машинных носителей информации, в качестве которых выступают USB-накопители и подключение к средствам вычислительной техники сотовых телефонов и других различных гаджетов.

Для операционных систем семейства Windows существуют программные и программно-аппаратные средства (ZLock, Secret Net), позволяющие как разграничивать доступ и подключение USB-накопителей, так и отслеживать попытки пользователей подключать неучтённые USB-накопители. Для операционных систем семейства Linux такие средства отсутствуют. В связи с этим актуальной задачей становится создание специализированного программного комплекса учёта и мониторинга подключения USB-накопителей для операционных систем семейства Linux.

Опишем логику работы разрабатываемого программного обеспечения. При подключении USB-накопителя происходит определение его серийного номера, марки и производителя. Полученная информация сравнивается с информацией об учтённых USB-накопителях, хранящихся в базе данных. Если подключаемый USB-накопитель учтён, происходит его монтирование и регистрация факта его использования. Если же подключаемый USB-накопитель отсутствует в базе данных учтённых USB-накопителей, выдаётся команда на запрет его монтирования и регистрация факта попытки подключения.

Программное обеспечение, реализующее учёт USB-накопителей структурно будет состоять из двух частей:

1. База данных для хранения информации об учтённых USB-накопителях;

2. Модуль отслеживания подключения USB-устройств.

Информацию об учтённых USB-накопителях в базе данных предлагается хранить в следующих полях:

1. ID_REG – учётный номер;
2. ID_SERIAL – серийный номер USB-устройства;
3. ID_MODEL – модель USB устройства;
4. ID_VENDOR – производитель USB устройства;
5. ID_USER – Ф.И.О. пользователя;
6. ID_TOP – гриф;
7. ID_AS – принадлежность к средствам автоматизации;
8. ID_DATEREG – дата регистрации;
9. ID_DATEREL – дата снятия с учёта.

Реализовать базу данных для хранения информации об учтённых USB-накопителях предлагается реализовать с помощью СУБД PostgreSQL.

Модуль отслеживания подключения USB-устройств представляется возможным реализовать на скриптовом языке. Для этого необходимо использовать свойство `udev`, которое позволяет выполнять скрипт при наступлении какого-либо события. Отслеживание события подключения USB-устройства можно реализовать с помощью правила:

```
touch /etc/udev/rules.d/usb.rules
```

Само правило может быть следующим:

```
ACTION=="add", SUBSYSTEM=="block",
```

```
ENV{ID_BUS}=="usb|mmc|memstick|ieee1394",
```

```
RUN+="/bin/bash /etc/udev/usb_on_reg.sh
```

```
%E{ID_SERIAL_SHORT}
```

```
%E{ID_MODEL} %E{ID_VENDOR}"
```

где:

ACTION – отслеживаемое действие,

add – подключение устройств, remove – отключение;

ENV – перечень отслеживаемых устройств по типу;

RUN – исполняемое действие.

Для модуля отслеживания подключения USB-устройств запускается скрипт `usb_on_reg.sh`.

Скрипту `usb_on_reg.sh` `udev` передает следующие данные:

`%E{ID_SERIAL_SHORT}` – серийный номер USB устройства;

`%E{ID_MODEL}` – модель USB устройства;

`%E{ID_VENDOR}` – производитель USB устройства.

Скрипт `usb_on_reg.sh` может иметь следующее содержание:

```
/usr/bin/curl -d "serial=$1&name=$2&vendor=$3&action=on&sub=true" usb/input.php
```

Программное обеспечение, реализующее функции мониторинга подключения USB-устройств, будет состоять из трех частей:

1. База данных для хранения информации о событиях информационной безопасности;
2. Модуль мониторинга подключения USB-устройств;
3. Модуль отображения событий информационной безопасности.

В разрабатываемом программном обеспечении достаточно фиксировать только факт подключения неучтенных USB-устройств. Информацию о событиях информационной безопасности в этом случае в базе данных предлагается хранить в следующих полях:

1. `ID_SERIAL` – серийный номер USB-устройства;
2. `ID_MODEL` – модель USB устройства;
3. `ID_VENDOR` – производитель USB устройства;
4. `ID_HOST` – имя компьютера к которому подключалось USB-устройство;
5. `ID_DATETIME` – дата и время подключения USB-устройства;

Модуль мониторинга подключения USB-устройств представляется возможным реализовать в виде скрипта `usb_on.sh`. Скрипт `usb_on.sh` может иметь следующее содержание:

```
/usr/bin/curl -d  
"host=$(hostname)&serial=$1&name=$2&vendor=$3&date=$4&time=$5 /usb/input.php
```

где

`host` – имя компьютера результат выполнения команды `hostname`;

`serial` – серийный номер USB устройства (`%E{ID_SERIAL_SHORT}`);

`name` – модель USB устройства (`%E{ID_MODEL}`);

`vendor` – производитель USB устройства (`%E{ID_VENDOR}`);

`date` – дата подключения USB-устройства;

`time` – время подключения USB-устройства.

Модуль мониторинга передает информацию обработчику `input.php`, который сохраняет полученную информацию в базе данных PostgreSQL и модулю отображения событий информационной безопасности. Модуль мониторинга

Модуль отображения событий информационной безопасности получает информацию от модуля мониторинга и сравнивает ее с информацией о зарегистрированных USB-накопителях, хранящейся в базе данных учтенных USB-накопителей. В случае отсутствия информации происходит сигнализация и регистрация события о факте попытки несанкционированного подключения неучтённого USB-устройства.

Литература

1. Скляр Д., РНР. Рецепты программирования. 3-е изд. / Д. Скляр, А. Трахтенберг – СПб.: Питер, 2015. – 784 с.

2. СУБД «Линтер-ВС» 6.0. Руководство программиста. ФЛИР.80002-04 33 01. – 242 с.

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

М.И. Чучин (адъюнкт), В.И. Чижиков (к.ф.-м.н., проф.),

С.Р. Шарифуллин (к.т.н., доц.)

Краснодарское высшее военное училище

им. генерала армии С.М. Штеменко (г. Краснодар, Россия)

Цель данной работы – обсудить ряд вопросов, связанных с применением робототехнических комплексов (РТК) в автоматизированных информационных системах.

В настоящее время автоматизированные информационные системы (АИС) широко применяются в различных областях, особенно при чрезвычайных ситуациях. Они представляют собой аппаратно-программные технические устройства, которые используются для поддержки принятия управленческих решений в условиях чрезвычайных ситуаций, и обеспечивают увеличение эффективности при принятии решений, повышение удобства пользования и расширение функциональных возможностей. Примерами могут служить системы [1-3]. Однако, несмотря на то, что робототехника интенсивно используется на производстве для расширения человеческих возможностей и в опасных и недоступных средах, фактического тесного объединения АИС и РТК не существует. По-нашему мнению комплексные исследования сложных единых платформ на базе АИС и РТК позволят открыть ряд новых потенциальных областей применения для робототехники. В частности, существует целый ряд новых областей их применения, в которых компьютеры дополнены средствами для физического взаимодействия с окружающей средой.

Современные компьютеры ещё не обладают всей полнотой искусственного интеллекта: способностью имитировать поведение человека. Тем не менее, следует

отметить, что наибольшие успехи произошли в области игр. Например, лучшие компьютерные шахматные программы теперь способны обыгрывать людей. Сами же роботы имеют большие затруднения при идентификации объектов на основе внешнего вида или ощущений. Их обычно настраивают заранее на определенные операции. Вместе с тем, продвижение в обработке естественного языка, возможно, даст самые большие потенциальные выгоды, поскольку это позволило бы людям взаимодействовать с компьютерами без необходимости иметь какие-либо специальные знания.

Платформы на основе АИС и РТК требуют постоянной, надежной работы в условиях различных сбоев, стихийных бедствий и других разрушительных событий, которые могут привести к потере требуемого функционирования. РТК сами зависят от распределенных информационных систем для всех аспектов их работы, поэтому живучесть этих критических информационных систем является важным вопросом.

Живучесть определяется способностью платформы продолжать предоставлять услуги в условиях различных типов отказов и сбоев. Основным механизмом, с помощью которого живучесть может быть достигнута в критических ситуациях, является отказоустойчивость. Большая часть литературы по отказоустойчивым распределенным системам сфокусирована на терпимости к локальным дефектам путем их обнаружения и маскировки последствий этих неисправностей.

Для обеспечения отказоустойчивости в условиях нелокальных отказов, последствия которых оказывают значительное неместное воздействие, иногда широко распространяемое и катастрофичное, предлагаются различные подходы: построение отказоустойчивых платформ с конфигурацией кратных деревьев и вероятностным их анализом, перераспределением функций компонент при их отказе и возможном дублировании для предотвращения критической ситуации. При этом последствия этих недостатков не могут быть скрыты с помощью имеющихся ресурсов. Цель состоит в

том, чтобы признать эти нелокальные ошибки путем выявления и анализа, а затем, чтобы обеспечить бесперебойное обслуживание (возможно, альтернативное или деградивное) путем перенастройки системы в ответ на эти недостатки.

Подход спецификации платформы на основе отказоустойчивости назовем ОУ-методом. Представляется, что он дает возможность систематического структурирования формальных спецификаций для обнаружения ошибок и восстановления, использует синтез части реализации из формальных спецификаций и обеспечивает архитектуру реализации поддержки отказоустойчивости виды деятельности. ОУ-подход состоит из трех спецификаций, описывающих отказоустойчивой системы, ошибки, которые будут обнаружены, и действия, которые необходимо предпринять, чтобы избавиться от этих ошибок. ОУ-система включает в себя синтезатор, переводчик на отказоустойчивость, чтобы генерировать реализацию компонентов кода из спецификации для выполнения обнаружения ошибок и восстановления деятельности. Кроме того, новая архитектура реализации платформы включает в себя сгенерированный код как часть инфраструктуры поддержки отказоустойчивости как на уровне узлов и систем. И, наконец, решение ОУ-подхода анализируется и оценивается посредством использования тематических исследований и экспериментов в двух критических областях применения платформы. Общая тема исследования платформы состоит в том, что домены платформы становятся чрезвычайно зависимыми от своих информационных систем для правильной и эффективной работы. В то время как эти домены платформы всегда были тщательно защищены от определенных угроз и уязвимостей, новая зависимость от информационных систем открыла их для новых наборов проблем, в том числе сбоев программного обеспечения и вредоносных атак.

Литература

1. Пат. РФ № 2303816. Автоматизированная операционно-информационная система сопровождения подготовки и

проведения голосования / В.Ю. Вешняков [и др.]. Оpubл. 27.10.2010 г.

2. Пат. на полезную модель РФ № 106397. Автоматизированная информационно-аналитическая система поддержки принятия решения по техническому перевооружению химически опасных предприятий / В.А. Сырцов, Э.Г. Мальцев. Оpubл. 28.03.2011 г.

3. Пат. на полезную модель РФ № 147524. Автоматизированная информационная система поддержки принятия управленческих решений в условиях чрезвычайной ситуации на железнодорожном транспорте / А.Н. Цуриков. Оpubл. 12.02.2014 г.

ЖИВУЧЕСТЬ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С РТК

М.И. Чучин (адъюнкт), В.И. Чижиков (к.ф-м.н., проф.),
С.Р. Шарифуллин (к.т.н., доц.)

*Краснодарское высшее военное училище
им. генерала армии С.М. Штеменко (г. Краснодар, Россия)*

В данной работе обсуждается проблема живучести автоматизированных информационных систем (АИС), объединенных с робототехническими комплексами (РТК). Создание на их основе сложных единых платформ позволяет использовать эти платформы в ряде новых областей приложения. Эти приложения обычно называют критически важными приложениями. В качестве таких приложений можно указать:

1. Информационные и коммуникационные;
2. Банковское дело и финансы;
3. Энергетика (включая электроэнергию, нефть и природный газ);
4. Физическое распределение (включая транспортировку);
5. Жизненно важные службы (в том числе системы водоснабжения, аварийно-спасательная служба и правительственные службы).

Прикладные области критических платформ сильно различаются. Однако существуют общие характеристики, которые имеют отношение к цели живучих систем.

Общие характеристики

Архитектуры платформ, на которых критически важные приложения инфраструктуры приспособлены к услугам отраслей промышленности, неизбежно находятся под влиянием затрат и выгодных компромиссов. Например, хотя эти платформы, как правило, распространены в широких географических районах с большим числом узлов, приложение диктует сайты и распределение узлов на этих сайтах. Помимо этого, однако, есть несколько других подобных характеристик, которыми обладают критически важные платформы во многих областях применения. Они имеют отношение к достижению требования системы живучести:

1. *Гетерогенные узлы.* Несмотря на большое количество узлов на многих из этих платформ, часто небольшое число узлов имеет более существенное значение для функциональности платформы, чем остальные. Это происходит из-за того, что критические части функциональности платформы реализованы только на одном или небольшом количестве узлов. Неоднородность распространяется также на аппаратные платформы, операционные системы, прикладное программное обеспечение и даже авторитетные домены.

2. *Композитная функциональность.* Услуга, предоставляемая конечному пользователю, часто реализуется посредством компьютера с разными функциональными возможностями на различных узлах. Таким образом, совершенно разные программы, запускаемые на разных узлах, предоставляют различные услуги, а полный спектр услуг можно получить только тогда, когда несколько подсистем сотрудничают и работают в некоторой предопределенной последовательности. Это совсем не похоже на привычные приложения, такие как серверы маршрутизации почты через Интернет.

3. *Стилизованные сооружения связи.* Во многих случаях критически важных приложений инфраструктуры используются выделенные ссылки точка-точка, а не полностью связанные между собой чистые работы. Причины такого подхода появляются из-за включения работ приложений, требующих более высокий уровень безопасности, и нет требования полного подключения.

4. *Требования к рабочим характеристикам.* Некоторые критические информационные системы, как система финансовой компенсации, имеют мягкие ограничения в режиме реального времени и требования к пропускной способности (для проверки расчёта в секунду, например), в то время как другие, такие как части многих систем транспортёров и управления энергией, имеют жесткие ограничения в режиме реального времени. В некоторых системах, требования к эксплуатационным характеристикам изменяются со временем в качестве нагрузки или функциональных изменений. Например, в течение периода от нескольких часов в финансовых системах или в течение определенного периода дней или месяцев в транспортных системах.

5. *Требования к безопасности.* Выживаемость определяется вредоносными атаками, а также вызванными аппаратными и программными сбоями. Учитывая важность критической структуры приложений, их информационные системы привлекают террористов, намеренных сорвать и саботировать повседневную жизнь. Преднамеренные ошибки, вредоносные атаки представляют значительный интерес для стратегии анализа неисправностей.

6. *Обширные базы данных.* Приложения инфраструктуры зависят в первую очередь от данных. Многие из них используют несколько обширных баз данных, расположенных на разных узлах, и с большинством баз данных связано очень большое количество операций.

7. *Устаревшие компоненты.* Из-за стоимости и удобства критические структуры приложения часто используют дешевые

компоненты оборудования, операционных систем, сетевых протоколов, систем баз данных и приложений. Кроме того, эти системы содержат устаревшие компоненты или выполненные по индивидуальному заказу программное обеспечение, которое использовалось системой в течение многих лет.

Будущие характеристики

Характеристики, перечисленные выше, являются важными, и большинство из них, вероятно, останется таковым в платформах будущего. Но темпы внедрения новых технологий в эти платформы и введение совершенно новых типов компонент происходит быстро, и они предполагают, что методы анализа должны учитывать возможные характеристики будущих систем. Можно предположить, что следующими будут важные архитектурные аспекты будущих платформ:

1. *Большее количество узлов.* Количество узлов в сетях инфраструктуры, скорее всего, будет резко возрастать по мере улучшения функциональности, производительности и доступа пользователей. Влияние всего этого на отказоустойчивость является значительным. В частности, обнаружение ошибок и восстановление должны быть региональными в том смысле, что для отличающихся частей сети потребуются различные стратегии восстановления. Кроме того, также предполагается, что усилия по реализации будут увеличиваться, потому что, вероятно, во многих регионах будет много различных ожидаемых ошибок, для каждой из которых может потребоваться различные способы обнаружения.

2. *Большой уровень резервирования.* По мере того как стоимость оборудования будет падать, избыточность будет возрастать и встроена в компоненты низкоуровневых систем. В качестве примеров можно указать зеркальные диски и резервные группы серверов. Это упростит проблему отказоустойчивости в случае неисправности низкого уровня; Тем не менее, не локальные, а катастрофические ошибки будут требовать обнаружения и восстановления стратегии, анализа и

коррелирующую информацию об ошибках и координирующих восстановление и изменение конфигурации нескольких узлов.

3. *Сети с коммутацией пакетов.* По многим причинам, Интернет становится сетевой технологией выбора в строительстве новых систем, несмотря на низкий уровень безопасности и отсутствие гарантий исполнения. Тем не менее, переход к сетям с коммутацией пакетов, будь-то Интернет или виртуальные частные сети, кажется неизбежным, как и последствия решения подходов для обеспечения отказоустойчивости.

В заключение надо отметить, что, во-первых следует учитывать и документировать все события и обстоятельства, которые могут привести к серьезной потере или нарушению службы платформы. На практике необходимо проводить анализ опасностей, чтобы определить уязвимые места платформы и угрозы, вызывающие озабоченность. Вероятности различных событий нужно определить, а затем должен быть проведен анализ требований.

Во-вторых, полная спецификация живучести должна документально точно соответствовать предписанному уровню обслуживания системы для всех возможных повреждений, для которых требуется обработка и восстановление платформы.

Следовательно, необходимо иметь четыре средства для обеспечения надежных платформ: удаление неисправностей, отказоустойчивость, прогнозирование и устранение ошибок.

ВОЗМОЖНАЯ АРХИТЕКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С РТК

М.И. Чучин (адъюнкт), В.И. Чижиков (к.ф-м.н., проф.),

С.Р. Шарифуллин (к.т.н., доц.)

*Краснодарское высшее военное училище
им. генерала армии С.М. Штеменко (г. Краснодар, Россия)*

В данной работе обсуждается возможная архитектура сложных платформ, объединяющих автоматизированные

информационные системы (АИС) и робототехнические комплексы (РТК).

Главный предлагаемый принцип построения платформы состоит в том, что её архитектура должна реализовать поддержку отказоустойчивости: обнаружение ошибок высокого уровня и скоординированного восстановления ошибок. Этот принцип вытекает из стратегии решения и налагает требования к реализации архитектуры платформы. Для решения этой задачи предлагается ввести два различных уровня реализации архитектуры: уровень узла и системный уровень. Далее обсуждаются построение обоих уровней реализации архитектуры.

Уровень архитектуры узла

Наиболее очевидное архитектурное требование, которое встречается на каждом узле, состоит в том, что архитектура узла должна поддерживать предоставление различных альтернативных или деградированных сервисных режимов, связанных с каждой неисправностью. Альтернативный сервис реализует программное обеспечение или посредством использования доменных экспертов. Программное обеспечение также содержит такие детали, как функциональность, производительность, дизайн и т.д. На практике организация программного обеспечения, которое обеспечивает альтернативное или деградированное обслуживание, не является проблемой. Различные альтернативные способы могут быть реализованы в рамках одного процесса или как отдельные процессы, которые выбирает проектировщик.

В целях оказания поддержки реконфигурации альтернативного сервиса для устранения ошибок в каждом узле его архитектура должна обеспечивать определенный набор возможностей. Эти критические сервисы обеспечивают основную поддержку, необходимую для изменения конфигурации, и они доступны для каждого процесса. Принимая во внимание процесс, который обеспечивает эти важные услуги, спецификация отказоустойчивости не

обязательно должна быть связана с индексацией индивидуальной функциональности процесса. В качестве примера критической ситуации, можно рассмотреть требование очевидной реализации, которую нужно будет запускать, а другие какие-то процессы останавливать в системе, подвергающейся реконфигурации для исправления ошибок. Таким образом, критические услуги, которые должны обеспечить эти процессы, являются способностью к запуску и остановке, которая надежно сохраняет состояние процесса в контексте применения. На самом деле, ни одно из этих действий не является тривиальным и не может быть оставлено полностью для использования основных услуг операционной системы.

Другой важный сервис, который должен обеспечить каждый узел для поддержания реконфигурации, является возможность переключения на альтернативный режим функциональных возможностей с помощью задания какого-либо параметра. Часто это не требуется. Чтобы процесс прекратился полностью и начался новый старт, он может быть разработан так, чтобы обеспечить различные режимы функциональности и поддерживать переключение между режимами.

Процессы, которые обеспечивают эти важнейшие сервисы, позволяющие восстановление, назовём *реконфигурацией процессов*. Проблема беспокойства с этими перестраиваемыми процессами состоит в определении перечня критически важных услуг, которые должны поддерживаться, чтобы позволить реконфигурацию. Тем не менее, внимание исследования не связано с какой-либо конкретной возможностью, таких как контрольных точек. Например, реконфигурируемые процессы должны концептуально быть способны и готовы установить и отбросить точки восстановления, но эта работа не будет демонстрировать эту конкретную способность. Скорее всего, это исследование будет сосредоточено на других более общих возможностях, необходимых для изменения конфигурации. Критические

сервисы могут быть концептуально просты во многих случаях, но эта простота обманчива. Многие процессы приложений будут включать в себя широкие функциональные возможности, но эта функциональность не обязательно должна включать такие услуги, как процесс приостановки. Интеграция критической функциональности сервиса со стандартной функциональностью приложения в процессе перестройки также является проблемой.

В дополнение к перестраиваемым процессам в архитектуре узла, должна быть поддержка двух интерфейсов:

(1) для предоставления информации обнаружения ошибок из приложения;

(2) для контроля восстановления приложений и эффекта. Эти интерфейсы к применению и перестраиваемых процессов исследуются в рамках реализации архитектуры узла, поддерживающего отказоустойчивость.

Системный уровень архитектуры

Критические услуги, предоставляемые перестраиваемым процессом, реализуются самим процессом в том смысле, что служба получает доступ через удаленный вызов процедуры или аналогичный внутренний механизм по отношению к процессу, который реализует услугу. Точный способ, в котором предусмотрено выполнение, зависит от вида конкретной системы.

Там будет определенная деятельность по восстановлению ошибки, однако, что требуют внешних действий по отношению к перестраиваемому процессу. Например, когда происходит реконфигурация в ответ на какую-то системную ошибку, то это может быть необходимо, чтобы два процесса были переключены на их альтернативные услуги одновременно. Другой случай происходит при координации контрольных точек, где создание линии восстановления требует синхронности нескольких процессов в контрольно-пропускном пункте.

