

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 девятой международной
научной конференции
«ТТС-17»

22-24 ноября 2017 года

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

Краснодар
2017

УДК 621.3

ББК 39.53

Т38

Т38 Технические и технологические системы: Материалы девятой Международной научной конференции «ТТС-17» (22–24 ноября 2017 года) / ФГБОУ ВО «КубГТУ», КВВАУЛ им. А.К. Серова; под общей редакцией Б.Х. Гайтова. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2017. – 250 с.
ISBN 978-5-91718-507-1

Сборник содержит материалы девятой Международной научной конференции «Технические и технологические системы», проведенной в г. Краснодаре 22-24 ноября 2017 года на базе Кубанского государственного технологического университета. В настоящем издании представлены результаты исследований сотрудников следующих организаций: Кубанский государственный технологический университет, Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков им. А.К. Серова, Краснодарское высшее военное училище им. генерала армии С.М. Штеменко, Российский государственный университет правосудия (Северо-Кавказский филиал), Военная академия воздушно-космической обороны им. Г.К. Жукова, Краснодарский колледж электронного приборостроения ООО «Отрада», ООО «Прогресс», ПАО «ФСК ЕЭС», филиала ВУНЦ ВВС ВВА, ЗАО «ННК», ОАО «Печоранефть», ООО «НК «Роснефть» - НТЦ».

Редакционная коллегия:

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

ББК 39.53

УДК 629.7

ISBN 978-5-91718-507-1

- © Коллектив авторов, 2017
- © Кубанский государственный технологический университет, 2017
- © Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени А.К.Серова, 2017

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель оргкомитета

Подгорный С.А. д-р техн. наук, проректор Кубанского государственного технологического университета по научной работе (г. Краснодар, Россия).

Заместители председателя оргкомитета:

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

Арестенко Ю.П. канд. техн. наук, доц., заместитель директора нефти, газа и энергетики по учебной работе, Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар, Россия).

Члены оргкомитета:

Атрощенко В.А д-р техн. наук, проф., Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар, Россия).

Гапоненко А.М. д-р техн. наук, проф., Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар, Россия).

Григораш О.В. д-р техн. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (г. Краснодар, Россия).

Кашин Я.М. канд. техн. наук, доц., Кубанский государственный технологический университет, Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков им. А.К. Серова (г. Краснодар, Россия).

Лясковский В.Л. д-р техн. наук, проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана, (г. Москва, Россия).

- Маслов С.И. д-р техн. наук, проф., Московский энергетический институт (г. Москва, Россия).
- Птах Г.К. д-р техн. наук, проф., Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт), (г. Новочеркасск, Россия).
- Федотов Д.С. канд. полит. наук, 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. канд.техн. наук, 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. канд.техн. наук, доц., Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар, Россия).
- Шостак Н.А. канд.техн. наук, Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар, Россия).

**СЕКЦИЯ 1.
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ**

**ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ
СТРУКТУРАМИ ТРЕХМЕРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО
ПОЛЯ АКСИАЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ
И РЕГУЛЯТОРОВ**

Б.Х. Гайтов* (д.т.н., проф.), М.Н. Карташев**, С.П. Киселев**,
В.С. Суворов* (студент)

* *ФБГОУ ВО «Кубанский государственный технологический
университет» (г. Краснодар, Россия)*

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

В практике мирового электромашиностроения в последние 30-40 лет наблюдается расширение области применения аксиальных электрических машин (ЭМ) и рост их производства [1]. К таким машинам относятся в частности аксиальные трансформаторы [1-8], аксиальные индукционные регуляторы [1, 9-12], аксиальные фазорегуляторы [1, 13-15]. Температурный режим таких трансформаторов и регуляторов характеризуется, главным образом, выбором электромагнитных нагрузок. В связи с этим исследование температурного режима аксиальных трансформаторов и регуляторов нераздельно связано с электромагнитной совместимостью (ЭМС), ибо только рациональный выбор плотности тока и величины индукции обеспечивает удовлетворительный тепловой режим и ЭМС в машине.

К тому же следует отметить, что ЭМС в машине приводит к нарушению ее температурного режима, подтверждая тем самым неразрывную связь этих двух явлений, казалось бы, имеющих различные физические основы.

Усложнение условий эксплуатации ЭМ за счет существенных массогабаритных ограничений и требований понижен-

ной материалоемкости, обеспечиваемых, как известно, увеличенными значениями электромагнитных нагрузок (плотности тока в проводниках и магнитной индукции в сердечнике), требует соответствующей интенсификации их охлаждения. Анализ температурных полей ЭМ при этом значительно усложняется, что вызывает необходимость в совершенствовании методов исследования их температурных полей.

Известные методы тепловых исследований, в особенности метод эквивалентных тепловых схем, работают надежно при умеренных тепловых нагрузках ЭМ.

Однако для ЭМ с интенсивным охлаждением, где плотность потерь велика и неучет теплового взаимодействия элементов конструкции ЭМ вызывает значительные погрешности при тепловых испытаниях, предпочтение следует отдавать более точным методам. Наиболее подходящим для такого случая является метод моделирования параллельными структурами, как более универсальный и более точный, при построении математических моделей высоконапряженных в тепловом отношении ЭМ [16]. К таким машинам относятся аксиальные ЭМ, так как распределение тепла в них по радиусу неравномерное ввиду увеличения насыщения зубцов по мере приближения к центру магнитопровода.

Эффективной системой жидкостного охлаждения ЭМ является замкнутая система, имеющая нагнетательный и откачивающий элементы, между которыми в системе имеется теплообменник. При этом корпус изготавливается герметичным, а ЭМ может эксплуатироваться в условиях сильного загрязнения атмосферы, повышенной влажности и во взрывоопасных зонах без изменения внутренней теплопередачи.

Метод параллельных структур в математическом моделировании основан на представлении конструкции ЭМ в виде многослойной структуры, состоящей из ряда коаксиальных областей и системы стержней, располагаемых вдоль образующей цилиндров аксиальных магнитопроводов равномерно по окружности и параллельно между собой [16, 17].

Применительно к аксиальным трансформаторам и регуляторам такие соосные цилиндрические области образуют корпус, магнитопроводы с первичной и вторичной обмоткой. Элементы зубцовых и пазовых зон магнитопроводов образуют стержневые структуры, параллельные между собой и равномерно распределенные вдоль образующих цилиндров.

Особенность метода параллельных структур при исследовании температурного поля аксиальных трансформаторов и регуляторов заключается в возможности учета неравномерности теплоотовода в ЭМ. При этом контроль теплового состояния ЭМ основан на расчете процессов теплопередачи в ее узлах и элементах путем описания стационарных и нестационарных тепловых полей с возможно более полным учетом геометрических форм и свойства элементов ЭМ, условий теплообмена между многими элементами конструкции.

С точки зрения теплофизики и геометрических форм аксиальные трансформаторы и регуляторы представляют собой весьма сложную конструкцию. Учет всевозможных данных машины, естественно, приводит к получению сложной, труднореализуемой (а то и вовсе нереализуемой) математической модели. Как показывает практика электромашиностроения, проектирование ЭМ и не нуждается в столь подробной детализации температурного поля. В связи с этим сложную тепловую задачу целесообразно упростить в разумных пределах, предполагающих получение математических моделей, доступных реализации и исследованию.

В основе таких упрощенных моделей, независимо от их математической интерпретации, лежат предположения о структуре и свойствах температурного поля машины, которое определяется как плотностью потерь, вызывающих нагрев машины, так и принятой схемой охлаждения.

По способу организации движения охлаждающей жидкости в ЭМ при наиболее распространенном конвективном теплоотборе можно выделить три системы охлаждения: канальная, омываемая и струйная.

При канальной системе охлаждения охлаждающая жидкость проходит параллельно по аксиальным герметичным каналам, плотно прилегающим к охлаждающим поверхностям: магнитопроводам ЭМ, лобовым частям обмотки и др. При этом охлаждающая жидкость непосредственно не контактирует с охлаждаемой поверхностью, к ним непосредственно примыкают только каналы.

При омываемой системе охлаждаемая жидкость непосредственно омывает охлаждаемую поверхность. Поэтому жидкость должна быть диэлектрической. При этом жидкость принудительно прокачивается через специальные полости, созданные, с одной стороны, охлаждаемой поверхностью (магнитопровода или обмотки), а с другой – специальным оградителем, герметично связанным с охлаждаемой поверхностью.

Таким образом, в отличие от канальной системы охлаждения, где жидкость течет по сосредоточенным каналам простого геометрического профиля и разделена от охлаждаемой поверхности стенкой камеры, в омываемой системе жидкость проходит по сложным (естественно образуемым) полостям и непосредственно контактирует с охлаждаемой поверхностью. Поэтому при одинаковом расходе жидкости в омываемой системе, с одной стороны, уменьшается теплоотдача охлаждаемых поверхностей из-за понижения скорости течения жидкости, а с другой – охлаждение интенсифицируется за счет большей площади поверхности непосредственного контакта жидкости с активными элементами машины. Последнее обстоятельство делает омываемую систему предпочтительнее канальной в ряде случаев.