Эти услуги указывают на набор возможностей, необходимых для координации и контроля, за деятельностью по

исправлению ошибок нескольких конфигурируемых процессов, и таким образом, они не могут быть предоставлены в качестве критически важных услуг в рамках какого-либо одного процесса. Для обеспечения этих возможностей, архитектурная составляющая системного уровня вводится понятие «*координированное восстановления слоя*».

Опять же, определение услуг по восстановлению ошибок, которые будут предоставлены скоординированным восстановлением слоя, является проблемой, а также их механизмы реализации.

Сервисы, координированного восстановления уровня, фокусируются на общих возможностях координации, таких как синхронизация между процессами и коммуникации. Как предполагается, координированное восстановление слоя будет идеальным местом для реализации функциональности, поддержки скоординированных контрольных точек и восстановления линий, конкретные виды деятельности являются одной из основных областей исследования.

В дополнение к конструкции системного уровня для координации исправление ошибок, дополнение к приложению в архитектуре системы требуется для выполнения обнаружения ошибок на высоком уровне. Это архитектурное дополнение для обнаружения ошибок назовем *системой управления*, так как эта система контроля по применению через зондирования состояния и приведения в действие ответов, так же, как классическая система управления технологическим процессом. В дальнейшем нужно уделить особое внимание вопросам, связанным с использованием конструкции системы управления, для выполнения обнаружения ошибок высокого уровня и восстановления эффекта.

В заключение отметим, что точная спецификация отказоустойчивости в критической платформе является сложной задачей, включающей в себя:

1. топологию системы и описание архитектуры платформы;

2. абстракции услуг, которые каждый узел реализует в системе, и отображение этих услуг, в том числе и деградированных альтернативных услуг.

МАСКИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И АЛГОРИТМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Н.Ю. Лыков (адъюнкт), Р.В. Максимов (д.т.н., проф.),
С.Р. Шарифуллин (к.т.н., доц.)

*Краснодарское высшее военное училище
им. генерала армии С.М. Штеменко*

Цель статьи - описание способа (алгоритма) маскирования структуры интегрированной инфокоммуникационной системы (ИКС), обеспечивающего повышение скрытности связи и затруднение идентификации абонентов сети несанкционированными абонентами за счет непрерывного изменения идентификаторов абонентов сети в передаваемых пакетах сообщений, передачи пакетов сообщений по всем допустимым маршрутам связи и передачи маскирующих сообщений по маскирующим маршрутам связи.

Нарушитель реконструирует структуру ИКС на основе логического анализа перехваченных в системе связи информационных потоков. Функционально-логическая структура включает в себя сетевые идентификаторы узлов связи и логические связи между ними по признаку наличия взаимного информационного обмена с указанием его интенсивности и направления. Дополнительно она может содержать информацию о транзитных узлах связи, входящих в состав системы связи общего пользования (ССОП), отображая, таким образом, информацию о маршрутах информационных потоков.

Информационные потоки порождаются функционирующим на узлах ИКС прикладным и системным программным обеспечением (их процессами), так как программе в ходе ее выполнения может понадобиться доступ к информационным ресурсам, например, файлам, портам.

Источниками информационных потоков в сети являются пары сетевой адрес/порт, по которым однозначно идентифицируются отправители информационных потоков, если только не было факта подмены, трансляции или «инкапсуляции» сетевого адреса.

Содержательную модель процесса вскрытия интегрированных ИКС целесообразно строить в соответствии с двумя возможными путями развития ИКС и их элементов.

Первая альтернатива связана с максимальной интеграцией ИКС в ССОП и использованием всего спектра служб электросвязи, предоставляемых оператором связи. Прототипом такой интеграции является сеть Интернет.

Вторая связана с построением собственных служб (электронной почты, файлового обмена и т.д.), когда оператор связи предоставляет только определенный набор услуг передачи данных, а ИКС создается как защищенная IP-сеть на основе технологии виртуальной частной сети (VPN). Содержательной частью модели вскрытия такой ИКС будет являться анализ технологической информации.

Нарушитель реализующий процессы направленные на добывание:

информации о составе структуре и алгоритмах функционирования, местоположении и принадлежности ИКС;

данных, хранимых, обрабатываемых и передаваемых в ИКС;

и осуществляемые путем организации и реализации диалогового (процедурного) взаимодействия с элементами ИКС, которым присущи уязвимость и открытость архитектуры.

Открытость архитектуры и протоколов приводит к возможности взаимодействия через организацию интерфейсов нарушителя с элементами ИКС.

Именно интерфейсы позволяют осуществить взаимодействие последовательно соединенных устройств и программ полученной совокупной системы, реализующей канал утечки информации. Уязвимости приводят к возможности

организации составных каналов утечки информации и «доставке» технических средств (реперов), реализующих добывание информации, в инфраструктуру ИКС (обеспечению контакта технических средств КР с объектом защиты). Диалоговое (программное, протокольное) взаимодействие осуществляется локально от канального уровня эталонной модели взаимодействия открытых систем, а удаленно – от сетевого.

Ключевыми фазами взаимодействия являются программное подавление (отказ в обслуживании), контроль событий (наблюдение) и управление (перехват управления). Первая фаза отличается от третьей тем, что может иметь декларативный характер, а нарушитель может потерять возможность реализации диалогового взаимодействия.

Маскирование структуры и алгоритмов функционирования ИКС заключается в формировании «ложной» структуры ИКС.

Для навязывания ложной структуры противнику предъявляется совокупность демаскирующих признаков, пригодных для реконструкции структуры объекта защиты. Решение этой задачи требует избыточности в структуре ИКС. Фактическая реализация ИКС с учетом мер противодействия не только требует затрат защитного ресурса, но и за счет воздействия случайных факторов среды дает рассеяние около ожидаемых средних величин реализации реальной и ложной структур, а значит и выигрыша, характеризующегося степенью подобия структур. Стратегия системы защиты заключается в максимизации среднего времени нахождения вероятности схождения между структурами ИКС в допустимых пределах.

Литература

1. Давыдов А.Е. Защита и безопасность ведомственных интегрированных инфокоммуникационных систем / А.Е.Давыдов, Р.В.Максимов, О.К.Савицкий. – М.: ОАО «Воентелеком», 2015. – 520 с.

2. Биркгоф Г. Теория структур / Г. Биркгоф. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1952. – 407 с.
3. <https://tools.ietf.org/html/rfc822>.
4. Басакер Р., Конечные графы и сети / Р. Басакер, Т. Саати. – М.: Наука, 1973. – 368 с.
5. Кристофидес Н. Теория графов: Алгоритмический подход. Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 432 с.
6. Олифер В. «Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы» / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер уч. для Вузов, 5-е изд.; – СПб.: Питер, 2015.

СЕКЦИЯ 4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ И НИР

К ВОПРОСУ ПРОБЛЕМНОГО ОБУЧЕНИЯ В ВУЗЕ ПРИ ПОДГОТОВКЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОГО СПЕЦИАЛИСТА

М.В. Степанова (ст. преп.)*, В.В. Степанов (д.т.н., проф.):**,
Ю.А. Кабанков (проф.)*

* *Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков
им. А.К.Серова (г. Краснодар, Россия)*

** *Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

Сущность метода проблемного обучения или проблемного изложения материала состоит в том, что в процессе решения системы проблем, проблемных задач, происходит усвоение знаний, и как следствие, развитие конкурентоспособной личности (1).

Концепция проблемного обучения опирается на несколько составляющих: «проблемная ситуация», «проблема» и «проблемная задача».

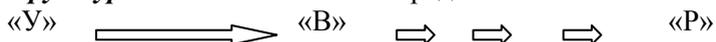
Рассмотрим каждое из этих понятий, для того, что бы понять их взаимосвязь между собой.

Проблемная ситуация представляет собой затруднение, преодоление которого требует творческого поиска новых знаний, способов и действий. Мышление начинает работать с момента осознания и формулировки проблемы, с момента принятия обучающимся проблемной ситуации. В этом случае проблемная ситуация перерастает в проблему. Каждая проблема содержит проблемную ситуацию, но не каждая проблемная ситуация преобразуется в проблему. Однако проблема не указывает направления решения. Это свойственно проблемной задаче, в условиях которой даны какие-то параметры решения.

Проблема с указанием каких-либо параметров ее решения представляет проблемную задачу. Всякая проблемная задача содержит проблему, а значит проблемную ситуацию. Когда перед человеком возникает проблема, он ее переводит в проблемную задачу, т.е. в фонде знаний находит некоторые исходные параметры для ее решения. При неудаче он ищет иные исходные параметры и конструирует новые варианты задачи в рамках той же проблемы.

При поступлении в высшее учебное заведение каждый из студентов (курсантов) уже обладает багажом знаний, направленный на решение новых проблем, возникающих при изучении новых дисциплин. Задача преподавателя правильно сформулировать проблемную задачу, чтобы прийти совместно к решению.

Структура задачи может быть представлена схемой:



В каждой задаче есть условия (У), вопрос (В) и путь к решению (Р), состоящий из множества промежуточных между вопросом и ответом операций, являющихся шагами хода решения. Таких промежуточных шагов в каждой задаче разное количество. Логика движения мысли при решении проблемной задачи аналогична логике всякого исследования.

Проблемные задачи познавательного характера являются и формой и средством воплощения творческого процесса, а их решение – реализацией творческой деятельности. Выполняя самостоятельно промежуточные операции студенты (курсанты) приобретают опыт осуществления творческих процедур.

В ходе решения проблемных задач происходит преобразование используемых знаний, становящихся более глубокими. Обучающиеся добывают новые для себя знания в процессе собственного поиска. Это отражается на степени осознанности и прочности добытых и старых знаний.

В процессе усвоения определенного материала по изучаемым дисциплинам нельзя забывать, что иерархическая цепочка по освоению дисциплин помогает развитию студентов,

выражающийся в творческом преобразовании знаний и умений, готовности и способности самостоятельно добывать новые, т.е. организовать свою познавательную деятельность с возникшей проблемой.

Для развития интеллекта необходимо и преподавателю вуза постоянно совершенствовать уровень своей подготовки, чтобы знакомит не только с найденными решениями научно-познавательных проблем, но и с логикой, иногда противоречивой, поиска этих решений.

Проблемное изложение может выступать в двух видах:

1) преподаватель сам или с помощью технических средств показывает логику поиска решения проблемы;

2) раскрытие современной системы доказательств истинности сообщаемых знаний, т.е. конечных решений изучаемых проблем (2).

В обоих случаях проблемного изложения участники процесса обучения (преподаватель + студент) следят за логикой изложения, контролируют ее последовательность, строгость движения мысли, доказательную базу. В случае нелогичности изложения неизбежно возникают сомнения и вопросы.

В ходе проблемного изложения ставятся проблемы, разясняются гипотезы, строятся мыслительный эксперимент, делаются выводы, показывается необходимость их проверки реальным экспериментом, обнажаются шаг за шагом пути и логика движения к возможному решению проблемы. На всех этапах обоюдного рассуждения раскрываются не только конечные результаты, не только этапы исследований, но и связи между этапами, пути движения от одного этапа к другому, возникшие препятствия в виде новых проблем.

Литература

1. Степанова М.В. Развитие пространственного мышления военного летчика на примере предметной связи общеобразовательных дисциплин / М.В.Степанова, В.В.Степанов, Ю.А. Кабанков // ХУП Всерос науч.-практ. конф.

(заочная) «Инновационные технологии в образовательном процессе» 10 июня 2015. – Краснодар, 2015.

2. <http://nsportal.ru/ap/library>.

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО СЦЕНАРИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ВУЗА

В.П. Манеркин (д.в.н., проф.), А.Ю. Кабардинский,
И.А. Манеркина (к.в.н., доц.)

*Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана (г. Москва, Россия)*

Педагогические тесты являются необходимым инструментом дидактической диагностики в вузах. Их результаты применяются для оценивания учебных достижений обучающихся, сбалансированности содержания обучения по объему и сложности, а также адекватности методов и методик обучения. В практике образовательной деятельности можно выделить семь форм тестовых заданий (ФТЗ), которые характеризуются различными условиями применения и разной дидактической эффективностью. ФТЗ-1 – предполагает выбор обучающимся одного из нескольких ответов, предложенных в задании. Эта форма наиболее проста в обработке, но обладает самой низкой дидактической эффективностью по отношению к другим формам, поскольку позволяет выявлять знания на уровне узнавания, знания «с подсказкой». Ранее в педагогической литературе этот уровень обученности был назван репродуктивным первым и обозначался как «Р1». ФТЗ-2 представляет собой незначительно усложненную, в сравнении с первой, конструкцию задания, которая предполагает возможность нескольких правильных ответов из предложенных альтернатив – множественный выбор. В некоторых тестах этого типа правильный ответ может быть составлен из нескольких частей. Изменения информации обучающимся в ФТЗ-1 и ФТЗ-2 невозможны. Поэтому такие формы получили название закрытых. ФТЗ-3 – задания на дополнения с ограничениями. В них от тестируемого требуется дополнить готовые шаблоны

ответов недостающими словами, словосочетаниями. Это простая форма открытого задания, но ее дидактическая эффективность более высокая, чем у первой и второй. ФТЗ-4 – задания на установление логического соответствия между элементами двух множеств. ФТЗ-5 – предназначены для оценки понимания обучающимся последовательности элементов или действий. Тесты, использующие ФТЗ-3 – ФТЗ-5 применяются для диагностики знаний второго репродуктивного (РП) и частично продуктивного (П) уровней. Подробно характеристика ФТЗ-1 – ФТЗ-5 приведена в известных источниках, в том числе в [1, 2]. ФТЗ-6 – форма свободно конструируемого ответа, предполагающая формулирование обучающимся развернутого предложения или небольшого связного текста. Тестовые задания на основе ФТЗ-6 имеют наибольшую дидактическую эффективность. Вместе с тем, их обработка сопряжена с повышенными вычислительными затратами. ФТЗ-7 – форма проверки практических навыков работы с элементами программного пользовательского интерфейса. Методики организации и программные реализации ФТЗ-6 и ФТЗ-7 разработаны при непосредственном участии авторов [3, 4].

Наибольшее распространение получили самые простые и легко обрабатываемые формы ФТЗ-1 и ФТЗ-2, хотя с учетом их низкой дидактической эффективности требуется массивное применение для достижения приемлемой достоверности результатов. Ограниченность использования более информативных, но сложных в обработке форм обусловила недостаточное внимание к вопросу составления тестов на основе всего арсенала ФТЗ. В связи с этим, актуальной является задача построения оптимального сценария тестирования обучающихся вуза.

Исходя из того, что учебные элементы содержания дисциплины имеют разную важность с точки зрения овладения требуемыми уровнями обученности и компетенциями, а для их диагностики необходимы адекватные средства тестирования, можно сделать вывод о возможности применения для решения

поставленной задачи метода двух функций [5]. Суть метода заключается в следующем. Требуется выполнить распределение разно эффективных ФТЗ по учебным элементам разной важности. В результате работы метода должна быть получена матрица назначений средств каждого типа ФТЗ на учебные элементы. Алгоритм метода предполагает пошаговое назначение средств в соответствии с правилом – на самые важные учебные элементы назначаются средства тестирования ФТЗ самого эффективного типа. По мере израсходования средств самого эффективного типа к назначению принимаются средства следующего по эффективности типа. На каждом шаге процесса выбирается максимальный по приращению значений показателя эффективности элемент из матрицы ФТЗ. Завершается работа алгоритма после израсходования всех учебных элементов или средств каждого типа ФТЗ. Условиями для работы метода двух функций применительно к рассматриваемой задаче являются: 1) наличие хорошо выверенного с дидактической точки зрения содержания учебной дисциплины, а также выделенных в нем учебных элементов с оцененной экспертами важностью; 2) разработанные для всей совокупности учебных элементов средства тестирования каждого типа ФТЗ.

Применение метода двух функций, по мнению авторов, позволит составить оптимальный сценарий тестирования обучающихся вуза.

Литература

1. Чельшкова М.Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов: Учеб. пособие / М.Б. Чельшкова. – М. : Логос, 2002. – 432 с.
2. Башмаков А.И. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем / А.И. Башмаков, И.А. Башмаков. – М. : Информационно-издательский дом «Филинь», 2003. – 616 с.
3. Манеркин В.П., Манеркина И.А., Кабардинский А.Ю., Чеховский В.В., Дидковский С.В., Боталов В.В., Рыбальченко П.В., Веселов Д.Е. Свидетельство о гос. регистрации программы

для ЭВМ №2016616440 «Экспертная система компьютерного тестирования обучающихся (ЭС КТО)».

4. Манеркин В.П., Манеркина И.А., Кабардинский А.Ю., Дидковский С.В., Рыбальченко П.В., Веселов Д.Е. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2016616655 «Комплекс компьютерного тестирования и обучения практическим навыкам работы с программным пользовательским интерфейсом моделирующих комплексов, тренажных систем и других прикладных программ».

5. Григорьев В.И. Распределение ресурсов в больших системах / В.И. Григорьев, Е.А. Берзин, А.Н. Чохонелидзе.– М. : Энергоатомиздат, 2002. – 304с.

СЕКЦИЯ 5. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПОЛЕЗНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВТОРИЧНОГО ТЕПЛА УТИЛИЗАЦИОННОЙ НЕФТЕШЛАМОВОЙ УСТАНОВКИ

В.В. Шапошников (к.т.н.), Н.И. Васильев (к.т.н., доц.),
Е.В. Кочарян (к.т.н., доц.), И.И. Шевчук (студентка)
*Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

Проблема обеспечения экологической безопасности при обращении с твердыми нефтеотходами актуальна во всем мире. Однако особенно остро она проявляется в России, практически в каждом ее нефтепромысловом регионе. Потеря горючего ископаемого, содержащегося в отходах, по экспертным оценкам, составляет примерно 3% от годовой добычи (около 10 млн. тонн) [1].

Состав и физические свойства отработанных и загрязненных нефтей, которые обычно называют просто - нефтешламы, могут варьироваться в зависимости от источника. Важным объединяющим фактором является то, что все нефтешламы содержат как воду, так и твердые примеси крупного и мелкого диаметра. Сжигание нефтешламов вместе с водой и механическими примесями является эффективным методом очистки, но дорогим процессом, при котором ценная углеводородная составляющая безвозвратно уничтожается.

Более широкому применению утилизационных нефтешламowych установок будет способствовать уменьшение срока окупаемости за счет полезного использования вторичного тепла, выделяющегося при сжигании нефтешламов.

Объектом исследования является установка утилизации нефтешламов УУН-0,8, промышленно выпускаемая ООО «Композит» (г. Брянск) [2] и установленная на производственной

площадке в ст. Холмская Северского района Краснодарского края. Изначально барабан печи был покрыт теплоизоляцией, однако это приводит к перегреву металла его стенок. Из соображений надежности эксплуатации установки целесообразно удалить изоляцию и организовать систему охлаждения [3]. В процессе эксплуатации металлическая стенка барабана нагревается до высоких температур 400-600 °С и появляется возможность использовать тепло, отводимое от него, для нужд отопления.

В качестве теплоносителя предлагается использовать воздух. Общий вид установки УУН-0,8 после реконструкции приведен на рис. 1. Для охлаждения барабана 1 необходимо построить металлический короб 2, на который впоследствии будет нанесена тепловая изоляция и покровный слой металла. В коробе предусмотрено отверстие 3 для охлаждения приводного двигателя и возможности обслуживания приводного механизма. Воздух, всасываемый у входа в короб, нагревается, проходя вдоль барабана. Затем к нему подмешивается холодный воздух из отверстия 3. После этой точки смешения воздух продолжает двигаться вдоль барабана, отводя от него теплоту, пока не достигнет задней стенки короба 2. Затем он поступает в отводящий патрубок, расположенный в верхней части короба. Циркуляцию воздуха обеспечивает дымосос 5. Нагрев воды горячим воздухом производится в газоохладителе 4. Чертеж предлагаемого решения приведен в приложении.

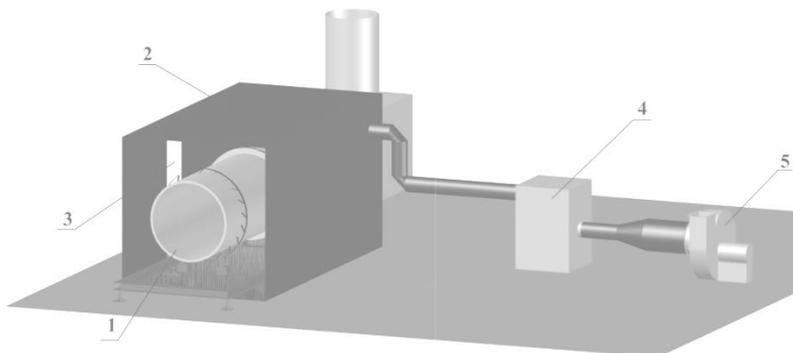


Рисунок 1 – Общий вид установки УУН-0,8 после реконструкции.

Результаты теплового расчета приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты теплового расчета.

№	Величина	Разм	Значение					
1	Температура холодного воздуха	°C	-16			2,5		
2	Температура барабана	°C	400	500	600	400	500	600
3	Расход воздуха на 1-м участке	м ³ /с	0,859					
4	Удельный тепловой поток на 1-м участке	$\frac{\text{кВт}}{\text{м}}$	35	59	95	34	59	95
5	Мощность теплового потока на 1-м участке	кВт	70	119	192	69	118	190
6	Температура воздуха после точки смешения	°C	60	114	192	78	131	210
7	Расход воздуха на 2-м участке	м ³ /с	0,903					
8	Удельный тепловой поток на 2-м участке	$\frac{\text{кВт}}{\text{м}}$	28	43	59	27	42	57
9	Мощность теплового потока на 2-м участке	кВт	55	85	118	54	83	114

10	Температура воздуха на выходе из газоохладителя	°C	80	120	190	80	120	190
11	Температура воды в обратной линии	°C	50					
12	Расход нагреваемой воды	кг/с	1,5					
13	Температура воды в подающей линии	°C	56	63	70	59	66	72
14	Расход нагреваемой воды	кг/с	5					
15	Температура воды в подающей линии	°C	52	54	56	53	55	57
16	Тепловая мощность газоохладителя	кВт	39	84	126	54	96	138

По итогам проведенного исследования использования в качестве источника вторичной тепловой энергии барабана установки утилизации нефтешламов можно отметить, что разработанный метод удовлетворяет требованиям надежности и безопасности эксплуатации установки УУН-0,8. Кроме того, при расходе нагреваемой воды 1,5 кг/с в зоне высоких температур барабана есть возможность получать горячую воду с достаточной температурой (около 70 °C). Однако при большем расходе воды требования по температурному режиму, запрашиваемому заказчиком, не представляется возможным. В этом случае рекомендуется использовать разработанную схему, как первую ступень подогрева воды.

Литература

1. Бондаренко А.П. Восстановление экосистем нарушенных нефтепродуктами: учебное пособие / А.П. Бондаренко, К.У. Базарбеков – Павлодар : 2006. – 195 с.
2. Установка утилизации нефтешламов. Паспорт совмещенный с техническим регламентом.
3. Кунина П.С. Оценка долговечности элементов котлоагрегатов / П.С. Кунина [и др.] // Территория Нефтегаз. – 2015. – № 10. – С. 118-121.

СЕКЦИЯ 6.
ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОВОЙ
И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
НА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ
СВОБОДНОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА И
ЕЕ КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

А.М. Гапоненко (д.т.н., проф.); А.А. Каграманова (аспирантка)
Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)

В настоящее время в качестве наиболее перспективного варианта двигателя Стирлинга (ДС) рассматривается свободнопоршневой двигатель Стирлинга (СПДС). Его другое название – двигатель Биля. Этот вариант отличается тем, что в нем отсутствует механическая связь между поршнем и вытеснителем, нет маховика и трансмиссии, преобразующей поступательное движение во вращательное. Весь агрегат помещен в герметический корпус, в котором содержится рабочее тело (как правило – инертный газ) под высоким давлением. Туда же, в картер двигателя, заключен линейный генератор, использующий линейное возвратно-поступательное движения индуктора, жестко соединенного с рабочим поршнем. Благодаря простоте конструкции, СПДС имеет ряд неоспоримых преимуществ, которые стимулировали исследования, разработку и выпуск мелкими сериями некоторыми фирмами таких двигателей.

Несмотря на техническую простоту двигателя, принцип действия СПДС достаточно сложен. Отсутствие механического привода лишает конструкцию жесткой связи отдельных узлов и стабилизирующего действия маховика. По той же причине отсутствует, задаваемая механически, постоянная разность фаз между вытеснителем и рабочим поршнем. В отличие от модели

Шмидта, гармоническое движение поршней не имеет места, работа двигателя за цикл в результате не является константой, связанной с конструктивными параметрами двигателя. Расчет всех динамических параметров, в том числе и мощности, становится более сложной задачей, которая должна решаться в комплексе, совместно с нагрузкой на двигатель, зависящей от динамического режима.

Такой расчет возможен только на основе соответствующей математической модели и проведения численного эксперимента. В работах [1-3] нами были проведены исследования на данную тему.

Рассмотрим принцип действия СПДС Била при помощи сравнения графиков циклов ДС: классического, Шмидта и СПДС (рис.1). Для наглядности третий график из этого рисунка, отражающий зависимость от времени объемов камеры расширения, сжатия и полного объема представлен на следующем рисунке в сравнении с соответствующими графиками для двух упомянутых циклов.

Из приведенных графиков, можно отметить следующие характерные особенности:

1. Классический цикл Стирлинга имеет две изотермы (расширения и сжатия) и две изохоры, осуществляющие переход между изотермами. Движение поршней сопровождается разрывами в скорости (ударными нагрузками), что значительно осложняет, если не делает невозможным, его практическое осуществление.

2. Цикл Шмидта не имеет ни изотерм (поскольку в каждый момент времени газ совершает процесс расширения и сжатия при двух различных температурах), ни изохор и можно только условно говорить о преимущественно изотермическом или изохорном процессах. Движение поршней является гармоническим, т.е. наиболее простым для технической реализации. Поршни нуждаются в жесткой механической привязке к устройству, осуществляющему гармоническое движение с установлением требуемой разности фаз, что

предполагает наличие маховика и кривошипно-шатунного механизма.

3. Цикл СПДС имеет два чисто изотермических процесса: расширения (когда $V_c = 0$ и сжатия (когда $V_B = 0$) и два переходных процесса, которые только условно можно считать изохорными. Движение рабочего поршня, в общем случае не является гармоническим, но при определенном наборе входных параметрах, может считаться близким к гармоническому, в то время, как движение вытеснителя не только ему не соответствует, но и сопровождается разрывами в скорости, подобно классическому циклу Стирлинга.

Таким образом, цикл СПДС занимает, в определенном смысле, промежуточное положение между классическим циклом Стирлинга и циклом Шмидта. Основной недостаток этого цикла, ударные нагрузки при столкновении вытеснителя с рабочим поршнем или правым торцом, следует компенсировать путем выбора большого отношения масс ($m_{21} \sim 10$) и подходящего значения механических ударных характеристик d , e и f .

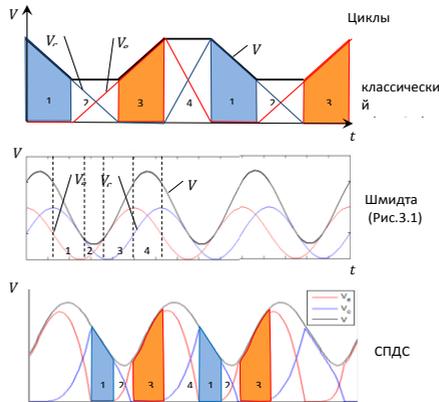


Рисунок 1 – Сравнение циклов Стирлинга:

где: V_B – объем расширения; V_C – объем сжатия; V – полный объем;
 1 – область изотермического сжатия; 2 – область нагревания; 3 – область изотермического расширения; 4 – область охлаждения

Из изложенного материала следует, что СПДС обладает очень простой конструкцией, но вместе с тем, является сложной автоколебательной системой, для анализа работы которой с целью выбора оптимальных конструктивных параметров и оптимизации ее режима работы нужна достаточно простая, но адекватная математическая модель, выраженная следующими соотношениями:

$$\frac{d^2 \tilde{x}_1}{dt^2} = \frac{P_0 S_2 t_m^2}{m_1 l_m} (P - 1) + \frac{t_m^2}{m_1 l_m} F_1; \quad (1)$$

$$\frac{d^2 \tilde{x}_2}{dt^2} = \frac{P_0 S_1 t_m^2}{m_2 l_m} (1 - S_{21})(P - 1) + \frac{t_m^2}{m_2 l_m} F_2, \quad (2)$$

где: S_1 – площадь поперечного сечения цилиндра двигателя;

S_2 – площадью поперечного сечения шток вытеснителя;

S_{21} – безразмерный параметр площади;

P_0 – давление газа в буферной области;

P – безразмерное давление;

l_m – начальная длина камеры расширения (масштаб длины);

\tilde{x}_1, \tilde{x}_2 – безразмерные координаты;

t – масштабный множитель;

t_m – масштаб времени;

m_1 – масса легкого вытеснителя, расположенного внутри цилиндра;

m_2 – масса тяжелого рабочего поршня;

F_1, F_2 – внешние силы (силы сопротивления и нагрузки).

В качестве масштаба длины выберем l и введем безразмерные координаты:

$$\tilde{x}_1 = \frac{x_1}{l_m}, \quad \tilde{x}_2 = \frac{x_2}{l_m} \quad (3)$$

Получим выражение для безразмерной силы

$$\tilde{F}_1 = \frac{F_1}{F_m} = -\frac{\beta_1 v_1}{F_m} \tilde{v}_1 = -\tilde{\beta} \tilde{v}_1, \quad (4)$$

где: F_1 – внешние силы (силы сопротивления и нагрузки);

β – коэффициент сопротивления вытеснителя;

$\tilde{\beta}$ – безразмерный коэффициент вытеснителя;

v_1 – скорость вытеснителя;

\tilde{v} – безразмерный параметр скорости вытеснителя.

$$F_2 = -\beta_2 v_2, \quad (5)$$

где: F_2 – сила, действующая на рабочий поршень;

β_2 – коэффициент сопротивления вытеснителя;

v_2 – скорость вытеснителя.

Компьютерная реализация описанной математической модели, основана на стандартной процедуре сведения системы двух дифференциальных уравнений второго порядка к системе четырех уравнений первого порядка с последующей записью его как одного векторного уравнения первого порядка:

$$\frac{du}{dt} = odef(t, u), \quad (6)$$

где:

$$u = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \text{ – вектор состояния системы;}$$

$$odef(t, u) = \frac{du}{dt} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ m_{21} \left(\frac{S_{21}}{1 - S_{21}} (P - 1) - \beta_1 v_1 + F' \right) \\ (1 - S_{21})(P - 1) - \beta_2 v_2 - F' \end{bmatrix} \quad (7)$$

– функция правой части системы:

$$F' = (e(x_2 - x_1 - d) + f(v_2 - v_1))(x_2 - x_1 < d)(v_1 > v_2) \quad (8)$$

– сила, действующая на поршни в момент их соприкосновения:

$$P = \frac{1 + x_D}{\frac{x_1}{\tau} + (1 + S_{21})(x_2 - x_1) + 2x_D / (1 + \tau)}. \quad (9)$$

Функция *odef* зависит от девяти безразмерных параметров: $\tau = T_1/T_0$, $m_{21}=m_2/m_1$, $S_{21}=S_2/S_1$, β_1 , β_2 , X_D , e , d , f . Большая часть этих параметров характеризуют конструктивные особенности данного СПДС и не меняются в процессе его эксплуатации. Назовем их конструктивными параметрами. Другие параметры: τ , β могут меняться в зависимости от режима эксплуатации. Будем называть их эксплуатационными. Цель построенной математической модели – подбор значений конструктивных и эксплуатационных параметров, которые бы соответствовали требуемым характеристикам СПДС.

Векторное дифференциальное уравнение (6) является нелинейным, т.к. компоненты векторной функции *odef* зависят от компонентов вектора состояния и нелинейным образом (через зависимость $P(x_1, x_2)$). Отсюда следует, что решение данного уравнения может быть получено только в результате численного метода. Каждое такое решение представляет численный эксперимент с заданием девяти безразмерных параметров.

Выводы:

- получена математическая модель работы свободнопоршневого двигателя Стирлинга, выраженная уравнениями (1-5);
- проведена компьютерная реализация математической модели, основанная на стандартной процедуре сведения системы двух дифференциальных уравнений второго порядка к системе четырех уравнений первого порядка с последующей записью его как одного векторного уравнения первого порядка;
- выполнена классификация безразмерных параметров, определяющих режим работы СПДС на конструкционные и эксплуатационные;

- определена цель построенной математической модели – подбор значений конструктивных и эксплуатационных параметров, которые бы соответствовали требуемым характеристикам СПДС.

Литература

1. Гапоненко А.М. Методика определения оптимальных параметров энергоэффективных систем энергоснабжения / А.М. Гапоненко, А.А. Каграманова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – №4(46). Ч. 2. – С. 80-84.

2. Гапоненко А.М. Исследование энергоэффективных систем энергоснабжения и оптимизация основных параметров / А.М. Гапоненко, А.А. Каграманова // Сб. статей Междун. науч.-практ. конф. «Современная наука: теоретический и практический взгляд». 15.04.2016 г. – Тюмень. НИЦ АЭТЕРНА, 2016 г. – С. 16-23.

3. Гапоненко А.М. Методика и алгоритм математического анализа многофакторной модели оптимальной конфигурации нетрадиционных и возобновляемых источников энергии / А.М. Гапоненко, А.А. Каграманова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – №4(46) Ч. 2. – С.76-79.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ СВОБОДНОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА

А.М. Гапоненко (д.т.н., проф.); А.А. Каграманова (аспирант)
*Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

Компьютерная реализация описанной математической модели, выраженной соотношениями (1-5) осуществлялась в системе программирования MATLAB [1].

Для получения и анализа решения была составлена программа-функция `fpsexr`. Центральный пункт этой программы – следующий вызов:

$$[t, u] = \text{ode15s}(\text{@odef}, [0, 600], u_0),$$

здесь: `ode15s` – функция-решатель, предназначенная для решения, в том числе, жестких ОДУ;

`@odef` – указатель на функцию `odef`, векторное уравнение первого порядка;

`[0, 600]` – промежуток программного времени, на котором рассматривается решение;

u_0 – начальное значение вектора состояния.

$$u_0 = \begin{bmatrix} x_{1,0} \\ x_{2,0} \\ v_{1,0} \\ v_{2,0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Выходные параметры:

t – вектор-столбец, содержащий выводимые моменты времени (выбираются программой автоматически);

u – значения вектора состояния в указанные моменты времени:

$$u(:,1) = x_1(:), u(:,2) = x_2(:), u(:,3) = v_1(:), u(:,4) = v_2(:).$$

Кроме этой функции листинг `fpsexp` содержит некоторые встроенные функции-утилиты, служащие для вычисления интересующих параметров и для их вывода в графическое окно.

Следует отметить, что качество работы СПДС нельзя охарактеризовать значением какого-либо одного параметра, поэтому для наглядного представления характера работы двигателя, приведены многочисленные графики, построенные в шести графических окнах двух графических фигур на основании решения. Эти графики описывают зависимости от времени следующих величин:

- координат и скоростей вытеснителя (x_1, v_1) и (x_2, v_2) ;
- объема расширения V_e , сжатия V_c и полного объема V :

$$V_e = x_1, V_c = (1 - S_{21})(x_2 - x_1), V = V_e + V_c + X_D$$

(напомним, что все величины даны в безразмерном виде);

- сила F_2 , действующая со стороны рабочего поршня на генератор ($F_2 = \beta_2 v_2$);

- давление внутри цилиндра P ;

- мгновенная мощность, развиваемая рабочим поршнем $N_W = F_2 v_2$;

- мгновенная мощность, развиваемая газом $N = PV$ (здесь \dot{V} – производная объема по времени).

Кроме отмеченных графиков временных зависимостей, приводятся также фазовые графики $F_2 - x_2$ и $P - V$, по которым легко можно судить об отклонении соответствующего процесса от гармонического: чем ближе данный процесс к гармоническому, тем более близок его график к эллипсу.

В графическом окне выводятся следующие исходные данные (параметры, задающие специфику данного численного эксперимента):

$\tau = \frac{T_1}{T_0}$ – отношение температуры нагревателя к температуре окружающей среды;

$S_{21} = \frac{S_2}{S_1}$ – отношение площади вытеснителя к площади поперечного сечения штока;

$m_{21} = \frac{m_2}{m_1}$ – отношения массы рабочего поршня к массе вытеснителя;

$X_D = \frac{V_D}{V_1}$ – отношение мертвого объема к объему газа при температуре T_0 ;

$\beta_1 = \frac{|F_1|}{v_1}$ – коэффициент гидродинамического сопротивления движению вытеснителя;

$\beta_2 = \frac{|F_2|}{v_2}$ – коэффициент электродинамического

сопротивления движению рабочего поршня;

l_{max} – максимальная длина рабочего хода поршня до ограничителя;

d – максимальное расстояние взаимодействия между поршнем и вытеснителем;

f – постоянная демпфирования при взаимодействии поршней;

e – постоянная упругости взаимодействия поршней.

Некоторые параметры, вычисленные по результатам моделирования, также выводятся в графическом окне:

T – период колебаний двигателя;

δ – отставание по фазе максимума смещения вытеснителя от максимума смещения поршня $\left(\delta = \frac{t_{2max} - t_{1max}}{T} \right) \cdot 2\pi$;

A_c – работа газа за цикл, $A_c = \int PdV$ (вычисляется путем интегрирования);

A_w – механическая работа поршня за цикл, $A_w = \int F_2 dx_2$;

$\frac{A_w}{A_c}$ – характеризует к.п.д. при переходе термодинамической работы газа в электродинамическую работу поршня;

N_w – средняя полезная мощность за цикл, $N_w = \frac{A_w}{T}$.

При $T_0 = 300 K$ $T_1 = 360 K$ ($87^\circ C$), средняя мощность $N_w = 0.00638$. В размерных параметрах двигателя $N_w = 1,42 кВт$

Одним из основных критериев качества работы СПДС является средняя рабочая мощность N_w [2]. Как показывают

многочисленные эксперименты, значение этого критерия существенно зависит от значений конструктивных и эксплуатационных параметров. Возникает задача отыскания оптимального сочетания этих параметров.

Для нормальной работы СПДС требуется демпфирование упругих сил при взаимодействии вытеснителя с рабочим поршнем и торцом рабочей камеры. В качестве характеристики такого взаимодействия в настоящей модели используются параметры d, e, u, f . Численные эксперименты показали нарушение работы при недостаточном демпфировании упругих взаимодействий. На это нарушение указывает искажение, изотермичности фаз расширения и сжатия, что приводит к уменьшению N_w .

В связи с актуальностью применения в качестве НВИЭ низкопотенциального гидротермального тепла рассмотрим возможность работы СПДС при малых τ . Рассмотрим работу СПДС при отношении температур $\tau = 1,2$, что соответствует (при температуре $T_0 = 27$ °C), $T_1 = 360 K = 87$ °C численный эксперимент приводит к следующим вполне приемлемым результатам: $N_w = 0,00638$, что при размерных параметрах двигателя приводит мощности к 1,42 кВт, при практически полностью гармоническом характере колебаний рабочего поршня.

Важен вопрос о наименьшей температуре, при которой СПДС может устойчиво работать в рамках настоящей модели [3]. Численный эксперимент показал, что режим работы для случая с $\tau = 1,13$, что соответствует температуре нагревателя (при той же T_0) $T_1 = 66$ °C.

Что дает значения средней мощности $N_w = 0.001$. В размерных параметрах двигателя $N_w = 0,223$ кВт.

Этот результат также можно считать приемлемым, поскольку при достаточно низкой температуре нагревателя, $N_w = 0,001 = 0,223$ кВт. Если же увеличить размер рабочей

камеры, как отмечалось выше, то мощность можно поднять до значения $N_w = 1,78$ кВт.

Таким образом, значение температурного фактора $\tau = 1,13$ является предельно допустимым, поскольку, при более низком его значении, не удалось подобрать таких значений безразмерных параметров, которые бы обеспечили устойчивую работу двигателя. Учитывая, что при разработке математической модели, изначально были сделаны существенные допущения, последний результат нуждается в экспериментальной) проверке.

Выводы:

1. Для процесса численного моделирования работы СПДС авторами была разработана компьютерная программа *fpsexp* на языке MATLAB, Программа составлена таким образом, чтобы выдавать максимум графической и цифровой информации, наглядно характеризующих качество работы двигателя.

3. Два эксперимента посвящены исследованию возможности использования СПДС для преобразования низкопотенциального тепла в электроэнергию. А именно в эксперименте №1 использовался диапазон температур $87\text{ }^\circ\text{C} - 27\text{ }^\circ\text{C}$, что обеспечило для стандартной модели мощность 1,42 кВт.

3. В эксперименте №2 рассматривался «сверхмалый» диапазон температур $66\text{ }^\circ\text{C} - 27\text{ }^\circ\text{C}$. С помощью подборки входных параметров удалось обеспечить устойчивый режим с мощностью в 0,223 кВт или в 1,78 кВт при указанном выше изменении масштабов. Установлено, что этот результат является предельно допустимым, т.к. при более низком диапазоне не удалось добиться устойчивого режима работы модели.

Литература

1. Ануфриев И.Е. MATLAB 7 / И.Е. Ануфриев, А.Б. Смирнов, Е.Н.Смирнова – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.

2. Гапоненко А.М. Оптимизация состава комплекса возобновляемых источников энергии с использованием

кластерного подхода и теории случайных процессов / А.М. Гапоненко, А.А. Каграманова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ. – 2016. – №02(116). – С. 94 – 109. – IDA [article ID]: 1161602005. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/02/pdf/05.pdf>.

3. Гапоненко А.М. Методика определения оптимальных параметров энергоэффективных систем энергоснабжения / А.М. Гапоненко, А.А. Каграманова // Международный науч-но-исследовательский журнал. – 2016. – №4(46). Ч. 2. – С. 80-84.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ГИБРИДНОГО КЛАСТЕРА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА КОМПЛЕКСА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

А.М. Гапоненко (д.т.н., проф.); А.А. Каграманова (аспирант)
Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)

В настоящее время, перед российской возобновляемой энергетикой стоят задачи, требующие обновленного метода в решении проблемы устойчивого гарантированного и экономически целесообразного для удаленных объектов, регионов, территорий обеспечения энергией.

В качестве такого метода рационально использование расширенного комплексного применения различных видов НВИЭ (кластеров) с учетом природно-климатического потенциала определенного региона [1].

В зависимости от потребностей и возможностей заказчик (частные лица, мелкие производители, муниципалитеты) на удаленных территориях сам может выбрать тип кластера и соотношения по видам НВИЭ. В связи с этим мотивацией для роста интереса к НВИЭ является рост стоимости органических топлив, иссякаемость их запасов на планете и объективный

вектор на постепенное снижение удельных затрат при использовании НВИЭ в мире.

Рассмотрим имитационную модель гибридного кластера, следуя [2], которая в общем виде может быть представлена уравнением:

$$G_{кл} = f \left[v(A, E, S, M, F); v(d, h, k, p, s, sp); CC_j, U_j \right] \quad (1)$$

где $G_{кл}$ – показатель эффективности гибридного кластера (комплекса НВИЭ); v – совокупность факторов воздействия внешней среды: скорость ветра (ВЭУ), инсоляция (ФЭП, СК), напор, расход (мГЭС), температура НПИ (ТН), режим метангенерации (БГУ); A, E, S, M, F – тип кластера в зависимости от доли замещаемой мощности (кластеры: A – микро; E – мини; S – малый; M – средний; F – полный); d, h, r, p, s, sp – тип кластера в зависимости от вида НВИЭ в системе: d – двойной гибрид (ДГ+ВЭУ или ДГ+ФЭП или ДГ+мГЭС и т.п.); h – трио-кластер (ДГ+ВЭУ+ФЭП или ДГ+ВЭУ+мГЭС); k – quadro-кластер (ДГ+ВЭУ+ФЭП+мГЭС); p – пента-кластер (ДГ+ВЭУ+ФЭП+мГЭС+ТН+БГУ); s – сикстет-кластер (ДГ+ВЭУ+ФЭП+мГЭС+ТН+БГУ); sp – септ-кластер (ДГ+ВЭУ+ФЭП+мГЭС+ТН+БГУ+СК); CC_j – себестоимость производства 1 кВт·ч разными видами НВИЭ; U_j – стоимость кВт установленной мощности вида НВИЭ.

В общем виде объект исследования можно представить в виде структурной схемы, показанной на рис. 1.

Рассмотрение объекта в виде такой схемы основано на принципе «черного ящика», который имеет следующие группы параметров:

1. X_i – управляющие (входные), которые называются факторами;
2. Y_i – выходные параметры, которые называются параметрами состояния;
3. W_i – возмущающие воздействия.