Система струйного охлаждения предусматривает создание направленных потоков жидкости в виде первичных струй жиклеров и вторичных струй и применяется только во вращающихся ЭМ.

Струйная система охлаждения обеспечивает наиболее интенсивный теплосъем на значительных площадях поверхностей охлаждения. Естественно, что в реальных условиях может быть

использована комбинированная система охлаждения, которая в ряде случаев дает наилучшие результаты.

Помимо приведенных жидкостных систем охлаждения известны методы непосредственного жидкостного охлаждения, когда проводники обмотки машины выполнены либо полыми, в которые укладываются тонкостенные каналы для охлаждаемой жидкости (или без них), либо с тепловыми трубами, посредством которых осуществляется охлаждение. Однако такие системы очень сложны, дороги и оправдывают себя лишь в ЭМ большой мощности.

В целом характерным для рассмотренных систем охлаждения машин конвективным путем является то, что при этом достаточно точно могут быть определены поверхности теплообмена и значения коэффициентов теплоотдачи. Последнее существенно с точки зрения развития методов теплового расчета на основе математических моделей с сосредоточенным интенсивным охлаждением.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта №16-48-230500 а_р.

Литература

1. Гайтова Т.Б., Кашин Я.М. Нетрадиционные электротехнические комплексы. Теория, расчет и конструкции. – Краснодар, 2004. – 403 с.

2. Пат. РФ на изобретение № 2139586, 06.04.1998. Многофазный трансформатор-фазорегулятор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Н.А. Сингаевский, Ф.И. Жуков, С.Н. Исик.

3. Пат. РФ на изобретение № 2181512, 28.12.2000. Многофазный трансформатор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова.

4. Гайтов Б.Х., Гайтова Т.Б., Кашин Я.М. Перспективные конструкции аксиальных многофазных трансформаторов и регуляторов с вращающимся магнитным полем // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2005. № 3. С. 44-47.

5. Пат. РФ на изобретение № 2249871, 03.03.2003. Многофазный трансформатор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова.

6. Пат. РФ на полезную модель № 23537, 07.04.2000. Многофазный агрегатированный сварочный трансформатор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, М.И. Урвачев, А.В. Самородов, Т.Б. Гайтова,.

7. Gaitov B.K., Kashin Y.M. Multiphase Welding Equipment // Welding International. 2007. Т. 21/ № 7. С. 529-533.

8. Gaitov B.K., Gaitova T.B., Kashin Y.M. Konstruktion and Application of axial Polyphase Transformers // Russian Elektrikal Engeneering. 2004/ Т/ 75/ № 7. С 44-51.

9. Пат. РФ на изобретение № 2168785, 06.04.1998. Аксиальный индукционный регулятор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Н.А. Сингаевский, А.Ю. Савченко, С.Р. Шарифуллин.

10. Пат. РФ на изобретение № 2170971, 31.03.1999. Сдвоенный аксиальный индукционный регулятор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Н.А. Сингаевский, А.В. Самородов, Ф.М. Ариди, А.П. Майоров

11. Пат. РФ на изобретение № 2216091, 01.11.2001. Многофазный индукционный регулятор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, И.П. Рябчун, А.Ю. Яковенко, С.В. Божко.

12. Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Божко С.В. Аксиальные регуляторы напряжения для систем автоматического управления / В книге: Электромеханические преобразователи энергии «ЭМПЭ-02». Материалы первой междунар. науч.-метод. конф. Краснодар, 2002. С. 34-37.

13. Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Рябчун И.П. Обоснование конструкции аксиального фазорегулятора. Перспективы развития / Электромеханические преобразователи энергии «ЭМПЭ-02». Матер. первой междунар. науч.-метод. конф.. Краснодар, 2002. С. 32-34.

14. Кашин Я.М. Вопросы теории, разработка конструкции и математическое моделирование аксиального многофазного трансформатора-фазорегулятора: Автореферат дис... канд. техн. наук. Краснодар, 1999.

15. Пат. РФ на полезную модель № 29624, 20.03.2003. Аксиальный многофазный трансформатор-фазорегулятор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова, В.И. Шипалов.

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

17. Гайтов Б.Х., Гайтова Т.Б., Шарифуллин С.Р. Расчет потерь в якорной обмотке двухмерной электрической машины для систем автономного электроснабжения // Изв. Вузов . Электромеханика. Новочеркасск: 1999. № 1. С. 26.

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СВЕТОВОЙ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА И КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

М.С. Христофоров (аспирант)

*ФБГОУ ВО «Кубанский государственный технологический
университет» (г. Краснодар, Россия)*

В настоящее время известен ряд конструкций электромеханических преобразователей, преобразующих кинетическую энергию ветра и световую Солнца в электрическую энергию (далее по тексту ЭМПЭ) [1-9].

Фирмой «Fortis Wind Energy» (Нидерланды) изготовлена ветроэлектрическая установка Fortis Alize [1], содержащая обтекатель, ступицу, лопасти, синхронный генератор с внутренним неподвижным статором с магнитопроводом якоря и наружным вращающимся ротором с магнитопроводом индуктора с постоянными магнитами, имеющими радиальную форму, муфту, несущий вал, опорно-поворотное устройство, трос аварийного останова, демпфер, вал механизма свертывания, балку хвостовика, хвостовой стабилизатор, токосъёмное устройство, опору головки, башню и лебедку ручного свертывания. Лопасти ветроэлектрической установки жестко закреплены на переднем диске ротора. Такая установка преобразует кинетическую энергию ветра в электрическую энергию, но не может преобразовывать световую энергию Солнца в электроэнергию.

Одновременное преобразование механической энергии вращения (например, кинетической энергии ветра, преобразованной ветроколесом в механическую энергию вращения) и электроэнергии постоянного тока (например, световой энергии

Солнца, преобразованной фотоэлектрическими преобразователями в электроэнергию постоянного тока) осуществляется в двухмерной аксиальной электрической машине-генераторе [2], содержащей якорь с обмоткой и щеточно-коллекторный аппарат машины постоянного тока и ротор с короткозамкнутой обмоткой по типу беличьей клетки, имеющих возможность свободно вращаться относительно друг друга. Ротор и якорь выполнены аксиальными, а в пазах якоря дополнительно уложена генераторная обмотка переменного тока, выход которой с помощью трех контактных колец и трех щеток соединен с сетью переменного тока.

Недостатком ветроэлектрической установки Fortis Alize [1] и двухмерной аксиальной электрической машины-генератора [2] является низкая надёжность из-за наличия токосъёмного устройства с подвижными контактами [1] и щеточно-коллекторный аппарат [2].

Этого недостатка лишена аксиальная двухвходовая бесконтактная электрическая машина-генератор (АДБЭМГ) [3], которая используется для преобразования энергии ветра и световой энергии Солнца в электрическую. АДБЭМГ содержит корпус, подвозбудитель, возбудитель и основной генератор, установленные на одном валу. Подвозбудитель состоит из постоянного многополюсного магнита индуктора подвозбудителя и магнитопровода с обмоткой якоря подвозбудителя. Возбудитель состоит из магнитопровода с обмоткой возбуждения возбудителя и магнитопровода с обмоткой якоря возбудителя. Основной генератор состоит из магнитопровода с обмоткой возбуждения основного генератора и магнитопровода с обмоткой якоря основного генератора. Постоянный многополюсный магнит индуктора подвозбудителя и магнитопроводы, в пазы которых уложены обмотки подвозбудителя, возбудителя и основного генератора, выполнены аксиальными. Боковые аксиальные магнитопроводы жестко установлены в корпусе, а постоянный многополюсный магнит индуктора подвозбудителя и внутренний аксиальный магнитопровод жестко установлены на валу с возможностью вращения относительно боковых аксиальных магнитопроводов. Постоянный многополюсный магнит индуктора

подвозбудителя установлен с торца одного бокового аксиального магнитопровода, а внутренний аксиальный магнитопровод установлен между боковыми аксиальными магнитопроводами. Внутренний аксиальный магнитопровод и боковой аксиальный магнитопровод, с торца которого установлен постоянный многополюсный магнит индуктора подвозбудителя, выполнены с двумя активными торцовыми поверхностями с пазами, а другой боковой аксиальный магнитопровод выполнен с одной активной торцовой поверхностью с пазами. В пазы бокового аксиального магнитопровода с двумя активными торцовыми поверхностями со стороны постоянного многополюсного магнита подвозбудителя уложена многофазная обмотка якоря подвозбудителя, а с противоположной стороны уложена однофазная обмотка возбуждения возбудителя, подключенная к обмотке якоря подвозбудителя через многофазный двухполупериодный выпрямитель, и дополнительная обмотка возбуждения возбудителя, подключенная к источнику постоянного тока. В пазы внутреннего аксиального магнитопровода со стороны обмотки возбуждения возбудителя и дополнительной обмотки возбуждения возбудителя уложена многофазная обмотка якоря возбудителя, а с противоположной стороны уложена однофазная обмотка возбуждения основного генератора, которая подключена к обмотке якоря возбудителя через многофазный двухполупериодный выпрямитель. В пазы бокового аксиального магнитопровода с одной активной торцовой поверхностью уложена многофазная обмотка якоря основного генератора.