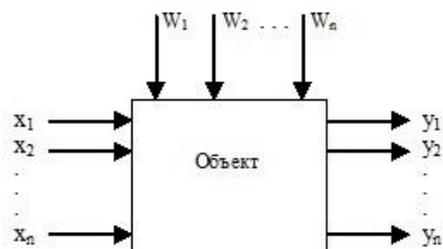


Рисунок 1 – Алгоритм математического анализа многофакторной модели для ВИЭ

Учитывая, что возмущающие воздействия W_i не поддаются контролю, следовательно, являются случайными или меняющимися во времени (скорость ветра, инсоляция, температура воздуха, грунта, теплоносителя).

Каждый фактор X_i имеет область определения, которая должна быть установлена до проведения эксперимента (CC_j – себестоимость выработки кВт·ч энергии или удельная стоимость оборудования U_j для 1 кВт установленной мощности).

Сочетание представленных факторов можно представить как точку в многомерном пространстве, описывающую состояние системы.

В реальных условиях цель многофакторного эксперимента заключается в установлении зависимости

$$y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (2)$$

описывающей поведение объекта. Как правило, функция (2) строится в виде полинома

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2, \quad (3)$$

или

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_{11} x_1^2 + a_{22} x_2^2 + a_{12} x_1 x_2, \quad (4)$$

где x_i – управляющие параметры, a_i , a_{ij} – соответствующие коэффициенты, описывающие вклад каждого управляющего параметра.

Построение зависимости (2) при минимальном количестве измерений значений управляющих параметров x_i было целью эксперимента.

Задача идентификации объекта (построение функции отклика) во многом аналогична электротехническим задачам.

Главная практическая задача заключается в определении оптимальных условий для исследуемого объекта [3]. При многофакторном эксперименте необходимо найти значения факторов x_i таких, при которых отклик системы y_i принимает значения y_{\max} или y_{\min} . Таким образом, строится целевая функция отклика

$$y = y(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (5)$$

и задача оптимизации сводится к определению $x_{1\text{опт}}, x_{2\text{опт}}, \dots, x_{k\text{опт}}$, обеспечивающих экстремум функции цели

$$y = y(x_{1\text{онм}}, x_{2\text{онм}}, \dots, x_{k\text{онм}}) = y_{\min}(y_{\max}). \quad (6)$$

Вместе с этим, на значения факторов накладываются дополнительные ограничения

$$y = y(x_1, x_2, \dots, x_k) \{ \Leftrightarrow \} R_i. \quad (7)$$

Следовательно, задачей оптимизации является нахождение экстремума функции отклика при условии, что сама функция априори неизвестна. Таким образом, экстремум будет означать минимальную стоимость оборудования, входящего в рассматриваемый кластер ВИЭ, при минимальном сроке окупаемости комплекса. Эта задача может быть решена многими способами:

1. Посредством полного факторного эксперимента строится нелинейная модель функции отклика, и затем у этой функции находится экстремум. Такая модель может оказаться сложной и потребовать большого количества опытов, так как требования нахождения ее экстремума создают необходимость проведения полного факторного эксперимента в широком диапазоне варьирования и при большом числе опытов.

2. Наиболее практически приемлемым оказывается «пошаговый» подход к решению задачи нахождения экстремума. При этом эксперимент проводится в ограниченной

области, то есть используется конкретный набор возмущающих воздействий W_i (скорость ветра, инсоляция). Определяется направление роста функции отклика (при нахождении максимума) или направление падения функции отклика (при нахождении минимума). Далее эксперимент проводится в следующей области и т.д. Таким образом, проводится последовательный поиск экстремума функции отклика. В этом случае задача оптимизации может быть решена без полного описания функции отклика во всей области варьирования факторов. Пошаговое движение происходит до падения функции в частный оптимум (экстремум функции в выбранном направлении).

В итоге пошагового движения обоими методами определяем квазистационарную область, близкую к точке оптимума. Эта область априори не может быть описана гиперплоскостью и требует описания в виде нелинейной модели (гиперболоида, параболоида и т.д.).

Определить оптимальную конфигурацию кластера ВИЭ для малых мощностей позволяет использование многофакторной модели.

В качестве критерия эффективности проектного решения можно принять критерий минимального разброса стоимости одного кВт·ч отпускаемой кластером электроэнергии при заданном простом сроке окупаемости.

Допустим, имеем $n+1$ источник энергии: будем считать независимой от случайных возмущений работу одного из них (например, работу дизеля). Назовем такой источник безрисковым. Работа оставшихся n источников ВИЭ подвержена случайным возмущениям (например, использование ветровой и солнечной энергии). Такие источники – рискованные.

Обозначения: a – количество электроэнергии, вырабатываемое кластером (в единицу времени); b – допустимый уровень средней стоимости 1 кВт·ч, вырабатываемого кластером; r_0 – стоимость эксплуатации безрискового источника за единицу времени (содержится как

стоимость оборудования, так и стоимость обслуживания); r_k – стоимость эксплуатации в течение часа k -типа оборудования из рискованных источников; x_0 – доля (от a), вырабатываемая безрисковым источником; x_k – доля (от a), вырабатываемая k -рисковым источником.

Измеряемые случайные величины: Z_k – количество энергии, вырабатываемой за единицу времени k -рисковым источником.

Пусть для каждой из случайных величин Z_k имеется выборка из N наблюдений.

Вычисляемые (по выборке для Z_k) случайные величины:

$$Y_k = \frac{r_k}{Z_k}, \quad (8)$$

где Y_k – стоимость энергии, произведенного k -рисковым источником за единицу времени.

Далее получим для каждой из случайных величин Y_k выборку, также состоящую из N наблюдений:

$$\frac{Y}{a} = x_0 r_0 + x_1 Y_1 + x_2 Y_2 + \dots + x_n Y_n, \quad (9)$$

где Y/a – стоимость энергии, вырабатываемой кластером за единицу времени (это случайная величина, тогда как первое слагаемое в правой части – неслучайно).

Находим для Y_k по выборкам: m_k – средняя стоимость энергии, вырабатываемой k -источником за единицу времени (выборочное среднее по Y_k); m_2 – средняя стоимость 1 кВт·ч, вырабатываемого Солнцем (выборочное среднее по Y_2);

$$m = M\left(\frac{Y}{b}\right) = x_0 r_0 + x_1 m_1 + x_2 m_2, \quad (10)$$

где m – средняя стоимость энергии, вырабатываемой кластером за единицу времени; b – допустимый уровень средней стоимости 1 кВт·ч, вырабатываемого кластером ($b < r_0$).

Выводы:

1. Проведена классификация НВИЭ в зависимости от состава и уровня замещения мощности.

2. Рассмотрена имитационная модель гибридного кластера НВИЭ и определена структура функционала для показателей его эффективности.

3. Предложен «пошаговый» подход к решению задачи нахождения экстремума функции отклика нелинейной модели полного факторного эксперимента.

4. Описан алгоритм математического анализа многофакторной модели для НВИЭ с учетом случайного характера динамических характеристик.

Литература

1. Велькин В.И. Оптимизация выбора энергообеспечения на основе кластерного подхода в использовании возобновляемых источников энергии / В.И. Велькин // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – №02 (106). – С. 61-66.

2. Гапоненко А.М. Оптимизация состава комплекса возобновляемых источников энергии с использованием кластерного подхода и теории случайных процессов / А.М. Гапоненко, А.А. Каграманова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №02(116). – С. 94-109. – IDA [article ID]: 1161602005. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/02/pdf/05.pdf>.

3. Гапоненко А.М. Методика и алгоритм математического анализа многофакторной модели оптимальной конфигурации нетрадиционных и возобновляемых источников энергии / А.М. Гапоненко, А.А. Каграманова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – №4(46). Ч. 2. – С. 76-79.

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРОВОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В СХЕМЕ ГТУ С ВПРЫСКОМ СУХОГО ПАРА В РЕГЕНЕРАТОР ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В.В. Шапошников (к.т.н.), Б.В. Бирюков (к.т.н., доц.),
И.И. Шевчук (студентка), А.В. Шапошников (студент)
Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)

Электрическая энергия в России вырабатывается в основном на паротурбинных электростанциях, многие из которых исчерпали свой ресурс. Проектирование и строительство новых объектов энергетики производится с использованием газотурбинных и парогазовых технологий. Выбор в их пользу связан с тем, что достигнутые температуры рабочего тела позволяют генерировать электричество с большим КПД. Однако у газотурбинных и парогазовых установок еще не исчерпан потенциал по повышению эффективности.

Ранее была рассмотрена схема производства электроэнергии на парогазовой установке смешения с двухступенчатым сжатием воздуха и впрыском сухого насыщенного пара в регенератор высокого давления [1, 2]. Применение такого решения позволило повысить КПД установки с 36,5 % до 47,0 %, а полезную мощность с 20,0 МВт до 34,0 МВт.

За базовую принималась установка АД-31СТ, ее параметры: массовый расход сжимаемого в воздушном компрессоре воздуха – 61,0 кг/с; внутренний КПД компрессора – 0,8741; внутренний КПД турбины – 0,92; механический КПД – 0,98; КПД электрогенератора – 0,97. Эффективный КПД базовой установки составил 36,5 % [3].

Дальнейшее повышение эффективности может быть достигнуто за счет применения парового охлаждения вместо воздушного. Для исследования была выбрана схема, представленная на рис. 1. Использована нумерация согласно обобщенной схеме ГТУ [4].

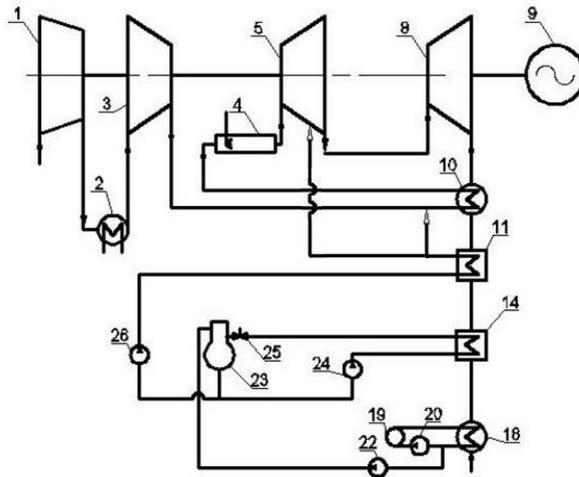


Рисунок 1 – Схемы ПГУ с двухступенчатым сжатием воздуха в компрессорах и впрыском сухого пара в регенератор высокого давления:

1 – компрессор низкого давления, 2 – охладитель воздуха, 3 – компрессор высокого давления, 4 – камера сгорания, 5 – турбина высокого давления, 8 – турбина низкого давления, 9 – электрогенератор, 10 – регенератор высокого давления (РВД), 11 – паровой котел-утилизатор (ПКУ), 14 – экономайзер подпиточной воды, 18 – контактный газоохладитель (ГО), 19 – аппарат воздушного охлаждения, 20 – циркуляционный электронасос, 22 – конденсатный электронасос, 23 – деаэрактор перегретой воды, 24 – подпиточный электронасос, 25 – редукционный клапан, 26 – питательный электронасос №1

Исследование проводилось с помощью программного комплекса «Система автоматизированного расчета ГТУ и ПГУ смешения» [5, 6]. Расчеты показали дальнейший прирост КПД и полезной мощности, приведенные на рис. 2 и в табл. 1. Максимум КПД достигнут при давлении 2,5 МПа и составил 49,1 %.

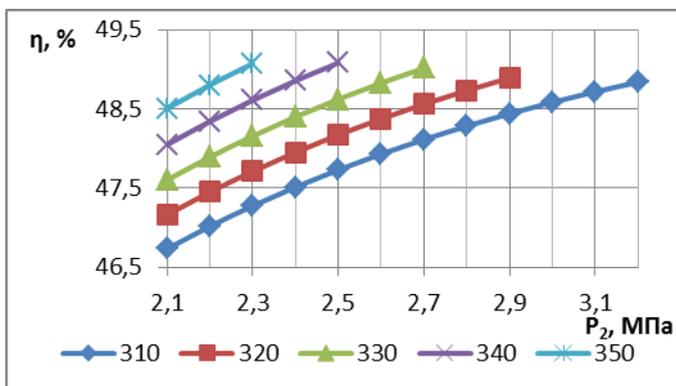


Рисунок 2 – Зависимость КПД установки от давления на выходе из компрессора высокого давления

Таблица 1 – Параметры установки при температуре после регенератора 330 °С.

Давление после компрессора	Мощность компрессора	Общий расход топлива	Мощность установки	КПД установки	Тепловая мощность РВД	Тепловая мощность ПКУ	Тепловая мощность ГО	Средний температурный напор на РВД
МПа	МВт	кг/с	МВт	%	кВт	кВт	кВт	°С
2,1	22,4	1,903	39,8	47,6	9,5	18,8	28,0	190
2,2	22,8	1,904	40,0	47,9	9,2	18,9	27,5	182
2,3	23,2	1,904	40,3	48,2	9,0	18,9	27,0	174
2,4	23,6	1,904	40,5	48,4	8,8	18,9	26,6	166
2,5	24,0	1,905	40,7	48,6	8,6	18,9	26,2	159
2,6	24,4	1,905	40,8	48,8	8,4	18,9	25,9	152
2,7	24,7	1,906	41,0	49,0	8,2	18,9	25,5	146

Вывод: применение парового охлаждения вместо воздушного в ПГУ с двухступенчатым сжатием воздуха и впрыском

сухого насыщенного пара из котлов–утилизаторов в регенеративный воздухоподогреватель позволяет повысить КПД установки до 49,1 %, что превышает эффективность схемы с воздушным охлаждением на 2,1 %.

Литература

1. Шапошников В.В. Сравнение эффективности тепловых схем и циклов ПГУ с впрыском водяного пара из котла-утилизатора в газовый тракт [Электронный ресурс] / В.В. Шапошников, Б.В. Бирюков, А.В. Шапошников // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №2. – Режим доступа: www.science-education.ru/122-21208.

2. . Пат. на полезную модель РФ № 140778. Парогазовая установка / Б.В. Бирюков, В.В. Шапошников. Зарег. 28.01.2014 г.

3. Ольховский Г.Г. Газотурбинные и парогазовые установки в России. / Г.Г. Ольховский // Теплоэнергетика. – 1999. – №1. – С. 2-9.

4. Бирюков Б.В. Математическая модель обобщенной схемы ГТУ с использованием теории графов / Б.В. Бирюков, В.В. Шапошников // Промышленная энергетика. – 2015. – №2. – С. 29-33.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015613955 Российская Федерация Система автоматизированного расчета ГТУ и ПГУ смешения / В.В. Шапошников, Б.В. Бирюков, (РФ).- № 2015613955; заявл. 04.02.15; опубл. 31.02.15.

6. Бирюков Б.В. Программный комплекс «Система автоматизированного расчета газотурбинных установок и парогазовых установок смешения» / Б.В. Бирюков, В.В. Шапошников // Промышленная энергетика. – 2016. – №4. – С. 41-45.

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРОВОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В СХЕМЕ ГТУ С ВПРЫСКОМ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА В КАМЕРУ СГОРАНИЯ

В.В. Шапошников (к.т.н.), Б.В. Бирюков (к.т.н., доц.),
И.И. Шевчук (студентка), А.В. Шапошников (студент)
*Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

Для выработки электрической энергии в России в основном используются паротурбинные электростанции. Многие из них, однако, исчерпали свой ресурс. В связи с этим, интерес представляет использование газотурбинных и парогазовых технологий, которые дают возможность генерировать электрическую энергию с большим КПД. Между тем, не все возможности по повышению их эффективности использованы.

Ранее была рассмотрена схема производства электроэнергии на парогазовой установке смешения с двухступенчатым сжатием воздуха и впрыском перегретого пара камеру сгорания. Применение такого решения позволило повысить КПД установки с 36,5 % до 43,69 %, а полезную мощность с 20,0 МВт до 27,8 МВт.

За базовую принималась установка АД-31СТ, ее параметры: массовый расход сжимаемого в воздушном компрессоре воздуха – 61,0 кг/с; внутренний КПД компрессора – 0,8741; внутренний КПД турбины – 0,92; механический КПД – 0,98; КПД электрогенератора – 0,97. Эффективный КПД базовой установки составил 36,5 %. [2]

Дальнейшее повышение эффективности может быть достигнуто за счет применения парового охлаждения вместо воздушного. Для исследования была выбрана схема, представленная на рис. 1. Использована нумерация согласно обобщенной схеме ГТУ [3].

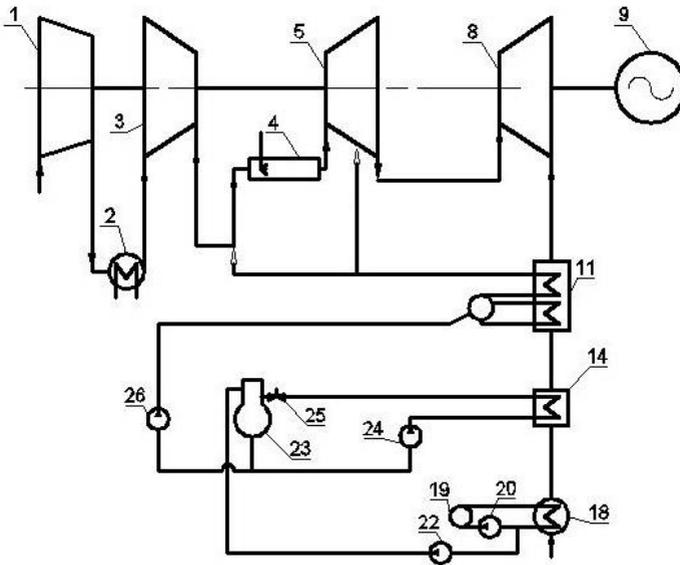


Рисунок 1 – Схема ПГУ с двухступенчатым сжатием воздуха в компрессорах и впрыском перегретого пара в камеру сгорания: 1 – компрессор низкого давления, 2 – охладитель воздуха, 3 – компрессор высокого давления, 4 – камера сгорания, 5 – турбина высокого давления, 8 – турбина низкого давления, 9 – электрогенератор, 11 – паровой котел-утилизатор (ПКУ), 14 – экономайзер подпиточной воды, 18 – контактный газоохладитель (ГО), 19 – аппарат воздушного охлаждения, 20 – циркуляционный электронасос, 22 – конденсатный электронасос, 23 – деаэратор перегретой воды, 24 – подпиточный электронасос, 25 – редукционный клапан, 26 – питательный электронасос

Исследование проводилось с помощью программного комплекса «Система автоматизированного расчета ГТУ и ПГУ смешения» [4, 5]. Расчеты показали дальнейший прирост КПД и полезной мощности, приведенные на рис. 2 и в табл. 1. Максимум КПД был достигнут при давлении 2,9 МПа и составил 45,77 %.

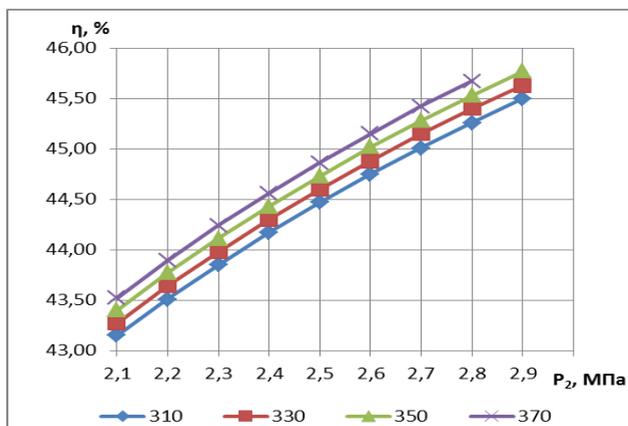


Рисунок 2 – Зависимость КПД установки от давления на выходе из компрессора высокого давления

Таблица 1 – Параметры установки при температуре после регенератора 330 °С.

Давление после компрессора	Мощность компрессора	Общий расход топлива	Мощность установки	КПД установки	Мощность пароперегревателя	Мощность ПКУ	Тепловая мощность ГО	Температурный напор на пароперегревателе
МПа	МВт	кг/с	МВт	%	МВт	МВт	МВт	°С
2,1	22,4	2,10	39,9	43,3	2,66	21,75	35,93	224
2,2	22,8	2,10	40,2	43,6	2,63	21,76	35,25	215
2,3	23,2	2,09	40,4	43,9	2,60	21,77	34,59	207
2,4	23,6	2,09	40,6	44,3	2,57	21,78	33,98	199
2,5	24,0	2,08	40,8	44,6	2,55	21,79	33,39	191
2,6	24,4	2,08	40,9	44,9	2,52	21,80	32,84	184
2,7	24,7	2,08	41,2	45,2	2,49	21,80	32,31	177
2,8	25,1	2,07	41,3	45,4	2,47	21,81	31,81	170
2,9	25,4	2,07	41,5	45,6	2,45	21,81	31,33	164

Вывод: применение парового охлаждения вместо воздушного в ПГУ с двухступенчатым сжатием воздуха позволяет повысить КПД установки до 45,77 %, что превышает эффективность схемы с воздушным охлаждением на 2,08 %.

Литература

1. Шапошников В.В. Сравнение эффективности тепловых схем и циклов ПГУ с впрыском водяного пара из котла-утилизатора в газовый тракт [Электронный ресурс] / В.В. Шапошников, Б.В. Бирюков, А.В. Шапошников // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №2. – Режим доступа: www.science-education.ru/122-21208.

2. Ольховский Г.Г. Газотурбинные и парогазовые установки в России. / Г.Г. Ольховский // Теплоэнергетика. – 1999. – №1. – С. 2-9.

3. Бирюков Б.В. Математическая модель обобщенной схемы ГТУ с использованием теории графов / Б.В. Бирюков, В.В. Шапошников // Промышленная энергетика. – 2015. – №2. – С. 29-33.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015613955 Российская Федерация Система автоматизированного расчета ГТУ и ПГУ смешения / В.В. Шапошников, Б.В. Бирюков, (РФ).- № 2015613955; заявл. 04.02.15; опублик. 31.02.15.

5. Бирюков Б.В. Программный комплекс «Система автоматизированного расчета газотурбинных установок и парогазовых установок смешения» / Б.В. Бирюков, В.В. Шапошников // Промышленная энергетика. – 2016. – №4. – С. 41-45.

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ИСПАРИТЕЛЬНОГО УЧАСТКА ПРЯМОТОЧНОГО ПАРОГЕНЕРАТОРА

Р.А. Пахомов (к.т.н., доц.), Н.Г. Андрейко (к.т.н., доц.)
Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)

Зона перехода от испарительного участка прямооточного парогенератора к перегревателю характеризуется наиболее сложными процессами гидродинамики и теплообмена. В этой зоне происходит изменение характера потока - переход от двухфазного состояния к однофазному. При этом структура двухфазного потока (по причине неустойчивости гидродинамики) претерпевает изменения: поток может иметь разную структуру - дисперсную, дисперсно-пленочную и др. [1].