Жестко закрепленные посредством дисков на валу элементы магнитных систем подвозбудителя, возбудителя и основного генератора АДБЭМГ [3] (постоянный аксиальный многополюсный магнит индуктора подвозбудителя и аксиальный вращающийся магнитопровод с многофазной обмоткой якоря возбудителя и однофазной обмоткой возбуждения основного генератора) образуют ротор. Вал ротора закреплен в подшипниковых узлах, закрыт крышкой с одной стороны и выходит за пределы корпуса с другой стороны.

Ротор вращается относительно элементов магнитных систем подвозбудителя, возбудителя и основного генератора (боко-

вой аксиальный магнитопровод с многофазной обмоткой якоря основного генератора, внутренний аксиальный магнитопровод с многофазной обмоткой якоря подвозбудителя, основной и дополнительной однофазными обмотками возбуждения возбудителя), жестко установленных в корпусе.

Другой электрической машиной, которая также не имеет подвижных контактов и успешно используется в электротехнических комплексах, преобразующих кинетическую энергию ветра и световую энергию Солнца в электрическую энергию является аксиальный двухходовый бесконтактный ветро-солнечный генератор (АДБВСГ) [4]. Он содержит корпус, возбудитель и основной генератор, установленные на одном валу. Возбудитель состоит из индуктора возбудителя и аксиального магнитопровода с обмоткой якоря возбудителя. Основной генератор состоит из бокового аксиального магнитопровода с одной активной торцевой поверхностью, в пазы которого уложена обмотка якоря основного генератора, и внутреннего аксиального магнитопровода с двумя активными торцевыми поверхностями, в пазы которого со стороны бокового аксиального магнитопровода уложена обмотка возбуждения основного генератора. Боковой аксиальный магнитопровод с одной активной торцевой поверхностью жестко установлен в корпусе, а внутренний аксиальный магнитопровод с двумя активными торцевыми поверхностями установлен на валу с возможностью вращения относительно бокового аксиального магнитопровода с одной активной торцевой поверхностью. Индуктор возбудителя выполнен из постоянного многополюсного магнита и дополнительной обмотки возбуждения возбудителя, причем постоянный многополюсный магнит индуктора возбудителя выполнен с пазами, многосекционным, неподвижным и жестко установлен в корпусе, а дополнительная обмотка возбуждения возбудителя уложена в пазы между секциями постоянного многополюсного магнита индуктора возбудителя и подключена к источнику постоянного тока. Внутренний аксиальный магнитопровод с двумя активными торцевыми поверхностями с пазами установлен в корпусе между постоянным многополюсным магнитом индуктора возбудителя с дополнительной обмоткой возбуждения возбудителя и боковым

аксиальным магнитопроводом с одной активной торцевой поверхностью с возможностью вращения относительно постоянного многополюсного магнита индуктора возбuditеля с дополнительной обмоткой возбуждения возбuditеля.

Существенным недостатком описанных выше конструкций [1-4], а также ряда других ЭМПЭ, преобразующих энергию ветра и солнца в электрическую [5-9], является то, что частота генерируемого ими напряжения зависит от скорости вращения элементов магнитных систем подвозбудителя (при наличии), возбuditеля и основного генератора, установленных на роторе, относительно элементов магнитных систем подвозбудителя (при наличии), возбuditеля и основного генератора, установленных в неподвижном корпусе, и определяется по формуле:

$$f = p \cdot n / 60, \quad (1)$$

где p – число пар полюсов; n – скорость вращения ротора относительно неподвижного корпуса, *об/мин*.

Скорость вращения ротора в свою очередь является функцией момента, создаваемого на валу известных ветрогенераторов [1-9 и др.] источником механической энергии вращения, в частности ветром, при этом момент на валу генератора в этом случае, в свою очередь, зависит от силы ветра, являющейся функцией скорости ветра.

В связи с тем, что интенсивность поступления механической энергии на вал электрической машины-генератора может быть неравномерной (например, из-за недетерминированной скорости ветра), то скорость вращения ротора может быть непостоянной, следовательно, частота напряжения, снимаемого с обмотки якоря таких ветрогенераторов (ветрогенераторных установок) является нестабильной. Это ограничивает область применения таких ветрогенераторных установок, которые в связи с изложенным выше могут быть использованы только для питания локальных объектов с невысокими требованиями к частоте питающего их напряжения и без параллельного подключения к внешним трехфазным системам переменного тока.

Таким образом, рассмотренные выше и ряд других ветрогенераторных установок [1-9] не могут работать параллельно с внешней трехфазной системой переменного тока.

Кроме того, в них невозможно прямое преобразование световой энергии (например, энергии Солнца) в электрическую энергию постоянного тока для последующего суммирования полученной энергии с механической энергией вращения и преобразования суммарной энергии в электрическую, что также ограничивает область их применения.

Таким образом, анализ известных преобразователей кинетической энергии ветра и световой энергии Солнца в электрическую энергию показал актуальность разработки и исследования таких преобразователей для обеспечения их возможности работы параллельно с внешней трехфазной сетью переменного тока.

Литература

1. Кривцов В.С. «Неисчерпаемая энергия», Кн. 1 «Ветро-электрогенераторы». / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев / Севастополь: Севастоп. нац. техн. ун-т, 2003. – 400 с.

2. Пат. РФ на изобретение № 2349014. 02.07.2007 г. Двухмерная аксиальная электрическая машина-генератор / Б.Х. Гайтов, А.В. Самородов, Т.Б. Гайтова, Л.Е. Копелевич.

3. Пат. РФ на изобретение № 2450411. 12.01.2011 г. Аксиальная двухходовая бесконтактная электрическая машина-генератор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова, А.Я. Кашин, Д.В. Пауков, А.В. Голошапов.

4 Пат. РФ на изобретение № 2561504. 16.06.2014 г. Аксиальный двухходовый бесконтактный электрический ветро-солнечный генератор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов.

5. Кашин Я.М., Кашин А.Я., Пауков Д.В. Обоснование и разработка перспективных конструкций генераторных установок для систем автономного электроснабжения // Известия вузов. Электромеханика. 2012. № 1. С. 46-53.

6. Гайтова Т.Б., Кашин Я.М. Нетрадиционные электротехнические комплексы. Теория, расчет, конструкции. Краснодар: КВАИ, 2004. – 404 с.

7. Зеленская Е.А., Гайтов Б.Х., Копелевич Л.Е., Самородов А.В., Кашин Я.М., Ладенко Н.В. Ветро-солнечные генераторы для электроснабжения объектов нефтяной отрасли // Газовая промышленность. 2014. № 6(707). С. 114-117.

8. Гайтов Б.Х., Самородов А.В., Копелевич Л.Е., Кашин Я.М. Двухмерная электрическая машина-генератор для автономных систем электроснабжения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2013. № 1-2. С. 66-69.

9. Гайтова Т.Б., Кашин Я.М., Кашин А.Я., Копелевич Л.Е., Ясьян Ю.П. Система автономного электроснабжения на базе аксиальных электромагнитных устройств // Тр. Кубан. гос. аграр. ун-та, 2011. С. 205-209.

10. Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Ладенко Н.В., Самородов А.В. Включение двухмерных машин на общую нагрузку // Энергосбережение и водоподготовка. 2014. № 1. С. 71-73.

ПЕРСПЕКТИВНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ КАБЕЛЯ

Я.М. Кашин*(к.т.н., доц.), Г.А. Кириллов**(к.т.н., доц.),
А.Б. Варенов (к.т.н., доц.)**, В.А. Бац** (курсант)

* *ФБГОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)*

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

В работе [1] представлено устройство, реализующее способ, которое содержит локационный искатель повреждений (импульсный измеритель), источник направленного радиоактивного излучения, радиотелефон.

Однако это устройство и входящий в его состав источник радиоактивного излучения не обеспечивают безопасной работы оператора, перемещающего источник радиоактивного излучения вдоль трассы в зоне повреждения кабеля, вследствие того, что источник радиоактивного излучения (ИРИ) не имеет радиаци-

онной защиты, и поток γ -излучения непрерывно рассеивается в окружающем пространстве, оказывая негативное воздействие на организм оператора и находящихся поблизости людей. При этом процесс γ -излучения не прекращается после окончания работ по обнаружению места повреждения кабеля.

Кроме того, точность определения места повреждения кабеля при использовании известного устройства с входящим в его состав источником радиоактивного излучения низка из-за того, что поток γ -излучения от ИРИ рассеивается в окружающем пространстве и не полностью концентрируется на поврежденном кабеле. Вследствие этого отраженный от искусственной волновой неоднородности в месте повреждения кабеля сигнал имеет размытый характер, что не позволяет точно совместить на экране электронно-лучевой трубки сигнал, отраженный от места повреждения, с размытым сигналом, отраженным от искусственной волновой неоднородности, и, соответственно, не позволяет точно определить место повреждения кабеля.

Снижение радиационного воздействия радиоактивного излучения на организм оператора, перемещающего источник радиоактивного излучения вдоль трассы в зоне повреждения кабеля, снижение рассеивания γ -излучения обеспечивается описываемым устройством [2].

Устройство для определения места повреждения кабеля содержит импульсный измеритель, радиотелефон, источник радиоактивного излучения, установленный в центре свинцового контейнера в расположенном по его оси симметрии вертикальном канале, при этом в нижней части свинцового контейнера установлено механическое затворное устройство, состоящее из свинцовой крышки, по центру которой выполнен вертикальный узконаправленный выходной канал, расположенный на одной оси с вертикальным каналом свинцового контейнера, и установленного внутри свинцовой крышки свинцового затвора с вертикальным проходным каналом, смещенным относительно оси симметрии свинцового контейнера влево, прижимаемого к нижней части свинцового контейнера прижимными пружинами с шариками и имеющего возможность плавно перемещаться вдоль нее до полного совмещения вертикального проходного

канала свинцового затвора с вертикальным каналом свинцового контейнера и вертикальным узконаправленным выходным каналом свинцовой крышки по оси симметрии свинцового контейнера, при этом свинцовый затвор торцевыми частями упруго связан со свинцовой крышкой распорными пружинами и своей левой стороной соединен посредством гибкого троса, находящегося в стальной оболочке, с кнопкой дистанционного управления.

Существенное снижение радиационного воздействия радиоактивного излучения на организм оператора, перемещающего источник радиоактивного излучения вдоль трассы в зоне повреждения кабеля достигается за счет того, что ИРИ устанавливается в центре свинцового контейнера в расположенном по его оси симметрии вертикальным канале, который закрывается механическим затворным устройством, открывающим ИРИ только на время создания искусственной волновой неоднородности, когда оператор, перемещающий ИРИ вдоль трассы в зоне повреждения кабеля, находится на безопасном расстоянии от ИРИ, которое определено длиной гибкого троса.

Повышение точности определения места повреждения кабеля достигается за счет того, что в предлагаемом устройстве для определения места повреждения кабеля создается узконаправленное γ -излучение путем установки ИРИ в свинцовом контейнере, который выполняется с расположенным по его оси симметрии вертикальным каналом, закрываемым механическим затворным устройством, при этом механическое затворное устройство содержит свинцовую крышку, по центру которой выполняется вертикальный узконаправленный выходной канал, расположенный на одной оси с вертикальным каналом свинцового контейнера, а внутри свинцовой крышки устанавливается свинцовый затвор с вертикальным проходным каналом, смещенным влево относительно оси симметрии свинцового контейнера. Для создания узконаправленного γ -излучения вертикальный проходной канал свинцового затвора совмещают по оси симметрии свинцового контейнера с вертикальным каналом свинцового контейнера и вертикальным узконаправленным вы-

ходным каналом свинцовой крышки, предварительно установив свинцовый контейнер на землю над осью кабеля.

Снижение рассеивания γ -излучения достигается за счет того, что вертикальный выходной канал в свинцовой крышке выполняется узконаправленным, что минимизирует рассеивание γ -излучения в окружающем пространстве и концентрирует его строго над осью поврежденного кабеля, создавая сконцентрированную искусственную волновую неоднородность. При этом отраженный от сконцентрированной искусственной волновой неоднородности сигнал создает на экране ЭЛТ изображение четкой формы, позволяющее точно совместить сигнал, отраженный от места повреждения, с сигналом, отраженным от сконцентрированной искусственной волновой неоднородности, и, соответственно, точно определить место повреждения кабеля.

Данное устройство экспонировалось в 2017 г. на XX Международном салоне изобретений и инновационных технологий (Архимед-2017) и отмечено бронзовой медалью.

Литература

1. Авторское свидетельство РФ № 1624363. Способ определения места повреждения кабеля // Г.А. Кириллов А.И. Гайдашко
2. Пат. РФ на изобретение № 2585323. 27.03.2015 г. Устройство для определения места повреждения кабеля / Я.М. Кашин, Г.А. Кириллов, Р.Н. Бордиян.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ И МОРСКИХ СУДОВ

В.В. Шкода*(к.п.н., доц.), М.А. Модина**(к.т.н., доц.)

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

** ФГБОУ ВО «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова» (г. Новороссийск, Россия)

Топливные насосы для воздушных и морских судов служат для перекачки топлива и относятся к особому классу насосов.

В последнее время активно развивается класс электриче-

ских машин аксиальной конструкции различного назначения, в том числе и насосов. Это обусловлено рядом преимуществ таких машин по сравнению с машинами радиальной конструкции: меньшими размерами; большей жесткостью конструкции; благоприятными условиями теплоотдачи, охлаждения и вентиляции; существенным упрощением обмоточных работ благодаря открытой зубцовой зоне; практически безотходным использованием магнитных материалов; удобством сочленения с механизмом и приводом; сравнительной простотой эксплуатации и ремонта и т.д. [1]. К таким электрическим машинам относятся перспективные двигатели-насосы [2-5], разработанные под руководством проф. Гайтова Б.Х. учеными Кубанского государственного технологического университета и Краснодарского высшего военного авиационного училища летчиков.

Известен двигатель-насос [6], содержащий статор электродвигателя, представляющий собой магнитопровод с пазами, в которые уложена первичная обмотка, массивное рабочее колесо-ротор, представляющее собой полый барабан, на внутренней поверхности которого размещены лопаточные венцы осевого насоса.

Однако в таком двигателе-насосе за счет большого активного сопротивления массивного рабочего колеса-ротора имеют место повышенные потери, основная доля которых рассеивается в окружающее пространство в виде тепла. За счет этих потерь перекачиваемая таким насосом жидкость нагревается и теряет вязкость, что для топлива неприемлемо, так как может привести к его недопустимому нагреву и изменению его физических свойств.

Известен также насос аксиальной конструкции [7] содержащий корпус, смонтированные в нем статоры электродвигателя и рабочее колесо насоса, являющееся ротором электродвигателя и выполненное в виде связанных между собой двух роторов-дисков, расположенных между двумя торцовыми поверхностями двух статоров электродвигателя с необходимыми воздушными зазорами, причем один из статоров электродвигателя является отключаемым от сети питания независимо от другого, а насос снабжен установленным в

корпусе на подшипниках валом, на котором закреплено рабочее колесо.

Однако конструкция такого насоса не предусматривает защиту статорной обмотки от вредного механического и химического воздействия перекачиваемой жидкости, что может привести к повреждению изоляции обмотки статора с последующим коротким замыканием обмотки. Существенным недостатком такого насоса является наличие массивных роторов-дисков, изготовленных из конструкционной стали, приводящее к неоправданно большим потерям мощности на вихревые токи в массиве роторов-дисков и магнитный гистерезис, что приводит к сильному нагреву ротора и, следовательно, к большим потерям энергии и существенному снижению КПД насоса. Отсутствие обмоток на роторах-дисках снижает энергетические показатели насоса в целом. Кроме того, стальные массивные роторы-диски обладают большой массой, вследствие чего ухудшают массогабаритные показатели насосного агрегата в целом, роль обмоток выполняет конструкционная сталь, имеющая большое активное сопротивление. Вал, соединяющий роторы такого насоса, должен иметь достаточно большой диаметр и, соответственно, большую массу для передачи крутящих и изгибающих моментов, осевых и радиальных усилий, что также приводит к ухудшению массогабаритных показателей насоса.

Для защиты статорной обмотки электродвигателя насоса от вредного механического и химического воздействия перекачиваемой жидкости, уменьшения нагрева перекачиваемой жидкости и насоса в целом, повышения энергетических показателей, снижения потерь энергии, повышения КПД и улучшения массогабаритных показателей насосного агрегата разработан аксиальный центробежный двигатель-насос [2].

Статор электродвигателя двигателя-насоса, смонтированный в корпусе, герметично отделяется от проточной части двигателя-насоса тонкой мембраной, изготовленной из диэлектрического материала и защищающей трехфазную обмотку статора от вредного механического и химического воздействия перекачиваемой жидкости. Аксиальный магнитопровод ротора выпол-

няется шихтованным из электротехнической стали с короткозамкнутой алюминиевой обмоткой и впрессовывается в изготовленное из легкого алюминиевого сплава рабочее колесо двигателя-насоса с лопастями. Полученное таким образом свободно вращающееся рабочее колесо-ротор двигателя-насоса устанавливается свободно вращающимся на неподвижно закрепленной в корпусе оси.