Приведена методика расчета нестационарных температур, термических напряжений и долговечности теплопередающей стенки применительно к условиям экспериментов. Кроме того, решается обратная задача - определяются неравновесные локальные значения коэффициентов теплоотдачи. Последнее, позволяет получить некоторые дополнительные представления о механизмах гидродинамики и теплообмена на входных пароперегревательных участках. Решение прямой задачи может быть использовано для расчета подобных процессов в пароперегревателях энергетических парогенераторов.

Для расчета используются результаты экспериментальных исследований температурного режима входного участка пароперегревательного канала (ППК) с предвключенным необогреваемым участком при наличии малой влажности в насыщенном паре на входе $w_0=1,3\%$ при давлении $P=6,9$ МПа, удельных массовых расходах: $\rho_w=1150$ кг/м²с и плотности теплового потока $q=0,49$ МВт/м². Движение пара в вертикально расположенном рабочем участке - восходящее. Эксперименты проводились на прямооточном пароводяном стенде, питание которого водой и паром осуществлялось от парогенератора высокого давления.

Рабочий участок был выполнен из трубы (нержавеющая сталь 12Х18Н10Т, диаметром 15×1 мм). Он представлял собой сборку из предвключенного необогреваемого участка (длиной 2,5 м), на котором происходила гидродинамическая стабилизация потока пара, и равномерно обогреваемого участка ППК (длиной 0,15 м). Обогрев производился переменным током промышленной частоты, пропускаемым по стенке трубы.

На входе предвключенного участка устанавливается толщиномер для определения толщины жидкой пленки и регистрации режима ее течения по стенке канала. Для измерения температур стенки обогреваемого участка к его наружной поверхности вдоль образующей приваривались пять хромель-капелевых термопар на расстоянии 21, 33, 35, 46 и 70 мм от входа. При указанных параметрах влажного пара (y_0 ; σ_w ; P ; q) осциллограф фиксировал периодические низко частотные пульсации температур входного участка ППК.

Представленные пульсации являются следствием образования на необогреваемой поверхности предвключенного участка тонкой ламинарно-волновой жидкой пленки и ее натекания на обогреваемую поверхность канала. При этом, в связи с образованием на поверхности “сухих” пятен между гребнями волн и последующим их смачиванием происходит чередование режимов теплоотдачи. Кроме температурных пульсаций, в зоне высыхания пленок происходит хлорирование внутренней поверхности, что также уменьшает ресурс ППК.

Для определения причины преждевременного повреждения пароперегревательных каналов из аустенитной стали определим напряжения и долговечность при пульсациях температур стенки.

Особенно большое влияние на долговечность конструкции при колебаниях температуры оказывает коррозия, так как при этом на поверхности образуется мелкая сетка трещин, которые повреждают наружный слой металла и являются концентраторами напряжений.

Естественно, что совместное действие переменных напряжений и коррозии приводит к значительно более быстрому разрушению металла, чем раздельное их действие, так как эти процессы усиливают друг друга. Усталость такого рода выделена в самостоятельное понятие, называемое коррозионной усталостью.

Установлена связь между локальными пульсациями температур и процессом язвенной коррозии [3]. Эксперименты показали неустойчивость оксидной пленки при колебаниях температуры ± 50 К и фазовом изменении среды. Сделан вывод, что коррозия вызывается тепловыми менами, приводящими к разрушению оксидной пленки. При снижении амплитуды колебания температуры до 25-30 К коррозию удается предотвратить.

Безусловно самый надежный метод определения долговечности при пульсациях температур- ресурсные испытания в натуральных условиях. Однако, применительно к элементам энергооборудования, рассчитанного на длительную эксплуатацию, этот метод практически непригоден, так как при большой стоимости таких испытаний их результатов пришлось бы ждать несколько лет. Поэтому в настоящее время в основном используются расчетные оценки ресурса с помощью той или иной модели или проводятся отдельные эксперименты, чаще всего носящие иллюстративный характер, при которых пульсации температур обычно создаются искусственным путем.

Для оценки долговечности при пульсациях температур необходимо располагать установленными характеристиками материала и данными о пульсациях температурных напряжений [2]. По полученным параметрам пульсаций напряжений на входных участках пароперегревателей Краснодарской ТЭЦ для оценки долговечности определим интенсивность пульсаций напряжений:

$$S_{\sigma} = \sqrt{\frac{\Delta\sigma^2}{2}}, \quad (1)$$

где $\Delta\sigma$ - размах колебаний напряжений.

$$\Delta\sigma = \frac{8,1 - (-7)}{2} = 7,55 \text{ МПа},$$

Для котла ТП-15:

$$S_\sigma = \sqrt{\frac{7,55^2}{2}} = 5,33 \text{ МПа}.$$

$$\Delta\sigma = \frac{10,3 - (-9,0)}{2} = 9,7 \text{ МПа},$$

Для котла ПК-19:

$$S_\sigma = \sqrt{\frac{9,7^2}{2}} = 6,9 \text{ МПа}.$$

Интенсивность пульсаций температур

$$S_\square = \sqrt{\frac{\Delta T}{2}}, \quad (2)$$

где ΔT - размах колебаний температур.

$$\Delta T = \frac{327,9 - 318,3}{2} = 4,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Для котла ТП-15:

$$S_T = \sqrt{\frac{4,8^2}{2}} = 3,4 \text{ МПа}$$

$$\Delta T = \frac{331,1 - 310,8}{2} = 10,15 \text{ }^\circ\text{C}$$

Для котла ПК-19:

$$S_T = \sqrt{\frac{10,15^2}{2}} = 7,2 \text{ МПа}$$

Эффективный период $t_{CT} = 5,2 \text{ с}$ для всех котлов.

Напряжение от давления σ_θ , МПа

$$\sigma_\theta = \frac{P \cdot r_B^2 \left(1 + \frac{r_H^2}{r^2} \right)}{r_H^2 - r_B^2}, \quad (3)$$

где P - давление, МПа

$$r = \frac{r_B + r_H}{2}$$

r_B - внутренний радиус трубки, мм;

r_H - наружный радиус трубки, мм.

Напряжения σ_z и σ_τ , МПа

$$\sigma_z = \frac{P \cdot r_B^2}{r_H^2 - r_B^2}, \quad (4)$$

$$\sigma_\tau = \frac{P \cdot r_B^2 \left(1 - \frac{r_H^2}{r^2} \right)}{r_H^2 - r_B^2}. \quad (5)$$

Для котла ТП-15: $\varnothing 32 \times 3,5$; $P=10$ МПа;

$$d_H=32 \text{ мм}; \quad r_H=16 \text{ мм};$$

$$d_B=25 \text{ мм}; \quad r_B=12,5 \text{ мм};$$

$$r=14,25 \text{ мм},$$

$$\sigma_\theta = \frac{10 \cdot 12,5^2 \left(1 + \frac{16^2}{14,25^2} \right)}{16^2 - 12,5^2} = 35,41 \text{ МПа},$$

$$\sigma_z = \frac{10 \cdot 12,5^2}{16^2 - 12,5^2} = 15,66 \text{ МПа},$$

$$\sigma_\tau = \frac{10 \cdot 12,5^2 \left(1 - \frac{16^2}{14,25^2} \right)}{16^2 - 12,5^2} = -4,08 \text{ МПа}.$$

Для котла ПК-19: $\varnothing 32 \times 3,0$; $P=9,5$ МПа;

$$d_H=32 \text{ мм}, \quad r_H=16 \text{ мм},$$

$$d_B=29 \text{ мм}, \quad r_B=14,5 \text{ мм}, \quad r=15,25 \text{ мм},$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{9,5 \cdot 14,5^2 \left(1 + \frac{16^2}{15,25^2} \right)}{16^2 - 14,5^2} = 91,7 \text{ МПа},$$

$$\sigma_z = \frac{9,5 \cdot 14,5^2}{16^2 - 14,5^2} = 43,6 \text{ МПа},$$

$$\sigma_r = \frac{9,5 \cdot 14,5^2 \left(1 - \frac{16^2}{15,25^2} \right)}{16^2 - 14,5^2} = -4,4 \text{ МПа}.$$

Напряжения от стационарного перепада температур σ_{θ} , МПа

$$\sigma_{\theta} = \sigma_r = \frac{\alpha \cdot \dot{r} \cdot \Delta T}{1 - \nu}, \quad (6)$$

$$\sigma_r = 0$$

где ν - коэффициент Пуассона;
 α - коэффициент теплового расширения, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;
 E - модуль упругости, Па.

Для котла ТП-15

$$\nu = 0,3$$

$$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$\sigma_{\theta} = \sigma_z = \frac{12 \cdot 10^{-6} \cdot 1,8 \cdot 10^{-6} \cdot 4,8}{1 - 0,3} = 148,1 \text{ МПа}$$

$$E = 18 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Для котла ПК-19

$$\nu = 0,3$$

$$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$\sigma_{\theta} = \sigma_z = \frac{12 \cdot 10^{-6} \cdot 1,8 \cdot 10^{-6} \cdot 10,15}{1 - 0,3} = 313,2 \text{ МПа}$$

$$E = 18 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Кривая усталости описывается уравнением

$$N = \begin{cases} N_1 \left(\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a} \right)^{m_1} & \text{при } \sigma_a \geq \sigma_{-1} , \\ \infty & \text{при } \sigma_a < \sigma_{-1} \end{cases} \quad (7)$$

где N - число циклов до разрушения;
 N_1, m - параметры кривой усталости;
 σ_{-1} - предел усталости материала.

$$N_1 = 2 \cdot 10^6 \qquad m_1 = 3 \qquad \sigma_{-1} = 98,1 \text{ МПа}$$

Приведенное среднее напряжение $\sigma_{cp} = 0,8 \text{ МПа}$

Для котла ТП-15 $\sigma_a = 7,55 \text{ МПа}$.

Для котла ПК-19 $\sigma_a = 9,7 \text{ МПа}$.

При этом для материалов, кривая которых имеет истинный предел выносливости $\sigma_{-1} = 98,1 \text{ МПа}$ при $\sigma_a < \sigma_{-1}$, разрушений не наблюдается и ресурс должен быть достаточно длительным $N \rightarrow \infty$.

Таким образом, изменение температуры стенки, не приводит к усталостному разрушению.

Литература

1. Нормы расчета на прочность элементов реакторов, пароперегревателей, сосудов и трубопроводов атомных электростанций, опытных и исследовательских ядерных реакторов и установок. М.: Металлургия, 2010 г.

2. Теплотехническая работоспособность теплоэнергетических установок / Р.А. Пахомов [и др.] // Технические и технологические системы (ТТС-15) : сб. матер. VII межд. науч. конф. Краснодар, 7-9 октября 2015г. / КубГТУ под общей ред. Б.Х. Гайтова – Краснодар, 2015. – С. 268-274.

3. Долговечность пароперегревателей паровых котлов при пульсациях температур / А.С. Трофимов [и др.] // Молодые ученые России - теплоэнергетике: матер. Межрегион. конф. – Новочеркасск, ЮРГТУ (НПИ), 2001. – С. 152-154.

4. Теплообмен при досыхании пленки конденсата на входном участке пароперегревателя / А.С. Трофимов [и др.] // Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках. – Рыбинск, 2003. – Т. 1. – С. 328-330.

5. Трофимов А.С. Степенная аппроксимация передаточных функций / А.С.Трофимов, Н.Г. Андрейко // 4-й Всерос. симпозиум по прикладной и промышленной математике. – Москва, 2003. – С.758-759.

6. Пульсации температур и теплоотдача в пароперегревателях котлоагрегатов / А.С. Трофимов [и др.] // 4-й Всерос. симпозиум по прикладной и промышленной математике. – Москва, 2003. – С.762-763.

СЕКЦИЯ 7. НАУКИ О ЗЕМЛЕ

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ СЛАНЦЕВОГО ГАЗА

Т.В. Арутюнов*, О.В. Савенок (д.т.н., доц.)**

* ООО «НК «Роснефть» - НТЦ»

** Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)

В условиях прогрессирующего истощения «традиционных» запасов углеводородов в последние годы набирает обороты поиск и разработка нетрадиционных источников УВ. К таким источникам относятся и сланцевые образования.

Поиск и добыча природного газа из богатых углеводородами сланцевых образований, известного как «сланцевый газ», является одной из наиболее важных современных тенденций развития мирового топливно-энергетического рынка.

Интерес к освоению сланцевых залежей газа связан, прежде всего, с социально-экономическими условиями, особенно в тех районах, где добыча газа развивается как новый вид деятельности или традиционные источники уже исчерпали себя.

Сланцевый газ – тип природного газа, содержащегося в виде газовых скоплений в толще сланцевых образований в осадочной оболочке Земли.

В отличие от традиционных скоплений природного газа, образующих в коллекторе сплошную фазу, сланцевый газ относится к дисперсным газам [1]. Дискретная газовая фаза приурочена к закрытым порам и взаимосвязана с газом, окклюдированным и сорбированным минеральным и органическим веществом. Таким образом, речь идёт о сложной системе, общая газовая ёмкость которой намного больше, чем общая пористость. Поэтому для промышленной добычи

природного газа необходимо создать систему искусственных трещин [2].

Сланцевый газ состоит преимущественно из метана, но также в его составе присутствуют и другие газы, такие как:

- H_2 – 25-40 %;
- CO – 10-20 %;
- CO_2 – 10-20 %;
- C_2H_4 и другие углеводороды – 4-5 %;
- N_2 – 22-25 %;
- O_2 – не более 1 %.

Анализ общих данных по освоению сланцевого газа в Северной Америке позволил выделить два типа месторождений.

К первому типу относится большинство известных в США месторождений, включая Барнетт, Марцеллус и др. Это огромные (тыс. км²) ареалы палеозойских чёрных сланцев, залегающих преимущественно на небольших (менее 1500 м) глубинах. Степень их катагенеза соответствует разным градациям прото- и мезокатагенеза (ПК₂-МК₃), но максимальные палеотемпературы, как правило, существенно выше (на 20-100 градусов), чем современные [3].

Ко второму типу относятся месторождения Хейнесвилл (США, Арканзас), а также Хорн Ривер и Монтней (Канада). Площади газоносных черносланцевых ареалов здесь гораздо меньше и количество «рабочих» скважин невелико (до 100), а глубины залегания чёрных сланцев гораздо больше, чем на месторождениях первого типа. Тем не менее, и объёмы добычи сланцевого газа, и долгосрочные перспективы его освоения очень велики и вполне конкурируют с такими гигантами, как Марцеллус и Барнетт [4]. Связано это с гораздо более высокими стабильными дебитами сланцевого газа, которые обусловлены спецификой геотермобарических условий.

В большинстве осадочных бассейнов сланцевые толщи обычно представлены аргиллитами и алевропелитами (siltstone) или дополнительно включают такие типы пород, как алевролиты и песчаники, находящиеся в тонком переслаивании

со сланцами [5]. Сланцем издавна называется порода с параллельной ориентировкой минеральных частиц. Эта ориентировка может быть обусловлена несколькими факторами:

- сугубо седиментационными факторами;
- сжимающим параллельным напряжениями при складкообразовании (кливаж осадочных пород на фоне разных стадий литогенеза) и процессами динамометаморфизма (одностороннее напряжение или стресс на фоне метагенеза и регионального метаморфизма – милониты, катаклазиты);
- давлением нагрузки при региональном метаморфизме (зеленсланцевая, эпидот-амфиболитовая и другие фации).

Таким образом, сланцеватость может быть как первичной, так и иметь наложенный по отношению к первичным текстурным элементам характер. Обычно сланцевый газ связан с осадочными породами, сланцеватость которых выражена в различной степени и обусловлена в основном литогенетическими факторами. Наиболее благоприятны для освоения сланцевого газа породы с выраженной тонкой слоистостью и сланцеватостью, поскольку газонасыщенность таких пород значительно больше, а плотность техногенных (естественно-техногенных) трещин намного выше по сравнению с толстослоистыми или массивными литомами [6]. Сланцевые породы, в той или иной мере обогащённые ОВ, выражены глинистыми и карбонатно-глинистыми отложениями, степень катагенеза их не превышает МК₄-АК₁, а обычно составляет ПК-МК₃. Для обозначения их в англоязычной геологической литературе используется термин «black shales».

Чёрные сланцы – это водноосадочные горные породы, обычно тёмные, пелитоморфные и сланцеватые, обогащённые сингенетичным органическим веществом преимущественно аквагенного и отчасти терригенного типов.

В процессе катагенетической трансформации горючих сланцев в битуминозные чёрные сланцы кероген или пелитоморфное минеральное вещество петрофизически и физико-химически активируются, приобретая дополнительную пористость

и открытую микротрещиноватость. Так, практически непроницаемые, гидрофильные, в различной степени пластичные, неблагоприятные для эффективного естественного и техногенного трещинообразования горючие сланцы и сапропелиты преобразуются в гидрофобные породы с интенсивным газонакоплением, занимающие промежуточное положение между обычными коллекторами и покрышками (рис. 1).

Рассмотрим характеристики коллектора, определяющие газоносность сланцев.

Содержание глин. Сланец является горной породой, которая состоит из глинистых и неглинистых минералов (кварца и полевых шпатов). Содержание глин в газосодержащих сланцах не должно превышать 50 %, иначе сланец будет подвержен пластичным деформациям, а значит, не сможет образовывать трещины, которые являются основными путями миграции газа, т.е. определяют его проницаемость.

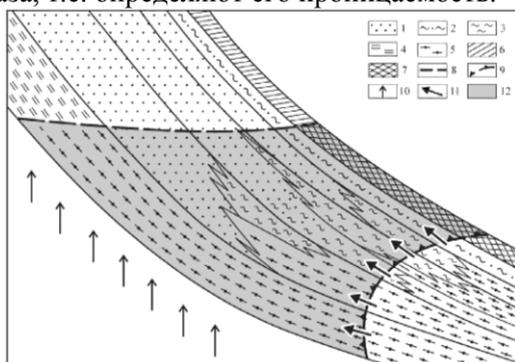


Рисунок 1 – Принципиальная схема накопления газа

в различных неравномерно гидрофобизованных низкопроницаемых породах (TGR) в зоне мезокатагенеза:

- 1 – пески, песчаники; 2 – песчаники, алевролиты; 3 – алевролиты, ритмиты; 4 – горючие сланцы; 5 – чёрные сланцы; 6 – сапропелиты, бурые угли; 7 – каменные угли; 8 – граница зон прото- и мезокатагенеза; 9 – фронт глубинной гидрогеологической инверсии;
- 10 – струйная миграция глубинного метана; 11 – миграция водорастворённого метана; 12 – зона неравномерной гидрофобизации пород –интенсивного газонакопления в TGR

Количество органического вещества (ОВ). Оно должно превышать 1 %, чтобы генерировать промышленные газовые скопления.

Степень зрелости ОВ в сланцах, которая в большинстве случаев определяется по отражательной способности витринита [7] – микроскопических остатков высшей растительности. Она выражается в у.е. и обозначается символом R_0 . Массовая генерация газовых углеводородов – главная зона газообразования – фиксируется значениями R_0 более 1,3 (рис. 2). Согласно рисунку 2, зона интенсивного газообразования располагается на глубинах 3 и более км.

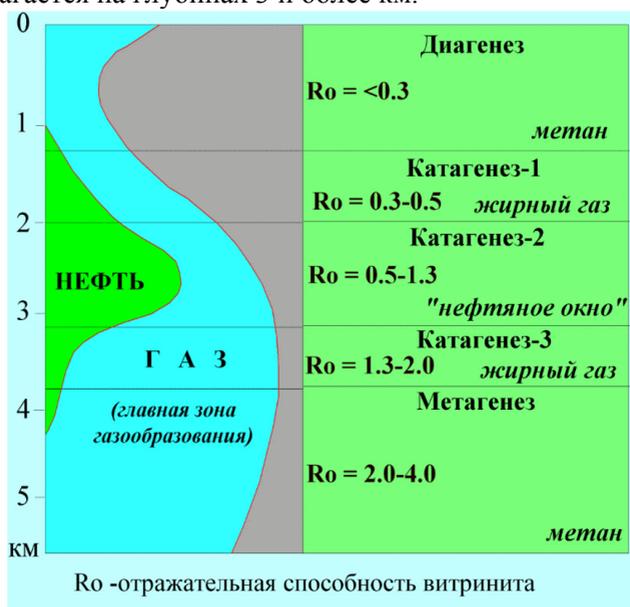


Рисунок 2 – Генерация углеводородов в стадии литогенеза

На рис. 3 представлены экспериментальные данные по изменению отражательной способности витринита в воздухе с глубиной погружения отложений Донецкого бассейна.

Из рис. 3 видно, что с глубиной погружения отложений зоны нефти и конденсата сменяются зоной газа, и при этом отражательная способность витринита увеличивается [8].

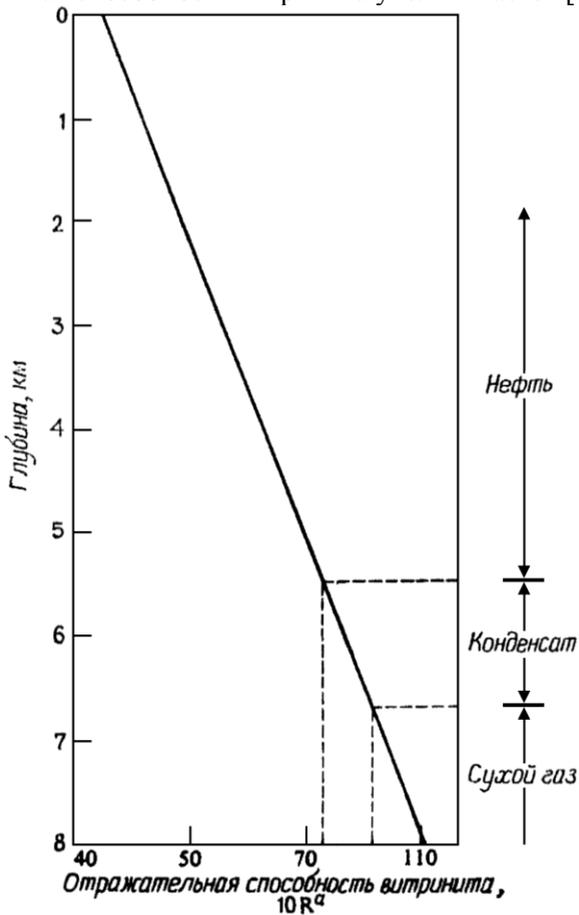


Рисунок 3 – Изменение отражательной способности витринита в воздухе с глубиной погружения отложений Донецкого бассейна

Созревание витринита – это необратимый термохимический процесс: значение R_0 витринита не может уменьшаться.

Пористость. Она должна составлять не менее 3 %, для того чтобы сланец содержал достаточные для разработки объёмы газа. Поры имеют различные формы и размеры. Что же касается общей пористости, то она зависит от интенсивности литификации. Для глинистых отложений с незначительным содержанием карбонатов и минералов свободного SiO_2 общая пористость контролируется преимущественно степенью катагенетического уплотнения. Для чистых глин (диагенез-протокатагенез) она находится в пределах 20-40 %, для уплотнённых глин (МК1) снижается до 10-15 %, для аргиллитоподобных глин (МК2) – 2-10 %, для аргиллитов (МК3-МК4) – 3-5 %, для аспидных сланцев и филлитов (апокатагенез-метагенез) – менее 3 % [9]. При содержании в глине органического вещества свыше 1-2 % динамика изменения пористости при катагенетическом уплотнении существенно меняется, что определяется интенсивностью газогенерации.

В сланцах нефть и газ в основном генерируются термогенным способом, т.е. при расщеплении (крекинге) органического вещества или вторичном крекинге (расщеплении) нефти. В отношении залежей природного газа возможен их биогенный генезис, а также различные варианты смешанного или гибридного происхождения.

Термогенный генезис нефти и газа ассоциируется со зрелым органическим веществом, которое подвергалось действию относительно высоких температуры и давления, необходимых для того, чтобы происходила генерация углеводородов [10]. При прочих равных условиях, более зрелое органическое вещество должно генерировать большее количество геологических ресурсов нефти и газа, чем менее зрелое органическое вещество.

Известные в настоящее время промышленные коллекторы сланцевых газов представлены разнообразными типами сланцевых пластов.

Литература

1. Marathon Oil Corporation, Oil and Natural Gas Fact Book (www.marathonoil.com).

2. Curtis J.B. «Fractured shale gas system», 2002.

3. David A. Waldo, Gaffney, Cline & Associates. Geologic Factors Associated with Successful Shale Gas Plays.

4. Ulmishek G.F. «Petroleum Geology and Resources of the West Siberian Basin, Russia». U.S. Geological Survey Bulletin 2201-G, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2003.

5. Lopatin N.V., Zubairayev S.L., Kos I.M., Emets T.P., Romanov E.A. and Malchikhina O.V. «Unconventional Oil Accumulations in the Upper Jurassic Bazhenov Black Shale Formation, West Siberian Basin: A Self-Sourced Reservoir System». Journal of Petroleum Geology, 2003. – Vol. 26. – P. 225-244.

6. O'Brien N.R. Fabric of kaolinite and illite floccules: Clays and Clay Minerals, 1971. – V. 19. – Pp. 353-359.

doi:10.1346/CCMN.1971.0190603.

7. Дж. Хант. Геохимия и геология нефти и газа / Перевод с английского А.И. Конюхова, Г.В. Семерниковой, В.В. Чернышева; под редакцией Н.Б. Вассовича, А.Я. Архипова. – М.: Издательство «Мир», 1982. – 704 с.

8. Арутюнов Т.В. Постановка задачи физико-химического моделирования сланцевых пород / Т.В.Арутюнов, А.А.Арутюнов, О.В. Савенок // Инженер-нефтяник. – М.: Издательство ООО «Ай Ди Эс Дриллинг». 2015. – № 1. – С. 42-47.

9. Vasquez M., Beggs H.D. «Correlations for Fluid Physical Property Predictions». Journal of Petroleum Technology, June 1980. – Pp. 968-970.

10. Department of Energy & Climate Change, About shale gas and hydraulic fracturing (fracking), 19 December 2013.

11. Арутюнов Т.В. Принципы моделирования поровой структуры сланцевых пород / Т.В. Арутюнов, О.В. Савенок // XIII Международная научно-практическая конференция «Современные концепции научных исследований» (29-30 апреля 2015 года, г. Москва) // Ежемесячный научный журнал № 4 (13) / 2015. – Москва: Евразийский союз учёных, 2015. – Часть 11. – С. 103-109 Режим доступа: http://issuu.com/euroasiascience/docs/evro_13_p11

12. Арутюнов Т.В. Анализ характеристик геологического строения и коллекторских свойств сланцевых отложений / Т.В. Арутюнов, О.В. Савенок // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – №4. – С. 72-76.

13. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Исследование сланцевых пород и природы сланцевой нефтеносности баженовской свиты и формации Баккен / Т.В. Арутюнов, О.В. Савенок // НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ (политехнический вестник). – 2015. – № 1. – С. 28-46. Режим доступа: <http://www.id-yug.com/images/id-yug/SET/2015/1/Arutunov-Savenok-2015-1-28-46.pdf>.

ГОРЮЧИЕ СЛАНЦЫ КАК МЕСТНЫЙ ВИД ТОПЛИВА

Т.В. Арутюнов

ООО «НК «Роснефть» - НТЦ» (г. Краснодар, Россия)

Горючий сланец относится к топливно-энергетическому и химическому сырью и является нетрадиционным источником углеводородного сырья.

Горючий сланец – полезное ископаемое, залегающее на сравнительно небольших глубинах, относится к группе твёрдых каустобиолитов и состоит из органического вещества (10-50 % по массе) и минеральной части. Промышленную ценность представляет как органическая, так и минеральная части сланцев, основными компонентами которой являются карбонаты и алюмосиликаты.

Сланцы используются для энергетических и технологических целей: в качестве топлива в производстве тепловой и электроэнергии (при прямом сжигании), являются сырьём для получения жидкого топлива (при глубокой переработке), а также сырьём для химической, металлургической отраслей и строительства.

Горючий сланец состоит из преобладающих минеральных (кальциты, доломит, гидрослюда, монтмориллонит, каолинит, полевые шпаты, кварц, пирит и др.) и органических частей (кероген), последняя составляет 10-30 % от массы породы и только в сланцах самого высокого качества достигает 50-70 %. Органическая часть является био- и геохимически преобразованным веществом простейших водорослей, сохранившим клеточное строение (талломоальгинит) или потерявшим его (коллоальгинит); в виде примеси в органической части присутствуют изменённые остатки высших растений (витринит, фюзенит, липоидинит).

Горючие сланцы бывают нескольких типов:

- сапропелитовые-кукерситы (эти горючие сланцы состоят в основном из продуктов превращения простейших водорослей и животных материалов);
- гумито-сапропелитовые (эти горючие сланцы состоят в основном из изменённых остатков высших растений).

Горючий сланец используется в качестве топлива и энергохимического сырья. Из сланцевой руды, например, хорошо получаются различные химические продукты. Это фенолы, пластификаторы, клеевые вещества, а также вещества для борьбы с эрозией почв и борьбы с сорняками. Из отходов горючих сланцев получаются строительные материалы (цемент и прочее). В основном сейчас горючие сланцы рассматривают как возможное сырьё для получения нефти и газа.

Горючие сланцы Беларуси представляют собой глинистые, мергелистые, известковистые и туфогенно-карбонатные породы, содержащие от 2-3 % до 28 % органического вещества сапропелевой природы.

В Беларуси выявлено два месторождения горючих сланцев – Туровское и Любанское. Прогнозные ресурсы Любанского месторождения – 1,2 млрд. тонн, Туровского – 2,7 млрд. тонн. Глубина залегания сланцев – от 50 до 375 м, мощность пласта – от 0,6 м до 2,7 м.

Белорусские сланцы характеризуются низким качеством: низшая теплота их сгорания составляет 1,0-1,5 тыс. ккал на кг, зольность – 78-80 %, выход первичной смолы – 7,8-9,5 %, выход летучих соединений – 15-25 %, содержание серы – 2-3 %. Они непригодны для прямого сжигания и требуют предварительной химической переработки. При проведении геологоразведочных работ на месторождениях свободного сланцевого газа не установлено.

Разработка горючих сланцев с учётом глубин залегания и мощности пластов может осуществляться только подземным (шахтным) способом. Вовлечение ресурсов горючих сланцев в топливный баланс республики возможно путём их термической переработки с твёрдым теплоносителем. Эта технология отработана и имеет самую высокую эффективность использования горючих сланцев. При переработке 5 млн. тонн в год горючих сланцев Туровского месторождения по данной технологии можно получить около 300-325 тыс. тонн сланцевой нефти, газового бензина – 45-50 тыс. тонн, газа – 175-275 млн. куб. м.

Исходя из особенностей горючих сланцев в Беларуси и условий их залегания, получение сланцевого газа методом подземной газификации не представляется возможным. Определённые надежды возлагаются сегодня на наземные технологии переработки этих полезных ископаемых.

Вообще технологии, связанные с искусственным получением жидких и газообразных энергоносителей из твёрдых видов топлива путём термической обработки, прекратили своё активное существование в 70-х годах прошлого века, не выдержав элементарной конкуренции, когда начала бурно развиваться добыча природного газа и нефти. При

дешёвой нефти добывать и перерабатывать горючие сланцы, обнаруженные в Беларуси ещё в 60-е годы прошлого века, было экономически невыгодно. С учётом нынешней цены нефти переработка горючих сланцев пока по-прежнему может казаться не очень экономически выгодной. Но если цена барреля нефти будет свыше 100 долларов (тонна нефти, соответственно, 600 долларов), то переработка горючих сланцев в Беларуси станет экономически целесообразной.

В Институте природопользования НАН Беларуси есть лабораторные установки, на которых можно получить газ из бурого угля, торфа, растительной биомассы и горючих сланцев. Это оборудование хорошо моделирует те процессы, которые имеют место в промышленности. В 2007 году, когда геологи достали технологическую пробу (150 килограммов горючих сланцев Туровского месторождения), были проведены исследования на этих установках. В результате подтвердился выход смолы в 8-10 % (это 100 килограммов) и горючих газов – 5 % (около 40 кубических метров высококалорийного газа) из тонны сланца. Сегодня отрабатываются технологии, которые позволят добиться максимального выхода либо жидких продуктов, либо газа. Во что перерабатывать горючие сланцы – в смолу (сланцевую нефть) или газ, зависит от потребностей каждой страны. Если ставится задача максимального получения сланцевой нефти, предлагается одна технология, с одной температурой пиролиза (термического разложения вещества без доступа воздуха). Если нужен высокий выход сланцевого газа, соответственно, требуется совсем другая технология с иным температурным режимом. При пиролизе в неподвижном слое можно получить около 5 % газа, а при пиролизе в подвижном слое в два раза больше. Наиболее прогрессивной считается сейчас технология с твёрдым теплоносителем (пиролиз сланца в подвижном слое, где он нагревается за счёт собственной золы).

Именно эта технология используется в Эстонии, где добыча и переработка сланцев очень развита. При переработке горючих сланцев на агрегатах с твёрдым теплоносителем УТТ-

3000 (его цена около 100 млн. долларов, производительность миллион тонн в год) получается 65 тыс. тонн смолы, газового бензина – около 10 тыс. тонн, газа – 36-58 млн. кубометров, золы – 750 тыс. тонн. Из сланцевой нефти можно получить бензин, дизельное топливо и мазут. Самый серьёзный недостаток данной технологии переработки горючих сланцев состоит в высоком выходе золы. Поэтому сейчас стоит задача, чтобы найти применение минеральной части горючих сланцев и свести к минимуму негативные для экологии последствия, которые неизбежны при любом способе переработки. Рекомендуется использовать золу в дорожном строительстве, для получения строительных материалов, в сельском хозяйстве. Сейчас всё чаще говорят о том, что применение золе можно найти, рационально её использовать и не создавать огромных отходов. В этом случае, по предварительным расчётам, себестоимость сланцевой нефти может составлять примерно 600 долларов за тонну.

Повышение эффективности горючих сланцев возможно за счёт их совместной термической обработки с торфом, бурыми углями, сапропелем или полимерными отходами, что позволит повысить выход целевых продуктов и снизить их себестоимость. Выход смолы, скажем, при переработке горючих сланцев с сапропелями (то вещество, из которого сланцы образовались) примерно в два-три раза больше. Переработка горючих сланцев с полимерными отходами (полипропилен, полиэтилен или изношенные шины) тоже даёт очень хорошие экономические показатели. Одним словом, если задействовать весь потенциал твёрдых горючих ископаемых (торф, бурый уголь и сланцы), а также горючие отходы, то значительный процент топливных ресурсов в перспективе можно получать из местного сырья.

Но для того, чтобы получение сланцевой нефти (или газа) приобрело промышленные масштабы, нужно провести детальную разведку месторождений и организовать добычу горючих сланцев. Только в этом случае можно говорить о составлении бизнес-проекта для реализации.

Предварительно можно сказать, что, несмотря на невысокое качество белорусских горючих сланцев, при соответствующих технологии и оборудовании, методом термохимической переработки можно получить ценные углеводородные жидкие и газообразные энергоносители.

Литература

1. http://www.belta.by/ru/all_news/economics/Belneftexim-ischet-investorov-dlja-uchastija-v-proekte-po-pererabotke-gorjuchix-slantsev_i_533886.html
2. Газета «Обозреватель» №22 (405) от 09.06.2010 г.
3. Марченков Е.И. Основы энергосбережения: учеб.-метод. Пособие / Е.И. Марченков, В.Г. Шахов. – Минск: Частный институт управления и предпринимательства, 2007. – 54 с.
4. Горючие сланцы как местный вид топлива [Электронный ресурс] Режим доступа:
http://knowledge.allbest.ru/physics/3c0a65635b3ad78a5c53b89421216d27_0.html

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ОСВОЕНИИ СКВАЖИН С ПОМОЩЬЮ СВАБИРОВАНИЯ

Е.О. Петрушин*, А.С. Арутюнян**

* ЗАО «ННК» ОАО «Печоранефть»

** *Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

В настоящее время для исследования малодебитных скважин применяются такие методы как свабирование, компрессирование и отработка скважины струйным насосом. Каждый из данных методов имеет свои особенности. Проведение исследований и интерпретация полученных результатов не учитывают особенности процесса работы пласта и скважины, что часто приводит к ошибочным результатам при определении фильтрационно-емкостных параметров пласта [1].

Гидропроводность и скин-фактор – одни из наиболее важных гидродинамических параметров. Как правило, они определяются с помощью гидродинамических исследований. Обработка КВУ позволяет рассчитать пластовое давление, дебит жидкости и коэффициент продуктивности. Этот метод применяется для скважин с низкими пластовыми давлениями или неустойчиво фонтанирующих. Вызов притока в таких скважинах осуществляется путём снижения уровня жидкости в стволе скважины методом компрессирования или свабирования.

Свабирование – это способ освоения скважины методом снижения уровня жидкости. Свабирование применяется для вызова и интенсификации притока из флюидов при освоении новых добывающих скважин и скважин, выводимых из консервации или ликвидации, а также при увеличении дебита существующих.

Свабирование скважин может применяться и для других целей, в том числе:

- для понижения уровня жидкости в скважинах или только в насосно-компрессорных трубах;
- для очистки призабойной зоны от продуктов проведения химической обработки;
- для очистки забоя от механических примесей, выносимых из призабойной зоны;
- для очистки призабойной зоны от механических примесей, нагнетаемых в пласт агентом для поддержания пластового давления, или после интенсификации притока нефти физическими методами воздействия.

При освоении скважины задача считается выполненной, когда из скважины с помощью сваба отобран требуемый объём жидкости.

За цикл свабирования в скважине и пласте наблюдаются неустановившиеся процессы перераспределения давления [2].

Процесс свабирования схематически можно представить как перемещение поршня в трубе НКТ. На рис. 1 представлена схема расположения оборудования и технических средств при

свабировании. Снижение забойного давления осуществляется подъёмом с помощью сваба части столба жидкости из НКТ на поверхность.

После прекращения свабирования приток из пластов продолжается. Притекающий из пластов флюид скапливается в стволе скважины, уровень жидкости поднимается, растёт забойное давление. Интенсивность роста забойного давления зависит от пластового давления, продуктивности пластов, от площади сечения потока жидкости в стволе скважины (диаметра НКТ) и от плотности жидкости в скважине.

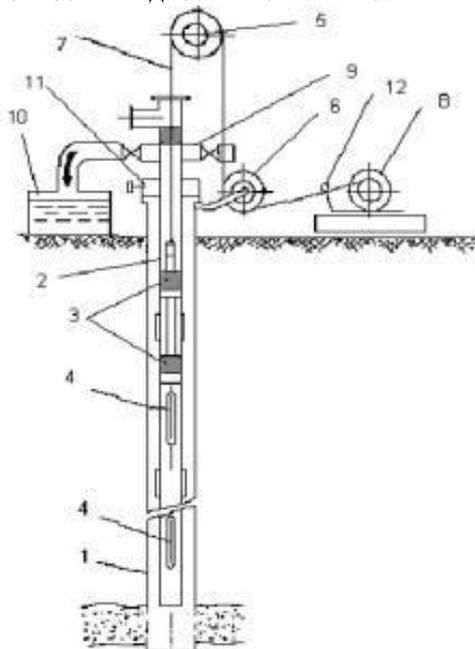


Рисунок 1 – Схема расположения оборудования и технических средств при свабировании скважин:
 1 – обсадная колонна; 2 – НКТ; 3 – сваб; 4 – манометр;
 5 – верхний ролик; 6 – нижний ролик; 7 – кабель;
 8 – лебёдка подъёмника; 9 – устьевая головка;
 10 – ёмкость сбора флюида; 11 – задвижка;
 12 – регистратор натяжения кабеля

На рис. 2 приведён схематически процесс свабиrowания в скважине.

В реальности за один спуск-подъём сваба отбирается малое количество жидкости, поэтому, чтобы существенно понизить забойное давление, необходимо провести несколько рейсов (ходов) свабом для откачки флюида. От рейса к рейсу гидростатическая неуровненность между пластом и скважиной возрастает, поэтому и приток из пласта возрастает. После определённого количества рейсов свабиrowания наступает квазиустановившийся режим, когда при заданной интенсивности отбора объём жидкости, извлечённый из скважины за время одного рейса, будет равен объёму жидкости, поступающему из пласта. В скважине устанавливается некий динамический уровень.

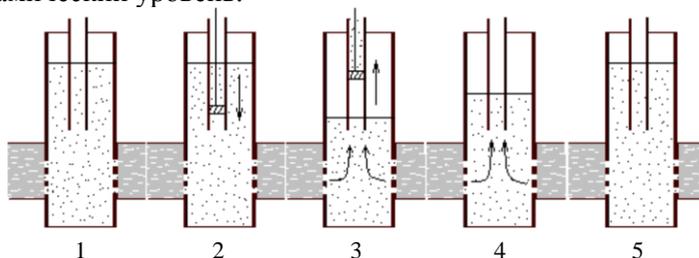


Рисунок 2 – Схема процесса свабиrowания в скважине:

- 1 – скважина в покое; 2 – спуск сваба в НКТ;
- 3 – отрыв и извлечение части столба жидкости из НКТ на поверхность;
- 4 – приток жидкости после извлечения сваба;
- 5 – возвращение скважины в первоначальное состояние покоя

Для интенсификации притока жидкости из пласта может быть проведено несколько циклов свабиrowания с перерывами между циклами в несколько часов. Считается, что в результате чередования резких и глубоких депрессий происходит постепенная «раскачка» пласта, очистка поровых каналов.

График изменения давления в скважине для нескольких циклов свабирования представлен на рис. 3.

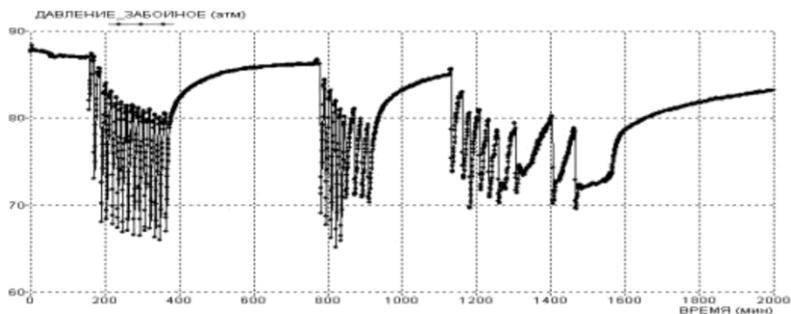


Рисунок 3 – Распределение забойного давления при нескольких циклах свабирования

На рис. 4 представлена кривая изменения забойного давления в процессе одного цикла свабирования. Для удобства анализа она разделена на 2 периода, характеризующие соответствующие гидродинамические состояния скважины.

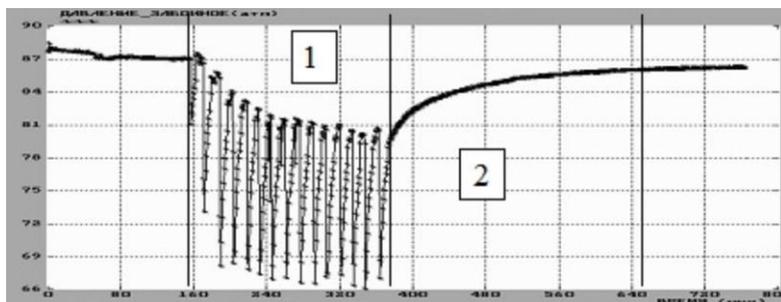


Рисунок 4 – Реальное распределение забойного давления при свабировании

1. *Период свабирования.* При спуске свабы в НКТ под уровень жидкости забойное давление значительно не меняется. При движении свабы вверх на кривой изменения давления (КИД) на забое отмечается резкое падение давления. Сваб приходит в

движение со скоростью порядка 1 м/с, в результате этого под поршнем образуется волна разряжения величиной [3]

$$\Delta p = c \cdot \rho \cdot v,$$

где c – скорость звука в среде, м/с; ρ – плотность жидкости под поршнем, кг/м³; v – скорость поршня, м/с.

Δp может достигать 10-15 атм. Затем сваб с отсечённым объёмом жидкости движется к устью, давление на забое увеличивается в результате притока из пласта и потери из-за негерметичности сваба. Если межтрубье не перекрыто пакером, то происходит переток жидкости из межтрубья в НКТ. Итоговое снижение давления к концу периода свабирования (1) определяется гидростатическим давлением сниженного несколькими рейсами свабирования уровня. По нему считается сниженный уровень жидкости в НКТ.

2. *Период КВУ.* Из пласта продолжается приток, уровень жидкости в скважине увеличивается, забойное давление растёт. Этот режим можно назвать режимом затухающего притока жидкости из пласта [4].