Разработанная конструкция в отличие от известных позволяет с помощью мембраны из диэлектрического материала защитить статорную обмотку аксиального центробежного двигателя-насоса от вредного воздействия перекачиваемой жидкости, уменьшить нагрев перекачиваемой жидкости за счет снижения потерь на вихревые токи и магнитный гистерезис, повысить энергетические показатели насоса в целом за счет выполнения рабочего колеса-ротора с шихтованным магнитопроводом с обмоткой, снизить потери энергии и повысить КПД за счет уменьшения потерь на магнитный гистерезис. Потери на магнитный гистерезис уменьшаются в предлагаемой конструкции в силу магнитных свойств электротехнической стали, из которой выполнен магнитопровод рабочего колеса-ротора. Уменьшить потери мощности на вихревые токи позволяет выполнение магнитопровода рабочего колеса-ротора шихтованным. Улучшение массогабаритных показателей насоса обеспечивается за счет частичного выполнения рабочего колеса-ротора из легкого алюминиевого сплава и обеспечения передачи вращающего момента за счет электромагнитных сил, что позволяет заменить приводной вал, имеющий большой диаметр и, соответственно, массу, на неподвижно закрепленную ось малого диаметра и малой массы.

Опыт эксплуатации показал, что недостатком такого аксиального центробежного двигателя-насоса является наличие большого воздушного зазора между магнитопроводами статора и ротора, приводящее к увеличению магнитного сопротивления, а следовательно к увеличению токов, необходимых для создания требуемого магнитного потока (тока намагничивания), т.е. к увеличению требуемого сечения проводов обмоток и, соответственно, к ухудшению массогабаритных показателей

аксиального центробежного двигателя-насоса, увеличению его стоимости, увеличению потерь энергии и снижению КПД. Существенным недостатком такого аксиального центробежного двигателя-насоса, как и любой аксиальной электрической машины, является также наличие большого осевого (аксиального) электромагнитного усилия, вызванного в результате притяжения ротора и статора. Это усилие ведет к преждевременному выходу из строя подшипниковых узлов, что уменьшает надежность работы двигателя-насоса, а наличие подшипниковых узлов, необходимых в прототипе для обеспечения возможности вращения ротора, усложняет конструкцию двигателя-насоса в целом. Кроме того, перекося ротора относительно статора, вызванный большим осевым (аксиальным) электромагнитным усилием, может привести к заклиниванию ротора, что снижает надежность работы насосного агрегата в целом.

Для уменьшения зазора между статором и ротором двигателя-насоса, улучшения его массогабаритных показателей, снижения стоимости и потерь энергии, повышения КПД, упрощения конструкции и повышения надежности насосного агрегата в целом разработан аксиальный двигатель-насос [3].

Аксиальный двигатель-насос [3] содержит корпус, смонтированный в нем статор электродвигателя, представляющий собой аксиальный шихтованный магнитопровод с пазами, в которые уложена трехфазная обмотка, и рабочее колесо-ротор. Статор электродвигателя герметично отделен от проточной части насоса тонкой мембраной из диэлектрического материала и имеет калиброванное отверстие в центре, а рабочее колесо-ротор, выполненное из легкого алюминиевого сплава, имеет шихтованный аксиальный магнитопровод, в пазы которого уложена короткозамкнутая обмотка. Между рабочим колесом-ротором и статором установлено Т-образное кольцо, а выходной канал двигателя-насоса выполнен с обводной трубой, соединенной с калиброванным отверстием.

Регулирование зазора между ротором и статором осуществляется следующим образом. При повышении давления в полости между статором и ротором ротор в силу известных зако-

нов гидравлики стремится сместиться от статора в осевом направлении. Величина смещения определяет ширину щели между ротором и кольцом. Ширина щели, в свою очередь определяет величину давления в полости ротор-статор-кольцо. При увеличении щели количество сливаемой жидкости увеличивается, и давление в полости ротор-статор-кольцо падает. Таким образом, зазор между ротором и статором двигателя-насоса регулируется автоматически. При возникновении перекоса ротора в секторе, в котором удаление ротора от статора наибольшее, ширина щели возрастает, уменьшая тем самым давление под ротором в этом секторе. В противоположном секторе ширина щели уменьшается, а давление, соответственно, увеличивается. Неравенство сил давления в противоположных секторах ротора приводит к появлению сил и моментов, устраняющих возникший перекокс, то есть к автоматическому регулированию зазора между статором и ротором.

Разработанный двигатель-насос в отличие от предыдущей конструкции и других известных центробежных насосов позволяет уменьшить зазор между статором и ротором двигателя-насоса, ограничив его только высотой кольца Т-образного сечения; улучшить массогабаритные показатели насосного агрегата, снизить его стоимость, упростить конструкцию и повысить надежность насосного агрегата в целом за счет выполнения двигателя-насоса без подшипников и вала (оси), а также снизить потери энергии и, соответственно, повысить КПД за счет уменьшения воздушного зазора между статором и ротором и уменьшить потери на рассеивание магнитного потока.

Другое решение задачи уменьшения зазора между статором и ротором двигателя-насоса, улучшения его массогабаритных показателей, снижения стоимости и потерь энергии, повышения КПД, упрощения конструкции и повышения надежности насосного агрегата в целом изложено в [4, 5].

По периметру статора такого двигателя-насоса выполняются кольцевые канавки полукруглого сечения, в которые укладываются диэлектрические тела качения, а по

периметру рабочего колеса-ротора двигателя-насоса посредством аналогичных канавок рабочее колесо-ротор двигателя-насоса устанавливается на диэлектрические тела качения с возможностью вращения.

Предлагаемое решение в отличие от известных также позволяет: уменьшить зазор между статором и ротором двигателя-насоса за счет повышения жесткости конструкции, обусловленной большой опорной поверхностью рабочего колеса-ротора благодаря размещению тел качения по всему периметру статора и рабочего колеса-ротора, ограничив величину зазора только состоянием поверхностей (шероховатость и плоскостность) статора и ротора; улучшить массогабаритные показатели насосного агрегата, снизить его стоимость, упростить конструкцию и повысить надежность насосного агрегата в целом за счет выполнения двигателя-насоса без подшипников и вала (оси), а также снизить потери энергии и, соответственно, повысить КПД за счет выполнения тел качения из диэлектрика, уменьшая тем самым нагрев перекачиваемой жидкости за счет снижения потерь на вихревые токи и магнитный гистерезис в телах качения.

Литература

1. Гайтова Т.Б., Кашин Я.М. Нетрадиционные электротехнические комплексы (теория, расчет и конструкции). Краснодар: КВАИ, 2004. – 403 с.
2. Пат. РФ на изобретение № 2284426. 20.04.2005 г. Аксиальный центробежный двигатель-насос / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, М.И. Рябухин, Т.Б. Гайтова.
3. Пат. РФ на изобретение № 2340974. 26.10.2007 г.. Аксиальный двигатель-насос / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, М.И. Рябухин, Т.Б. Гайтова, А.Я. Кашин.
4. Пат. на полезную модель № 67769. 10.07.2007 г. Аксиальный безваловый двигатель-насос / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, М.И. Рябухин, Т.Б. Гайтова, А.Я. Кашин.
5. Пат. РФ на изобретение № 2343318. 31.05.2007 г. Аксиальный центробежный двигатель-насос / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, М.И. Рябухин, Т.Б. Гайтова, А.Я. Кашин.
6. Гайтов Б.Х. Управляемые двигатели-машины. М.: Машиностроение, 1981. – 183 с.

7. Пат. РФ на изобретение № 2098667. 16.05.1995 г. Насос для перекачки нефтепродуктов / Б.Х.Гайтов, Л.Е. Копелевич, В.Я. Письменный.

ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАГНИТОПРОВОДОВ АКСИАЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ И ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ МОРСКИХ И ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

М.А. Модина* (к.т.н., доц.), В.В. Шкода** (к.п.н., доц.)

* *ФГБОУ ВО «Государственный морской университет им. адмирала Ф.Ф. Ушакова» (г. Новороссийск, Россия)*

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

Традиционная технология изготовления магнитопроводов аксиальных электрических машин, которые могут использоваться на морских и воздушных судах – трансформаторы [1, 2], фазорегуляторы [3, 4], двигатели-насосы [5, 6], индукционные регуляторы [7, 8], генераторы [9, 10] и пр. состоит из следующих последовательно выполняемых этапов:

– разрезка листов электротехнической стали на полосы шириной, равной высоте магнитопроводов;

– вырубка в полосах единичных пазов из расчета, что по мере увеличения диаметра навивки расстояние между единичными пазами соответственно увеличивается;

– отжиг полос с пазами в специальной печи с кварцевым песком при температуре 900 °С. Отжиг сопровождается образованием на поверхности полос оксидной пленки, обеспечивающей весьма тонкую и надежную изоляцию соприкасающихся элементов полос. При этом коэффициент заполнения пакета сталью близок к единице;

– навивка обработанных таким образом полос на каркас. При этом единичные пазы ложатся строго в радиальном направлении, поскольку расстояние между ними увеличивалось в функции диаметра навивки;

– укладка обмоток в пазы магнитопроводов.

Широко распространенная ранее технология изготовления магнитопроводов аксиальной конструкции [11], согласно

которой рулон, например холоднокатаной электротехнической стали, разрезается на ленты (полосы) расчетной ширины, которые, в свою очередь, наматываются на внутреннее стальное кольцо изготавливаемого пакета магнитопровода, набирая тем самым нужный внешний диаметр с последующей напрессовкой внешнего стального кольца, имеет существенные недостатки – сложность и дороговизна изготовления; малая производительность. Помимо этого для окончательного завершения технологического цикла изготовления ферромагнитных пакетов по такой технологии в магнитопроводах выфрезеровываются радиальные пазы расчетных размеров, например с помощью фрезерного станка, что существенно ухудшает свойства электротехнической стали из-за проявления явления наклепа и, кроме того, появляющиеся при фрезеровании пазов магнитопроводов заусенцы замыкают между собой практически всю навитую на внутреннее кольцо электротехническую сталь.

Этих недостатков лишена технология изготовления магнитопроводов аксиальных электродвигателей [12], которая заключается в том, что рулонную холоднокатанную электротехническую сталь в движении протяжкой разрезают одновременно на расчетное количество полос расчетной ширины и количества, до сборки осуществляют в полосах вырубку пазов и отжиг, затем наматывают каждую полосу на свое внутреннее ферромагнитное кольцо расчетного диаметра с последующей напрессовкой соответствующего количества наружных ферромагнитных колец соответствующих диаметров на стальной пакет расчетного наружного диаметра.

Однако исследования показали, что при такой технологии изготовления не обеспечивается равномерное магнитное насыщение аксиальных магнитопроводов в радиальном направлении. Магнитный поток в магнитопроводе замыкается по пути с наименьшим магнитным сопротивлением. Следствием этого является повышенная намагниченность областей зубцов и ярма, находящихся ближе к внутреннему диаметру магнитопроводов и неполная намагниченность областей, расположенных ближе к внешнему его диаметру. Выравнивание индукций областей, находящихся ближе к внутреннему и

внешнему диаметрам, при такой технологии изготовления возможно только путем увеличения тока холостого хода, однако это приведет к значительному уменьшению энергетических показателей: коэффициента мощности $\cos \varphi$ и КПД η .

Все это приводит к существенному увеличению массогабаритных и стоимостных показателей аксиальных электрических машин, магнитопроводы которых изготовлены известным из [12] способом, что для воздушных и морских судов недопустимо.

Для обеспечения равномерного магнитного насыщения магнитопроводов, более эффективного использования магнитного материала, повышения энергетических (коэффициента мощности $\cos \varphi$ и КПД η) и улучшения массогабаритных показателей аксиальных сварочных трансформаторов разработана технология изготовления аксиальных магнитопроводов [13], заключающаяся в том, что рулонную холоднокатанную электротехническую сталь как и в по технологии, описанной в [12] в движении протяжкой разрезают одновременно на расчетное количество полос расчетной ширины и количества, до сборки осуществляют в полосах вырубку пазов и отжиг, затем наматывают каждую полосу на свое внутреннее ферромагнитное кольцо расчетного диаметра с последующей напрессовкой соответствующего количества наружных ферромагнитных колец соответствующих диаметров на стальной пакет расчетного наружного диаметра. Затем на расчетных расстояниях от начала полосы электротехнической стали между ее витками закрепляют полоски расчетной длины из диамагнитного материала, образующие коаксиальные цилиндрические поверхности и обеспечивающие магнитную изоляцию полученных таким образом модулей аксиальных магнитопроводов друг от друга. При этом длина полос из диамагнитного материала и радиус полученных коаксиальных цилиндрических поверхностей рассчитываются таким образом, чтобы обеспечить одинаковую площадь торцовых частей модулей аксиальных магнитопроводов.

При этом весь технологический процесс, начиная от разрезания рулонной холоднокатаной электротехнической стали и диаманитного материала в движении (протяжкой) на расчетное количество полос, обрезка и закрепление полосок расчетной длины из диаманитного материала, вырубки пазов на каждой из полос электротехнической стали с закрепленными на ней полосками из диаманитного материала и их отжиг, с последующим изготовлением расчетного количества готовых магнитопроводов одновременно, выполняется поточным методом, при котором несколько магнитопроводов изготавливаются одновременно, за счет чего существенно повышается производительность труда, а также по безотходной технологии, если не считать неизбежные потери стали при вырубке пазов. Отжиг полос электротехнической стали с закрепленными на ней полосками из диаманитного материала непосредственно после штамповки паза, а не готового пакета в целом существенно улучшает (восстанавливает после вырубки пазов) магнитные свойства стали и обеспечивает надежную изоляцию между слоями электротехнической стали в пакете, что уменьшает потери в стали электрической машины.

Литература

1. Пат. РФ на изобретение № 2181512. 28.12.2002 г. Многофазный трансформатор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова.
2. Пат. РФ на изобретение № 2249871. 03.03.2003 г. Многофазный трансформатор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова.
3. Пат. РФ на изобретение № 2139586. 06.04.1998 г. Многофазный трансформатор-фазорегулятор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Н.А. Сингаевский, Ф.И. Жуков, С.Н. Исик.
4. Пат. РФ на полезную модель № 29624. 03.03.2003 г. Аксиальный многофазный трансформатор-фазорегулятор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова, В.И. Шипалов.
5. Пат. РФ на изобретение № 2284426. 20.04.2005 г. Аксиальный центробежный двигатель-насос / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, М.И. Рябухин, Т.Б. Гайтова.
6. Пат. РФ на изобретение № 2340974. 26.10.2007 г. Аксиальный двигатель-насос / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, М.И. Рябухин, Т.Б. Гайтова, А.Я. Кашин.

7. Пат. РФ на изобретение № 2168785. 06.04.1998 г. Аксиальный индукционный регулятор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Н.А. Сингаевский, А.Ю. Савченко, С.Р. Шарифуллин.

8. Пат. РФ на изобретение № 2170971. 31.03.1999 г. Сдвоенный аксиальный индукционный регулятор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Н.А. Сингаевский, А.В. Самородов, Ф.М. Ариди, А.П. Майоров.

9. Пат. РФ на изобретение № 2402858. 12.10.2009 г. Аксиальный бесконтактный генератор постоянного тока / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, М.И. Рябухин, Т.Б. Гайтова, А.Я. Кашин.

10. Пат. РФ на изобретение № 2601952. 29.04.2015 г. Аксиальный управляемый бесконтактный двигатель-генератор / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин. А.С. Князев.

11. Паластин Л.М. Электрические машины автономных источников питания, М.: Энергия, 1972, §7-4. С. 122-131.

12. Пат. РФ на изобретение № 2316877. – БИ 2008. – № 4. Способ изготовления магнитопроводов аксиальных электродвигателей / Т.Б. Гайтова, Б.Х. Гайтов, Р.З. Таршхоев.

13. Пат. РФ на изобретение № 2475924. 19.08.2011 г. Способ изготовления магнитопроводов аксиальных электрических машин / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, И.Н. Автайкин, Т.Б. Гайтова, А.Я. Кашин, Д.В. Пауков.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СЕПАРИРОВАНИЯ НЕФТИ

Б.Х. Гайтов (д.т.н., проф.), Л.Е. Копелевич (к.т.н., доц.),
В.А. Ким (студент)

ФБГОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

Одним из направлений исследований, проводимых на кафедре электротехники и электрических машин ФБГОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» под руководством заслуженного деятеля науки и техники РФ профессора Б.Х. Гайтова, являются энергосберегающие технологии. Результатом данной работы являются

разработанный способ сепарирования нефти и установка для сепарирования нефти [1, 2].

Усовершенствованный способ сепарирования нефти можно условно представить в виде блок-схемы на рис. 1.

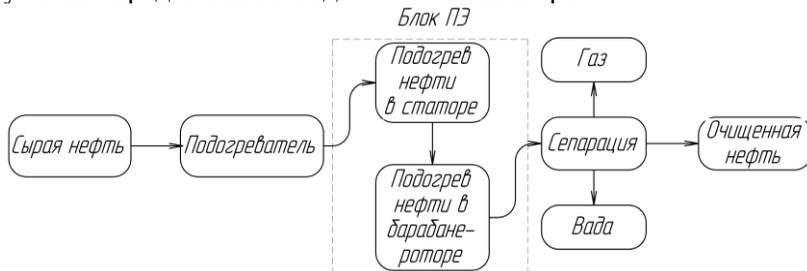


Рисунок 1 – Усовершенствованный способ сепарирования нефти

Его отличительной особенностью от других способов сепарирования является наличие блока ПЭ (повышения энергоэффективности), который использует тепловую энергию, выделяющуюся в проводниках и магнитопроводе статора и в барабане-роторе.