При исследовании методом КВУ после снижения уровня свабом устье скважины остаётся открытым. В стволе скважины происходит подъём уровня жидкости. Сжатие жидкости в стволе скважины играет несущественную роль, изменение давления (т.н. кривая притока или КВУ) в скважине в основном определяется изменением гидростатического давления вследствие подъёма уровня.

Во время второго цикла, в период затухающего притока из пласта проводят комплекс промыслово-геофизических исследований с целью выявления работающих интервалов и оценки технического состояния колонны, определения плотности жидкости, глубины газожидкостного раздела и НВР.

Для регистрации данных используют несколько способов измерения забойного давления.

Способ 1. Прекращают отбор жидкости из скважины. В ствол скважины опускают дистанционный или автономный манометр, устье скважины после свабирования оставляют

открытым. Регистрируют кривую изменения давления во времени, т.н. кривую притока (КП).

Способ 2. При проведении ПГИ в свободное время ожидания между потокометрическими измерениями скважинный прибор устанавливают на одну и ту же глубину и регистрируют фрагменты изменения давления во времени. Затем эти фрагменты сшиваются при обработке в одну кривую изменения давления и обрабатываются.

Способ 3. При подготовке скважины для освоения свабом, при спуске колонны НКТ в специальном контейнере за НКТ спускают автономный манометр. Он регистрирует всю историю изменения давления в скважине при освоении свабом. После подъема НКТ извлекают манометр и получают КИД, которая содержит зависимость давления от времени для всех периодов и циклов свабирования.

Длительность кривой изменения давления зависит от продуктивности скважины, плотности жидкости, площади сечения поднимающегося в стволе скважины потока жидкости и наклона ствола скважины к вертикали. При регистрации КП дистанционным прибором достаточная длительность регистрации может быть оценена в процессе измерений. Для этого достигнутое время регистрации делят пополам и находят отношение приращения давления Δp_2 к приращению давления Δp_1 за первую половину времени. Если это отношение меньше $2/3$, то такая КП может быть обработана с целью определения гидродинамических параметров пласта. При использовании автономных манометров такой возможности нет. Для предварительной оценки минимального времени регистрации КП можно воспользоваться формулой:

$$t_0 = \frac{V}{Q_0},$$

где V – объём жидкости, который должен поступить в ствол скважины для установления статического уровня; Q_0 – дебит в момент остановки скважины.

Объём V можно оценить как произведение S на H , где S – площадь сечения поднимающегося в стволе остановленной скважины потока, а H – разница между динамическим и статическим уровнями жидкости в стволе скважины [5].

За указанное время не произойдёт полного восстановления давления в пласте и скважине, а ожидается примерно трёхкратное уменьшение первоначального дебита. Поэтому целесообразно реальное время регистрации КП выбрать больше t_0 [6].

При регистрации КП автономным манометром определяют не менее 4-5 положений динамического уровня и глубины НВР в стволе скважины, равномерно распределив измерения на весь интервал исследований.

При регистрации КП дистанционной комплексной аппаратурой измерение давления в точке прерывается, определяется положение ДУ и НВР, затем прибор возвращается на прежнюю глубину измерения и продолжается запись изменения давления во времени. При обработке из фрагментов формируется одна кривая притока [7].

В скважине с площадью поперечного сечения S , плотностью жидкости ρ , поступающей из пласта, и углом наклона α коэффициент ВСС будет считаться по формуле:

$$C_s = \frac{S}{\rho \cdot g \cdot \cos \alpha}.$$

Есть методы обработки данных КВУ позволяющие определить гидропроводность пласта и оценить состояние призабойной зоны через скин-фактор. Среди методов линейной анаморфозы это операционный метод Баренблатта и обобщённый дифференциальный метод Мясникова. Для их корректного использования необходим учёт всей истории изменения дебита и забойного давления в скважине.

По результатам обзора технологий освоения малодебитных скважин и гидродинамических исследований в процессе освоения скважин можно сделать следующие выводы:

- сваби́рование является самым распространённым способом освоения скважин;
- геофизические и гидродинамические исследования удачно вписываются в технологию освоения скважин свабом;
- при освоении скважин свабом ГДИ обычно реализуются по технологии КВУ, в результате этого определяют только коэффициент продуктивности и пластовое давление;
- возможность применения известных алгоритмов обработки КВД в этих условиях неочевидна и требует специального исследования.

Литература

1. Рамазанов А.Ш. Исследование алгоритмов обработки кривых притока малодебитных скважин / . А.Ш. Рамазанов // Научно-технический вестник «Каротажник». – Тверь: Издательство «Международная Ассоциация научно-технического и делового сотрудничества по геофизическим исследованиям и работам в скважинах», 2000. – Вып. 74. – С. 69-80.

2. Кульпин Л.Г. Гидродинамические методы исследования нефтегазоводоносных пластов: учебник / Л.Г. Кульпин, Ю.А. Мясников. – М.: Недра, 1974. – 200 с.

3. Кулагина Г.Е. Гидродинамические исследования скважин: учебник / Г.Е. Кулагина, М.Р. Камартдинов. – Томск, 2004. – 340 с.

4. Вольпин С.Г. Исследование малодебитных скважин в России / С.Г. Вольпин, Ю.А. Мясников // Нефтяное обозрение. – 1999. – Весна. – С. 4-10.

5. Ипатов А.И. Геофизический и гидродинамический контроль разработки месторождений углеводородов / А.И. Ипатов, М.И. Кременецкий. – М.: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика: Институт компьютерных исследований, 2005. – 780 с.

6. Медведев А.В. Компьютерная система обработки результатов гидродинамических исследований в скважинах / А.В. Медведев // Геофизика. – 1997. – № 4. – С. 20-27.

7. Пат. РФ № 2341653. Эффективный способ гидродинамических исследований пластов с применением модуля гидродинамических исследований МГДИ-54 / О.Н. Самохин, Р.Р. Зарипов, В.С. Хакимов. Зар. 09.03.2007 г.

8. Исследование алгоритмов обработки кривых притока при свабировании [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://knowledge.allbest.ru/geology/3c0a65635a2ac69b4c43a88521206d26_0.html.

9. Петрушин Е.О. Исследование гидродинамики горизонтальных скважин / Е.О. Петрушин, А.А. Андрияди, О.В. Савенок // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых : матер. VII всеросс. конф. Пермь, 28-31 октября 2014 г. – Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2014. – С.275-278. Режим доступа: <http://elibrary.ru/download/67487008.pdf>.

10. Петрушин Е.О. Гидродинамические исследования скважин на установившихся режимах / Е.О. Петрушин, А.С. Арутюнян // Аспирант». – Ростов-на-Дону, 2015. – № 4 – С. 179-184. Режим доступа: <http://elibrary.ru/download/59255502.pdf>.

11. Петрушин Е.О. Анализ современных технологий интерпретации результатов гидродинамических исследований горизонтальных скважин / Е.О. Петрушин, О.В. Савенок, А.С. Арутюнян // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 10. – С. 397-405.

РАСЧЁТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ ОДИНОЧНОЙ ПОРЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАСХОДЯЩЕЙСЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

А.Л. Яковлев*

* ООО «КНГК-Групп» (г. Краснодар, Россия)

Постановка задачи

Расчётно-теоретический анализ поведения одиночной поры выполнен путём численного моделирования её отклика на ударно-волновое воздействие в комплексе «КРД-1D», являющемся развитием программы УП для численного решения уравнений МСС в одномерном приближении. Файлы начальных данных создаются с помощью комплекса Indigo.

Рассматривается пора различного начального радиуса $R_{нач}$ в сфере с внешним радиусом $R_{сф} = 5$ мм. На границу поры (внутренний диаметр сферы) действует импульс давления (расходящаяся ударная волна) определённой амплитуды и длительности. В качестве материала сферы выбрана медь.

Тип симметрии – сферический. Ось симметрии – слева. Выбрано время расчёта – 10 мкс.

Граничные условия: правое – свободная поверхность; левое – давление (в табличном виде)

Время, 10 ⁻⁵ с	Давление, ГПа
0	0
0,001	0,5 (1; 1,5; 2; 2,5; 3)
0,5	0,5 (1; 1,5; 2; 2,5; 3)
0,501	0

В таблице в скобках перечислены использованные стационарные уровни давлений.

Задание давления в указанном виде соответствует воздействию на левую границу прямоугольного импульса сжатия длительностью $t = 5$ мкс. Вариацией величины давления в таком импульсе, например, в диапазоне от 0,5 до 3 ГПа,

возможно получение различных конечных состояний одиночной поры.

Разбиение области: 500 точек. В заданной системе «устанавливаются» лагранжевы датчики. Для радиуса – в точках 1, 2, 499 и 500 (например, для случая, когда $R_{нач} = 0,05$). Для давления и нормального напряжения – в точках 2, 250 и 499 ($R = 0,05$). Шаг по времени составляет 0,05 мкс.

Для описания поведения меди в условиях высокоскоростного деформирования использованы УРС в форме Ми-Грюнайзена с переменным коэффициентом Γ_p для шаровой составляющей тензора напряжений и модель ФМП [2] для описания сдвиговой прочности исследуемого материала. Основные уравнения этих моделей записываются в следующем виде.

Шаровая составляющая

$$P = \frac{\rho_{0к} \cdot C_{0к}^2}{n} \cdot (\delta^n - 1) + \Gamma_p \cdot \rho \cdot E_m ;$$

$$E = \frac{C_{0к}^2}{n} \cdot \left[\frac{\delta^{n-1}}{n-1} + \frac{1}{\delta} - \frac{n}{n-1} \right] + E_m ,$$

где $\rho_{0к}$, $C_{0к}$ – плотность и скорость звука при $T = 0$ °К; Γ_p – коэффициент Грюнайзена; $\delta = \frac{\rho}{\rho_{0к}}$ – относительное сжатие.

Коэффициент Грюнайзена считается зависящим только от сжатия:

$$\Gamma_p = \Gamma_\infty + \frac{\Gamma_0 - \Gamma_\infty}{\delta^m} ,$$

где Γ_0 – величина Γ_p при $\rho = \rho_{0к}$ и $\Gamma_\infty = \Gamma_p$ при $\delta \rightarrow \infty$.

Коэффициент Пуассона в рассматриваемой модели зависит от температуры:

$$\nu = \nu_0 \cdot [1 + C \cdot \bar{T}^h],$$

где C, h – константы и $\nu = \nu_0$ при $T = 0$ °К.

Модель деформирования (ФМП) [2]:

$$Y_s = Y_0 \cdot [1 + a_1 \cdot (1 - \bar{T}^{a_3}) \cdot (1 - \exp(-a_2 \cdot \varepsilon_i^p))] \cdot [1 + a_4 \cdot P_x] \cdot [1 - a_5 \cdot \bar{T}^{a_6}],$$

где Y_s – стационарный предел текучести; $a_1 \div a_6$ – параметры, определяемые в процессе верификации модели; $\bar{T} = \frac{T}{T_{nl}}$, T_{nl} – температура плавления в заданном напряжённо-деформированном состоянии, вычисляемая по закону Линдемана; P_x – холодная составляющая давления; ε_i^p – интенсивность пластических деформаций.

Параметры определяющих уравнений взяты из [2] и сведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Параметры шаровой составляющей [2]

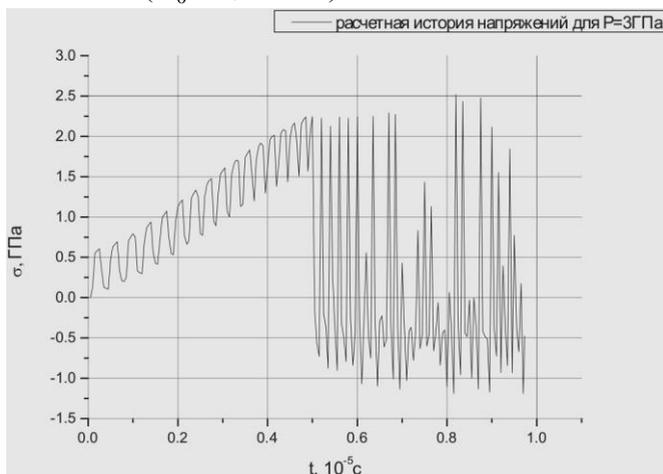
ρ_0 , г/см ³	8,93
$\rho_{0к}$, г/см ³	9,0632
$C_{0к}$, км/с	3,95
n	4,3
Γ_0	1,96
m	1,2
CV , Дж/Г · °К	0,391
T_{0nl} , °К	1356
ρ_{0nl} , г/см ³	8,36

Таблица 3 – Параметры девиаторной составляющей [2]

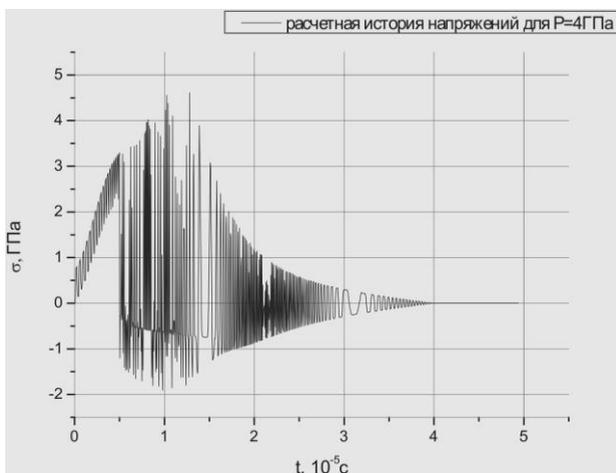
Y_0 , ГПа	0,077
a_1	9,66
a_2	1,5
a_3	5,0
a_4 , 1/ГПа	0,11
a_5	1,0
a_6	1,0
ν_0	0,347
C	0,44
h	1,0

Результаты численного моделирования

В качестве иллюстрации возникающего в материале сферы течения на рис. 1 приведены временные истории напряжения, реализующиеся в середине рассматриваемой счётной области ($R_0 = 0,275$ см).



а) $P_{стат} = 3$ ГПа



б) $P_{стат} = 4$ ГПа

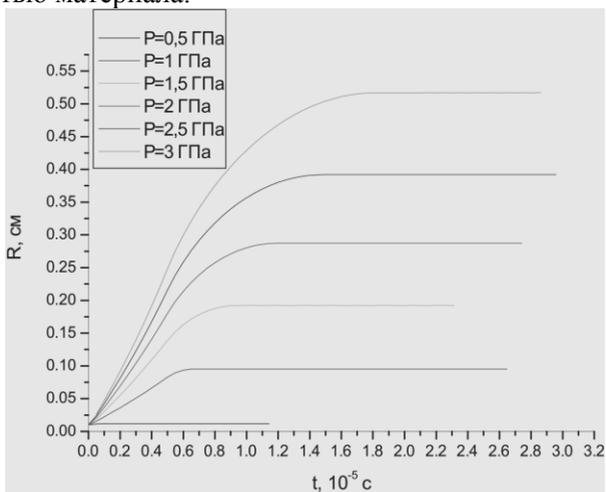
Рисунок 1 – Расчётные истории напряжения
для случая $R_{нач} = 0,05$ см.

Из представленных графиков следует, что материал сферы подвергается многократному ударно-волновому сжатию во время действия нагрузки. Затем наблюдается колебательный процесс относительно нулевого значения напряжения (после окончания действия импульса сжатия). Как видно из рис. 1б происходит затухание колебаний.

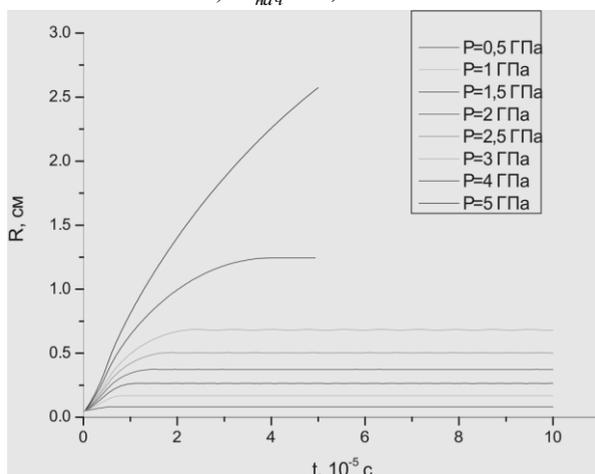
В качестве отклика одиночной поры на действующее давление целесообразно рассматривать зависимость её конечного радиуса от уровня давления в стационарной части расходящегося импульса.

Полученные в расчётах истории изменения радиуса поры при вариации максимального давления приведены на рис. 2. Рассмотрим графики зависимости поведения радиуса поры во времени $R(t)$ во всех расчётах. В каждом случае (в зависимости от начального давления) наблюдается рост радиуса поры, а затем в определённый момент происходит «насыщение» и рост поры останавливается. При этом время выхода на насыщение в каждом

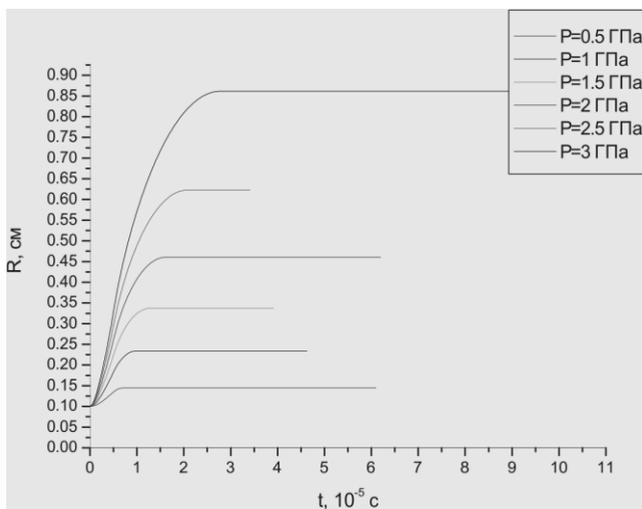
случае своё и оно больше, чем время окончания действия нагрузки. Этот момент времени обусловлен сдвиговой прочностью материала.



а) $R_{нач} = 0,01$ см



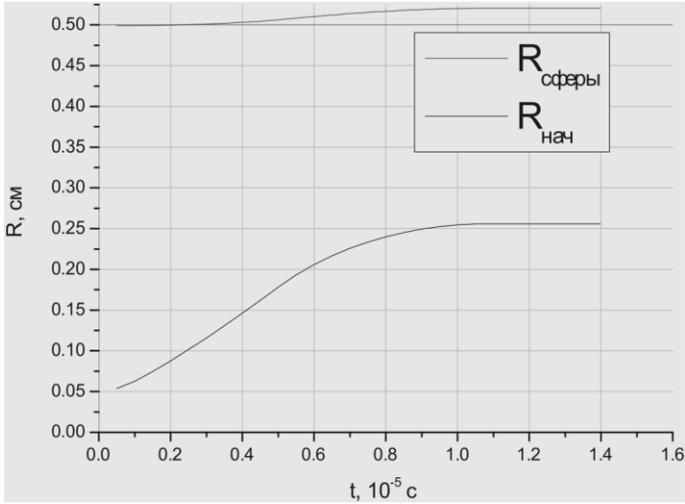
б) $R_{нач} = 0,05$ см



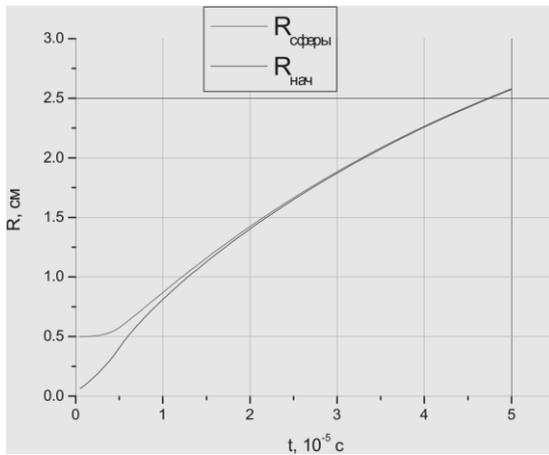
в) $R_{нач} = 0,1$ см

Рисунок 2 – Изменение радиуса поры в зависимости от амплитуды прикладываемого давления

При дальнейшем увеличении давления $P = 4$ ГПа, 5 ГПа (для серии задач при $R_{нач} = 0,05$ см) (см. рис. 2б) радиус поры начинает расти неограниченно и не наблюдается его остановки. Как видно из рис. 3а, на котором представлена история движения внутреннего и внешнего радиуса сферы для двух типичных случаев, в случае высокого начального давления наблюдается катастрофический рост поры, но нет выхода её радиуса на насыщение: реализуется сильное сжатие материала сферы, $R_{нач}$ стремится к $R_{сф}$. Напротив, из рис. 3б следует, что в случае низкого уровня прикладываемого давления радиус поры начинает расти, а затем выходит на насыщение в то время, как радиус сферы практически не изменяется.



а) при $P_{стат} = 1,5$ ГПа



б) при $P_{стат} = 5$ ГПа

Рисунок 3 – Поведение сферы радиусом $R = 0,05$ см в зависимости от величины прикладываемого давления

На рис. 4 представлены зависимости конечного радиуса поры от амплитуды прикладываемого давления. Полученные восходящие кривые располагаются близко друг к другу, несмотря на изменение начального радиуса поры в 10 раз.

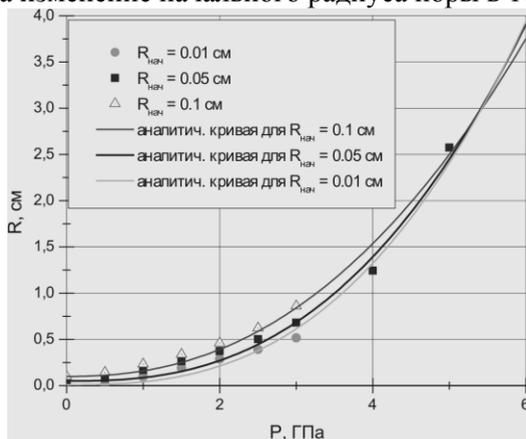


Рисунок 4 – Зависимость конечного радиуса поры от прикладываемого давления

На рис. 4 также представлены аналитические кривые, описывающие зависимость конечного радиуса поры от величины прикладываемого давления. Эти кривые описываются выражением:

$$R_{поры} = R_{нач} + A \cdot \left(\frac{P_{стат}}{P^*} \right)^m,$$

где $A = 2,4$ см, $m = 2,3 \div 2,7$ и $P^* = 5$ ГПа – постоянные величины.

Можно предположить, что величина P^* – это минимальное давление, при котором в расчётах уже не фиксируется выхода радиуса поры на насыщение. Постоянная A – это максимальный

радиус остановки поры, регистрируемый при воздействии импульса сжатия заданной длительности.