На рис. 2 представлена установка для сепарирования нефти. Она содержит: корпус 1 сепаратора, смонтированный в нем статор электродвигателя, состоящий из двух частей (цилиндрическая часть 2-1, аксиальная часть 2-2), с обмоткой 3 двух частей статора, вокруг лобовых частей которой установлены трубки 4, залитые компаундом 5, барабан сепаратора 6, являющийся одновременно ротором электродвигателя, жестко связанный с валом 7, подогревателя нефти 15, соединительных трубок 16 и 17. Вал 7 установлен в подшипниковых опорах 8 и 9. Барабан сепаратора 6 состоит из основания 10 с центральной трубкой, разделительных тарелок 11, крышки 12, тарелкодержателя 13, затяжного кольца 14. Соединительная трубка 16 соединяет подогреватель нефти 15 с входом трубок 4, а соединительная трубка 17 соединяет выход трубок 4 с внутренней частью барабана сепаратора 6.

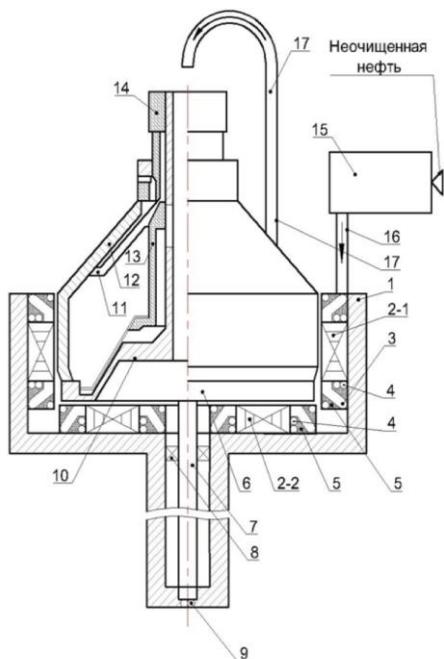


Рисунок 2 – Установка для сепарирования нефти

При подаче питания на обмотку 3 цилиндрической 2-1 и аксиальной частей 2-2 статора возникает вращающееся магнитное поле, которое наводит вихревые токи в барабане 6, являющегося одновременно ротором электродвигателя. Взаимодействие вращающегося магнитного поля, созданного в частях статора 2-1 и 2-2, и магнитного поля, созданного вихревыми токами в барабане (массивном роторе) 6, приводит к возникновению вращающегося момента, в результате чего барабан 6 приходит во вращение совместно с валом 7. Исходная нефть подается в подогреватель нефти 15, где частично происходит подогрев исходной нефти до определенной температуры. После подогревателя нефти 15 частично подогретая нефть по соединительной трубке 16 подается на вход трубок 4, проходя по которым нефть

дополнительно подогревается за счет тепловыделения в обмотках 3 цилиндрической 2-1 и аксиальной 2-2 частей статора и в магнитопроводах цилиндрической 2-1 и аксиальной 2-2 частей статора. Подогреваясь в трубках 4 нефть, одновременно, охлаждает магнитопроводы цилиндрической 2-1 и аксиальной частей 2-2 статора и обмотку 3 двух частей статора 2. При выходе из трубок 4 нефть по соединительной трубке 17 подается в барабан (массивный ротор) 6, где она поступает через центральную трубку в днище барабана, а затем в каналы тарелкодержателя 13. Находясь в нижней части барабана 6, нефть дополнительно подогревается за счет тепловыделения в торцовой и цилиндрической частях барабана 6, приобретая тем самым необходимую для сепарирования температуру. Находясь в нижней части барабана 6 нефть подвергается воздействию электромагнитного поля, как с аксиальной, так и с цилиндрической частями статора, что способствует улучшению процесса сепарирования. Сам процесс сепарирования нефти происходит в разделительных тарелках 11. Продукты сепарирования (в т.ч. очищенная нефть) выводятся из барабана сепаратора.

По итогам проведенных расчетов использование установки для сепарирования позволит на месторождении с объемом добычи нефти 35000 т/год получить экономию электроэнергии до 64 тыс. кВтч в год, что в стоимостном выражении может составить до 274 тыс. рублей в год [3].

Литература

1. Пат. РФ № 2585636. 23.03.2015 г. Способ сепарирования нефти / Л.Е. Копелевич.
2. Пат. РФ № 2593626. 23.03.2015 г. Установка для сепарирования нефти / Л.Е. Копелевич
3. Гайтов Б.Х. Установка для сепарирования нефти [Текст] / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов, В.А. Ким // Нефтяное хозяйство. 2017. № 7. С. 90-92.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОГО ГЕНЕРАТОРА

Л.Е.Копелевич (к.т.н., доц.), М.С. Христофоров (аспирант),
В.А. Ким (студент)

ФБГОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

В ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» на протяжении ряда лет под руководством заслуженного деятеля науки и техники РФ профессора Б.Х. Гайтова ведутся работы, связанные с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ)[1-3]. Результатами данной работы является разработанный электротехнический комплекс на базе ветро-солнечного генератора (ЭТКВСГ) и созданная математическая модель в среде «Matlab», позволяющая учесть электро-механические и электромагнитные процессы, протекающие в ветро-солнечном генераторе, осциллограммы переходных процессов выходного напряжения ветро-солнечного генератора при изменении входных величин.

Электротехнический комплекс на базе ветро-солнечного генератора представляет собой электромеханическое устройство, которое совмещает в корпусе два девятифазных синхронных генератора переменного тока, два девятифазных выпрямителя и трехфазный синхронный генератор переменного тока. Девятифазные синхронные генераторы нужны для снижения коэффициента пульсации. Особенность ЭТКВСГ – это возможность эффективного использования двух ВИЭ, 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).

На рис. 1 приведена электрическая схема ЭТКВСГ (схема представлена без ветроагрегата и солнечных батарей), состоящая из постоянного многополюсного магнита 1 индуктора подвозбудителя, магнитопровода 11 с обмоткой 2 якоря подвозбу-

дителя, однофазной обмоткой 4 возбуждения возбудителя и дополнительной обмоткой 6 возбуждения возбудителя; внутреннего аксиального магнитопровода 12 с многофазной обмоткой 7 якоря возбудителя и однофазной обмоткой возбуждения 9 основного генератора, аксиальный магнитопровод 13 с многофазной обмоткой 10 якоря основного генератора, контактов 5 для подключения внешнего источника постоянного тока (например, солнечной батареи) к дополнительной обмотке 6 возбуждения возбудителя. Однофазная обмотка 4 возбуждения возбудителя подключается к многофазной обмотке 2 якоря подвозбудителя через многофазный выпрямитель 3. Однофазная обмотка 9 возбуждения основного генератора подключается к многофазной обмотке 7 якоря возбудителя через многофазный выпрямитель 8. С трехфазной обмотки 11 якоря основного генератора трехфазная ЭДС может подаваться в сеть.

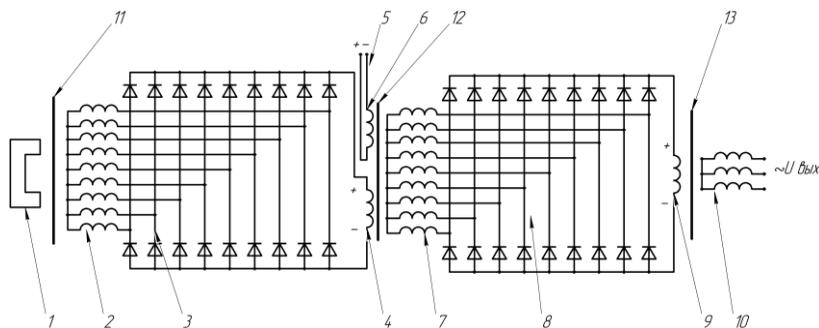


Рисунок 1 – Электрическая схема ЭТКВСГ

На рис 2-6 представлены характеристики, полученные в результате математического моделирования.