Литература

1. Огородников В.А. Основы физики прочности и механики разрушения: учеб. издание / В.А. Огородников, В.А. Пушков, О.А. Тюпанова. – Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2009. – 387 с.

2. Большаков А.П. Влияние интенсивной пластической деформации и ударно-волнового нагружения на прочность меди / А.П. Большаков, Б.Л. Глушак, О.Н. Игнатова // VII Харитоновские тематические научные чтения : матер. междунар. конф.– Саров, 2005. – С. 421-425.

3. Расчётно-теоретический анализ поведения одиночной поры при воздействии расходящейся ударной волны [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://knowledge.allbest.ru/physics/3c0a65635b3bc78b4c43b89421216c26_0.html

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ СОПОСТАВИМОСТИ ПРИ ПОИСКЕ АНАЛОГИЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

И.О. Орлова (к.т.н., доц.), Н.И. Васильев (к.т.н., доц.),

Е.Н. Даценко (к.т.н., доц.), Н.Н. Авакимян (к.т.н., доц.)

Кубанский государственный технологический университет

(г. Краснодар, Россия)

Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений представляет собой комплексный процесс, объединяющий этапы предпроектных исследований, проектирования системы разработки, реализации проектных решений, контроля технологических показателей и дальнейшего совершенствования проектных решений с учетом уточнения геологической информации, появления новых технологий, изменения сценарных условий. Все эти этапы характеризуются дефицитом и ограниченной достоверностью исходной информации. При этом, как правило, наиболее ответственные

решения принимаются в начале разработки, а наиболее полная информация появляется только к концу разработки. В связи с этим задача поиска месторождений-аналогов с целью восполнения данных и анализа методов разработки и добычи по интересующему объекту представляется весьма актуальной.

Вопросами классификации месторождений по комплексу геолого-физических признаков и оценки технологических показателей разработки месторождений были посвящены работы, начатые в 70-е годы прошлого века под руководством академика А.Х. Мирзаджанзаде. Были разработаны: классификаторы, распознающие нефтяные, газоконденсатные и газовые месторождения; классификаторы, диагностирующие успешность различных методов обработки призабойной зоны по геолого-технологическим признакам и режимам обработки; процедуры по выбору тампонажных систем и режимов цементирования, обеспечивающих качественное крепление скважин; классификационные признаки, прогнозирующие пескопроявления [1] и др. В работе [2] продемонстрировано решение задачи кластеризации для определения аналогов по геологическому строению и геолого-физическим характеристикам между месторождениями о. Сахалин и прилегающего шельфа.

В данной статье изложен методический подход к поиску месторождений аналогов с использованием классификационных признаков. Каждый объект разработки месторождения или отдельных пластов можно характеризовать комплексом признаков, включающим структурно-геологические особенности, свойства продуктивных пластов, свойства пластовых флюидов и др. Количество таких признаков может колебаться от 5-ти до 200 и более. Например, в базе данных Digital Analogs число признаков достигает 150-ти.

Квалификационные признаки имеют различные размерности, поэтому их разбивают на градации с присвоением индексов. Например, в нашем распоряжении имеется M объектов с X_{ij} квалификационными признаками. Индекс i

означает индекс объекта, $i = (1,141)$; j – номер признака $j = (1,30)$.

В качестве квалификационных признаков выбраны структурно-геологические особенности, свойства продуктивных пластов и свойства пластовых флюидов.

К структурно-геологическим особенностям относятся: стратиграфическая принадлежность продуктивных пластов, количество продуктивных пластов, фазовое состояние и др. К свойствам продуктивных пластов можно отнести: толщину продуктивного пласта, пористость, проницаемость, сжимаемость пород и др. Свойства пластовых флюидов включают следующие признаки: фазовый состав, плотность нефти, вязкость в пластовых условиях, газовый фактор и др.

Так как классификационные признаки имеют различные размерности и широкие диапазоны изменения, то каждый признак разбивался на малые диапазоны, которым присваивался условный индекс. Фрагмент такой таблицы для свойств продуктивных пластов приводится в табл. 1.

Таблица 1 – Фрагмент таблицы классификационных признаков свойств продуктивных пластов.

№ п/п	Классификационные признаки	Характеристика	Условный индекс
2.1	Толщина продуктивного пласта, м	до 5	1
		5 – 10	2
		10 – 15	3
		Более 15	4
2.2	Пористость, %	До 10	1
		10 – 15	2
		15 – 20	3
		20 – 25	4
		25 – 30	5
		Более 30	6
2.3	Минералогический состав	Наличие глинистости	1
		Наличие карбонатов	2

Совокупность M объектов можно подвергнуть кластерному анализу, т.е. разбить это множество на ряд классов так, чтобы объекты одной группы (класса) были бы «однородными» (сходными) по комплексу признаков и, в то же время, были «разнородными» (несходными) с объектами, принадлежащими к другой группе (классу).

Существует несколько методов кластеризации многомерных по признакам объектов в сходные (однородные) классы, которые изложены в работах [3, 4]. Однако все они решаются в терминах матрицы расстояния или в терминах матрицы сходства.

Нами выбран последовательный процесс кластеризации, основанный на коэффициенте корреляции между признаками различных объектов (месторождений) и называемый «дендрограммой». Дендрограмму можно определить как графическое изображение процесса последовательной кластеризации, который реализуется в терминах матрицы сходства.

Алгоритм расчета меры сходства приводит к следующей процедуре:

1. На основании исходных данных рассчитывается матрица корреляции между месторождениями по комплексу признаков X_{ij} .

2. Определяется наиболее коррелированная пара месторождений, например F_i и F_k .

3. Объединяются месторождения i и k путем соединения всех признаков.

4. Число объектов уменьшается на единицу.

5. Снова рассчитывается корреляционная матрица для $N - 1$ объектов и определяется максимальный коэффициент корреляции между объектами.

Переход к циклу, начиная с пункта 2.

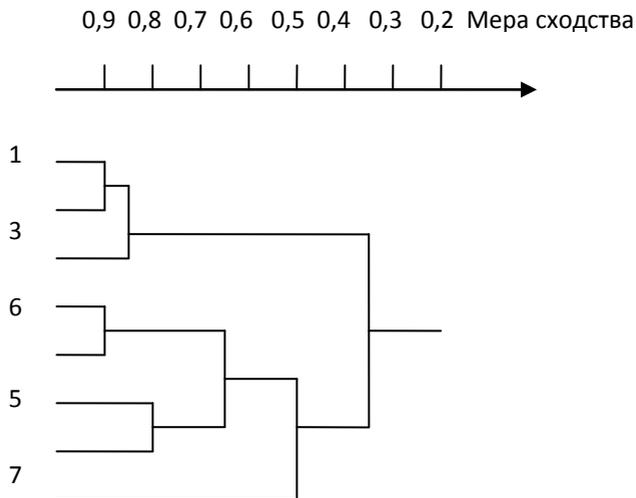


Рисунок 1 – Пример построения дендрограммы

Видно, что на уровне $r = 0,9$ соединились объекты 1– 3, далее $r = 0,88$ соединились объекты 1 – 3 – 6 и т.д.

Если теперь дендрограмму пересечь на уровне $r = 0,75$, то мы будем иметь три класса объектов: 1 – 3 – 6; 5 – 7 – 8 – 2 и 4.

Обобщая классификационные признаки по классам, мы получаем классификатор, который для новых месторождений позволяет найти аналог по мере сходства r . Наиболее близким аналогом будет тот класс, у которого максимальная корреляция признаков с признаками нового месторождения.

Особенностью построенной дендрограммы является тот факт, что увеличивая или уменьшая меру сходства, мы можем изменять число классов. Например, для меры сходства $r = 0,55$ мы будем иметь 2 класса, а при $r = 0,82$ уже 6 классов.

Естественно предположить, что для месторождений, выделенных в каждый класс, проекты разработки и технико-экономические показатели разработки должны быть близкими.

Приведенный анализ даст возможность решения целого комплекса задач, включающих:

- изучение стратегий разработки на однотипных месторождениях и выбор наиболее эффективных;
- анализ применения новых технологий и выбор наиболее эффективных для каждого класса месторождений;
- количественный анализ показателей разработки внутри класса и между классами и др.

Литература

1. Методическое руководство по применению методов распознавания образов при термодинамических исследованиях газоконденсатных, газовых и нефтяных скважинах / Мирзаджанзаде А.Х. [и др.]. – Баку : АзиНЕФТЕХИМ, 1975. – 56 с.
2. Павлов В.А. Развитие технологий системно - структурированного проектирования разработки месторождений углеводородов. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. / В.А. Павлов – Краснодар, 2009.
3. Дуда Р. Распознавание образов и анализ сцен / Р. Дуда, П. Харт. – М. : «Мир», 1976. – 512 с.
4. Дюран Б. Кластерный анализ / Б. Дюран, П. Оделл. – М. : «Статистика», 1977 – 128 с.

Алфавитный указатель авторов

- Абзалов Б.Н. – 57, 63
Авакимян Н.Н. – 285
Автайкин И.Н. – 27
Андрейко Н.Г. – 245
Арутюнов Т.В. – 252, 261
Арутюнян А.С. – 266
Асташов М.А. – 11
Афанасьев В.Л. – 31, 35, 168
Балул Вадах Шарф Елдин – 57
Барчо Р.А. – 27
Бездетко В.С. – 43
Бирюков Б.В. – 237, 241
Бойко А.И. – 154
Бордиян Р.Н. – 57
Борзунов А.П. – 8
Бреслер И.Б. – 139, 145
Бун Хьюанг Ампахат – 46
Васильев Н.И. – 214, 285
Васко Жозе Мария – 49
Гайдамашко А.И. – 59
Гайтов Б.Х. – 92
Гайтова Т.Б. – 46, 49, 57
Гапоненко А.М. – 218, 224, 230
Говоритель В.В. – 134
Даценко Е.Н. – 285
Демин В.И. – 114
Дмитриев А.Д. – 46, 59
Добробаба Ю.П. – 109
Елохин Н.Н. – 178
Елфимов М.А. – 11
Животиков В.В. – 159
Жихарев И.С. – 150
Заводцев И.В. – 178
Захаров Г.А. – 82
Иванов С.В. – 159
Кабанков Ю.А. – 207
Кабардинский А.Ю. – 210
Каграманова А.А. – 218, 224, 230
Капустин А.С. – 187
Капустин С.А. – 182, 187
Карандей В.Ю. – 31, 35, 43, 168
Карандей Ю.Ю. – 31
Карташев М.Н. – 59, 63
Кашин А.Я. – 92, 103
Кашин Я.М. – 63, 86, 98
Квон А.М. – 27
Кириллов Г.А. – 59, 63
Киселев С.П. – 63
Копелевич Л.Е. – 86, 92, 98
Косолапов А.В. – 114, 127
Кочарян Е.В. – 214
Кошкин Г.А. – 109
Крайнюков В.В. – 127
Креминский Б.О. – 20, 122
Ладенко Н.В. – 5
Ломоносова Д.В. – 114
Лыков Н.Ю. – 203
Лясковский В.Л. – 145, 150, 154
Ляшенко А.М. – 43
Максимов Р.В. – 203
Манеркин В.П. – 210
Манеркина И.А. – 210
Мирошниченко О.Д. – 139
Нечесов В.Е. – 20, 122
Орлова И.О. – 285
Пахомов Р.А. – 245

- Перепелица С.В.* – 150
Плахотнюк А.Н. – 122
Половинчук Н.Я. – 159
Пономарев П.Ю. – 5, 11
Попов С.А. – 5, 11, 14, 20
Прохоренко Н.Я. – 109
Пушина А.А. – 134
Савенок О.В. – 252
Самаркин В.Г. – 8
Самат Галимбек – 49
Самородов А.В. – 92, 103
Самофал В.В. – 182
Спичак В.С. – 14
Спичак Д.С. – 14
Сташ Ю.Н. – 35, 168
Степанов В.В. – 207
Степанова М.В. – 207
Суворов В.С. – 86, 98, 103
Схашок А.О. – 86, 92, 98, 103
Титова Е.В. – 150
Умрихин Д.О. – 20
Христофоров М.С. – 39
Чижиков В.И. – 191, 194, 198
Чихачев Е.А. – 114
Чучин М.И. – 191, 194, 198
Шапошников А.В. – 237, 241
Шапошников В.В. – 214, 237, 241
Шарифуллин С.Р. – 49, 191, 194, 198, 203
Шарифуллина К.С. – 173
Шевченко Ж.И. – 82
Шевчук И.И. – 214, 237, 241
Шкода В.В. – 46, 49
- Яковлев А.Л.* – 276
Peng Cheng – 71
Weibo Liu – 71
Xiangling Kong – 71
Zhao Wang – 71

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Энергосберегающие технологии и электрооборудование	5
Попов С.А., Ладенко Н.В., Пономарев П.Ю. Самотормозящийся винтовой домкрат с аксиальным электродвигателем	5
Борзунов А.П., Самаркин В.Г. Устройство проверки рабочих параметров лопастей винтов летательных аппаратов.....	8
Попов С.А., Пономарев П.Ю., Асташов М.А., Елфимов М.А. Оптимизация технологии изготовления магнитопроводов роторов самотормозящихся асинхронных электродвигателей методом порошковой металлургии	11
Попов С.А., Спичак В.С., Спичак Д.С. Устройство для изготовления ротора самотормозящегося асинхронного электродвигателя	14
Попов С.А., Нечесов В.Е., Креминский Б.О., Умрихин Д.О. Улучшение рабочих и эксплуатационных характеристик электротехнического комплекса для измельчения на базе сдвоенной аксиальной конструкции	20
Автайкин И.Н., Квон А.М., Барчо Р.А. Методика формирования модели аксиального электродвигателя в среде Ansoft Maxwell для трехмерной магнитостатики	27
Карандей В.Ю., Афанасьев В.Л., Карандей Ю.Ю. Определение магнитных параметров управляемого асинхронного каскадного электрического привода с уточнённой геометрией.....	31
Карандей В.Ю., Афанасьев В.Л., Шаш Ю.Н. Модернизированный подход в нахождении магнитных сопротивлений асинхронного двигателя управляемого асинхронного каскадного электрического привода	35

Христофоров М.С. Электромеханические преобразователи для прямого преобразования разнородных возобновляемых источников энергии	39
Карандей В.Ю., Бездетко В.С., Ляшенко А.М. Применение различных типов каскадных электрических приводов в топливно-энергетическом комплексе	43
Гайтова Т.Б., Шкода В.В., Дмитриев А.Д., Бун Хьюанг Ампахт Особенности теплообмена в неустановившемся режиме нагревания двухвходовых электрических машин	46
Гайтова Т.Б., Шарифуллин С.Р., Шкода В.В., Васко Жозе Мария, Самат Галимбек Определение средней установившейся температуры обмоток двухвходовых электрических машин	49
Гайтова Т.Б., Бордиян Р.Н., Абзалов Б.Н., Балул Вадах Шарф Елдин Анализ температурных режимов в двухмерных электрических машинах	57
Кириллов Г.А., Карташев М.Н., Гайдамашко А.И., Дмитриев А.Д. Дефекты, выявляемые при инфракрасном контроле электрооборудования	59
Кашин Я.М., Кириллов Г.А., Карташев М.Н., Киселев С.П., Абзалов Б.Н. Инфракрасная диагностика состояния электрооборудования	63
Peng Cheng, Xiangling Kong, Weibo Liu, Zhao Wang Structure design and simulation of hts dc motor	71
Захаров Г.А., Шевченко Ж.И. Сравнительный анализ работы дистанционного органа на основе преобразователей с вращающимся магнитным полем и терминала ref630	82

Копелевич Л.Е., Кашин Я.М., Суворов В.С., Схашок А.О. Математическая модель ветро-солнечного генератора в среде MATHCAD	86
Гайтов Б.Х., Копелевич Л.Е., Самородов А.В., Схашок А.О., Кашин А.Я. Математическая модель ветро-солнечного генератора в среде MATLAB	92
Копелевич Л.Е., Кашин Я.М., Схашок А.О., Суворов В.С. Исследование переходных процессов ветро-солнечного генератора в среде MATLAB	98
Самородов А.В., Суворов В.С., Схашок А.О., Кашин А.Я. Исследование переходных процессов ветро-солнечного генератора в среде MATHCAD	103
Добробаба Ю.П., Кошкин Г.А., Прохоренко Н.Я. Оптимальное по быстродействию управление малыми перемещениями исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления	109
Демин В.И., Косолапов А.В., Ломоносова Д.В., Чихачев Е.А. Обзор результатов исследования поверхностных переносных заземлителей электролитического типа	114
Плахотнюк А.Н., Нечёсов В.Е., Креминский Б.О. Особенности измерения и компенсации реактивной мощности, оценка энергетической неуравновешенности трёхпроводной трёхфазной системы при полной асимметрии напряжений и токов	122
Косолапов А.В., Крайнюков В.В. Анализ режима самозапуска для привода циркуляционного насоса энергоустановки электростанции	127
Секция 2. Моделирование процессов функционирования радиоэлектронных информационно-управляющих систем	134

Говоритель В.В., Пушина А.А. Предложения по разработке информационно-аналитической системы управления жизненным циклом асу военного назначения	134
Мирошниченко О.Д., Бреслер И.Б. Методологический подход к выявлению и описанию задач и функций управления, реализуемых в автоматизированных системах специального назначения в ходе их проектирования	139
Лясковский В.Л., Бреслер И.Б. Разработка общей процедуры оценки и выбора системотехнических решений по развитию многоуровневых информационно-управляющих систем	145
Перепелица С.В., Лясковский В.Л., Титова Е.В., Жихарев И.С. Формирование исходных данных для построения системы поддержки принятия решения в интересах выбора вариантов модернизации сложных иерархических автоматизированных систем управления	150
Лясковский В.Л., Бойко А.И. Структуризация основных характеристик интегрированных узлов связи в интересах выбора системотехнических решений по развитию многоуровневых информационно-управляющих систем	154
Половинчук Н.Я., Животиков В.В., Иванов С.В. Модель бесплатформенной навигационной системы высокоскоростного беспилотного летательного аппарата...	159

Секция 3. Компьютерные технологии и безопасность информации в технических и технологических системах	168
Карандей В.Ю., Афанасьев В.Л., Сташ Ю.Н. Описание каркаса программы самоанимационного построение картины потораспределения магнитной системы статора асинхронного двигателя каскадного электрического привода с уточненной геометрией	168
Шарифуллина К.С. Использование синергетического понятия информации в юриспруденции	173
Елохин Н.Н., Заводцев И.В. Особенности развертывания инфраструктуры управления средством защиты информации от нсд «SecretNet Studio»	178
Самофал В.В., Капустин С.А. Программное обеспечение для учета мни в Linux-подобных системах	182
Капустин А.С., Капустин С.А. Учет и мониторинг подключения USB-накопителей для Linux систем	187
Чучин М.И., Чижиков В.И., Шарифуллин С.Р. Робототехнические комплексы и автоматизированные информационные системы	191
Чучин М.И., Чижиков В.И., Шарифуллин С.Р. Живучесть автоматизированных информационных систем с РТК	194
Чучин М.И., Чижиков В.И., Шарифуллин С.Р. Возможная архитектура автоматизированных информационных систем с РТК.....	198
Лыков Н.Ю., Максимов Р.В., Шарифуллин С.Р. Маскирование структуры и алгоритмов функционирования интегрированных инфокоммуникационных систем	203

Секция 4. Информационные и инновационные технологии в учебном процессе и НИР	207
Степанова М.В., Степанов В.В., Кабанков Ю.А. К вопросу проблемного обучения в вузе при подготовке конкурентоспособного специалиста	207
Манеркин В.П., Кабардинский А.Ю., Манеркина И.А. Метод построения оптимального сценария тестирования обучающихся вуза	210
Секция 5. Возобновляемые источники энергии	214
Шапошников В.В., Васильев Н.И., Кочарян Е.В., Шевчук И.И. Разработка технических решений по полезному использованию вторичного тепла утилизационной нефтешламовой установки	214
Секция 6. Энерго- и ресурсосбережение при производстве тепловой и электрической энергии на теплоэнергетических установках	218
Гапоненко А.М., Каграманова А.А. Построение математической модели работы свободнопоршневого двигателя Стирлинга и ее компьютерная реализация	218
Гапоненко А.М., Каграманова А.А. Результаты численных экспериментов в рамках реализации математической модели работы свободнопоршневого двигателя Стирлинга	224
Гапоненко А.М., Каграманова А.А. Имитационная модель гибридного кластера применительно к оптимизации состава комплекса возобновляемых источников энергии	230
Шапошников В.В., Бирюков Б.В., Шевчук И.И., Шапошников А.В. Применение парового охлаждения в схеме ГТУ с впрыском сухого пара в регенератор высокого давления	237

Шапошников В.В., Бирюков Б.В., Шевчук И.И., Шапошников А.В. Применение парового охлаждения в схеме ГТУ с впрыском перегретого пара в камеру сгорания	241
Пахомов Р.А., Андрейко Н.Г. Долговечность элементов испарительного участка прямоточного парогенератора	245
Секция 7. Науки о Земле	252
Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Характеристика пород-коллекторов сланцевого газа	252
Арутюнов Т.В. Горючие сланцы как местный вид топлива	261
Петрушин Е.О., Арутюнян А.С. Гидродинамические исследования при освоении скважин с помощью сваби-рования	266
Яковлев А.Л. Расчётно-теоретический анализ поведения одиночной поры при воздействии расходящейся ударной волны	276
Орлова И.О., Васильев Н.И., Даценко Е.Н., Авакмян Н.Н. Использование критериев сопоставимости при поиске аналогичных месторождений углеводородов	285

Научное издание

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Материалы восьмой международной
научной конференции
«ТТС-16»
24–26 ноября 2016 года

Редактор *В.Н. Григорьев*
Художественный редактор *Т.Ф. Козловская*
Старший корректор *С.А. Григорьева*
Компьютерная вёрстка *Е.В. Кашина*

В материалах конференции сохранены стиль и орфография авторов.

Подписано в печать 14.11.2016 г.	Формат 60×84 ¹ / ₁₆
Бумага офсетная	Трафаретная печать
Печ. л. 18,75	Изд. № 761
Усл. печ. л. 17,4	Тираж 125 экз.
Уч.-изд. л. 15,7	Заказ № 1647

Оригинал-макет подготовлен в редакционно-издательском отделе
Краснодарского высшего военного авиационного училища летчиков
имени А.К. Серова
350005, г. Краснодар, ул. Дзержинского, 135

Отпечатано в ООО «Издательский Дом – Юг»
350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2, корп. «В», оф. В-122
тел. +7(918) 41-50-571
e-mail: id.yug2016@gmail.com Сайт: <http://www.id-yug.com>