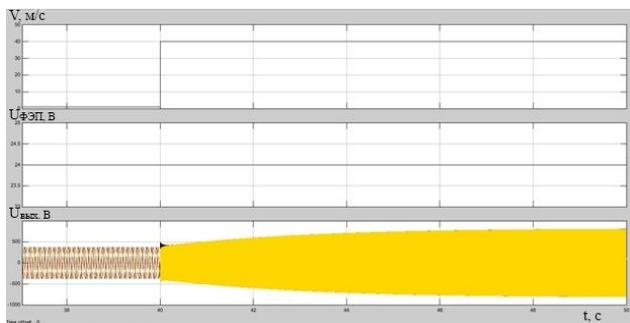


Рисунок 2 – Скриншот осциллограммы изменения выходного напряжения при изменении скорости воздушного потока скачком

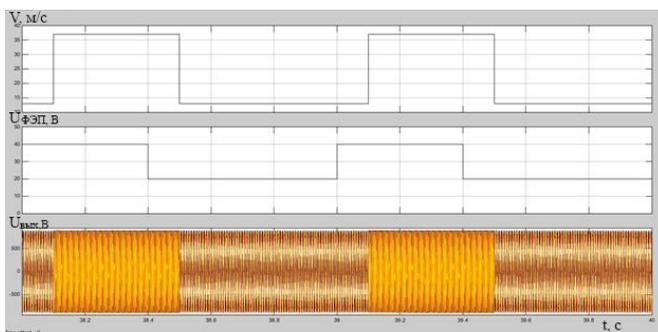


Рисунок 3 – Скриншот осциллограммы изменения выходного напряжения при изменении скорости воздушного потока и напряжения фотоэлектрического преобразователя меандром

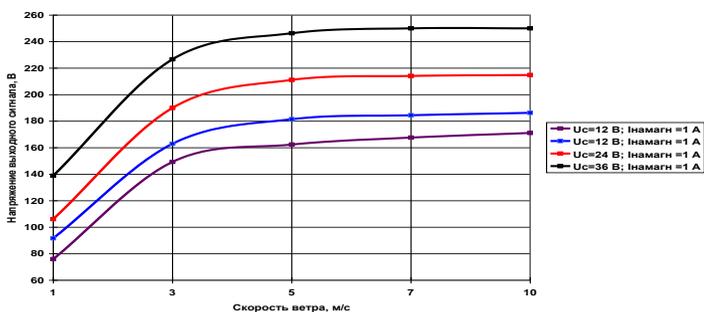


Рисунок 4 – График зависимости действующего значения установившегося выходного напряжения ВСГ от скорости ветра

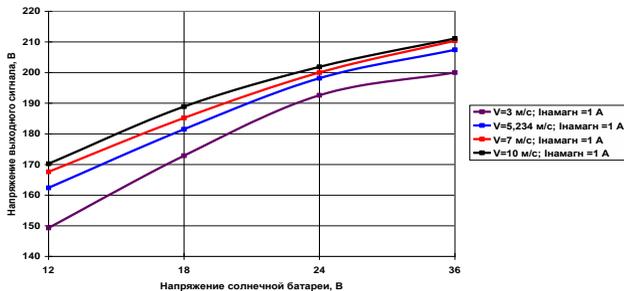


Рисунок 5 – График зависимости действующего значения установившегося выходного напряжения ВСГ от напряжения солнечной батареи

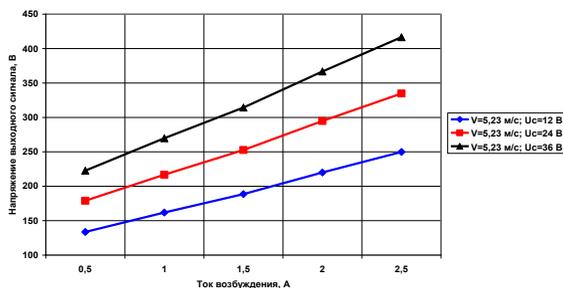


Рисунок 6 – График зависимости действующего значения установившегося выходного напряжения ВСГ от параметров намагнитченности постоянного магнита индуктора подвозбудителя

Увеличение скорости ветра свыше значения 5,23 м/с (рис. 4), что соответствует частоте вращения вала машины 1000 об/мин, принятой за номинальное значение, при различных значениях напряжения солнечной батареи, приводит к незначительному росту величины выходного напряжения. Это также объясняется насыщением магнитопровода 3 ВСГ.

Увеличение тока, протекающего по дополнительной обмотке 6 возбуждения возбудителя (что соответствует увеличению напряжения на выходе солнечных батарей), приводит к увеличению величины выходного напряжения ВСГ по нелинейному закону (рис. 5). Причем повышение напряжения солнечных батарей выше 24 В не приводит к более существенному

росту величины выходного напряжения, что объясняется насыщением магнитопровода 3 ВСТ.

В результате проведенных исследований была создана математическая модель в среде программирования «Matlab», для исследования ветро-солнечного генератора.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научно-го проекта №16-48-230500 а_р.

Литература

1. Пат. РФ № 2450411. Оpubл. 10.05.2012 г, бюл № 13. Аксиальная двухвходовая бесконтактная электрическая машина-генератор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова, А.Я. Кашин, Д.В. Пауков, А.В. Голощাপов.

2. Гайтова, Т.Б. Математическое моделирование перспективных генераторных установок для систем автономного электроснабжения [Текст] / Т.Б. Гайтова, Я.М. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.Я. Кашин, А.С. Князев // Изв. вузов. Электромеханика. 2013. № 3. С. 16-23.

3. Гайтов, Б.Х. Двухмерная электрическая машина-генератор для автономных систем электроснабжения [Текст] / Б.Х. Гайтов, А.В. Самородов, Л.Е. Копелевич, Я.М. Кашин // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2013. № 1-2. С. 66-69.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСТАНОВКИ ДЛЯ СЕПАРИРОВАНИЯ НЕФТИ

Л.Е. Копелевич (к.т.н., доц.), В.А. Ким (студент),
А.А. Шаршак (студент)

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

Одним из направлений исследований, проводимых на кафедре электротехники и электрических машин ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» под руководством заслуженного деятеля науки и техники РФ профессора Б.Х. Гайтова, является энергосберегающие технологии. Результатами этой работы стали разработанные способ сепари-

рования нефти [1] и установка для сепарирования нефти [2]., Кроме численного расчета энергетической эффективности установки для сепарирования нефти [3] для большей иллюстративности демонстрируемых результатов принято решение провести еще и компьютерное математическое моделирование картины теплового поля установки для сепарирования нефти.

Для этой цели был выбран программный пакет COMSOL Multiphysics [4] – основанная на передовых численных методах универсальная программная платформа для компьютерного моделирования физических задач. Использование пакета COMSOL Multiphysics позволяет учитывать связанные или «мультифизические» явления. Дополнительные интерфейсы обеспечивают использование моделирования в пакете COMSOL Multiphysics при технических вычислениях, САПР и автоматизации проектирования электронных приборов [5].

На рис. 1 представлены установка для сепарирования нефти и замещающая ее расчетная модель. Установка для сепарирования нефти содержит: корпус 1 сепаратора, смонтированный в нем статор электродвигателя, состоящий из двух частей (цилиндрическая часть 2-1, аксиальная часть 2-2), с обмоткой 3 двух частей статора, вокруг лобовых частей которой установлены трубки 4, залитые компаундом 5, барабан сепаратора 6, являющийся одновременно ротором электродвигателя, жестко связанный с валом 7, подогревателя нефти 15, соединительных трубок 16 и 17. Вал 7 установлен в подшипниковых опорах 8 и 9. Барабан сепаратора 6 состоит из основания 10 с центральной трубкой, разделительных тарелок 11, крышки 12, тарелкодержателя 13, затяжного кольца 14. Соединительная трубка 16 соединяет подогреватель нефти 15 с входом трубок 4, а соединительная трубка 17 соединяет выход трубок 4 с внутренней частью барабана сепаратора 6.

В процессе моделирования сепаратор был условно представлен исследуемой моделью, изображенной на рис. 1, где позиция I расчетной модели заменяет позицию 2-1 реального сепаратора, позиция II расчетной модели заменяет позицию 2-2 ре-

ального сепаратора, позиция III – позицию 6 реального сепаратора, позиция IV – позицию 4 реального сепаратора на рис. 1. При такой замене были приняты следующие допущения: барабан сепаратора представлен в виде цилиндра, обмотка статора принята в виде интегрированного витка. При проведении численного исследования были приняты следующие начальные условия: $t_0 = 20^\circ$. Скорость подачи исследуемой жидкости определяется соответствующим типом сепаратора и его конструктивными особенностями для подачи сепарируемого продукта.

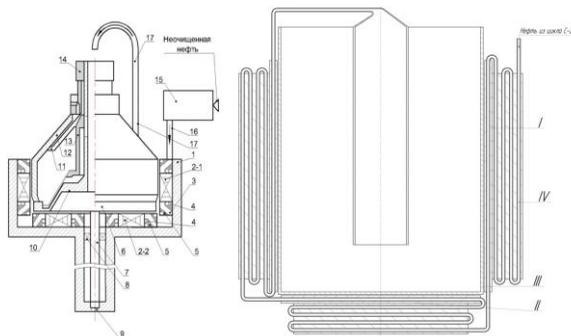


Рисунок 1 - Установка для сепарирования нефти и ее расчетная модель

По окончании математического моделирования в среде COMSOL Multiphysics была получена картина теплового поля машины.

На рис. 2 представлен скриншот картины теплового поля установки для сепарирования нефти. С учетом представленной справа на рис. 2 температурной шкалы (в градусах Кельвина) можно определить температуру отдельных частей конструкции установки для сепарирования нефти, представленной расчетной моделью на рис. 2.

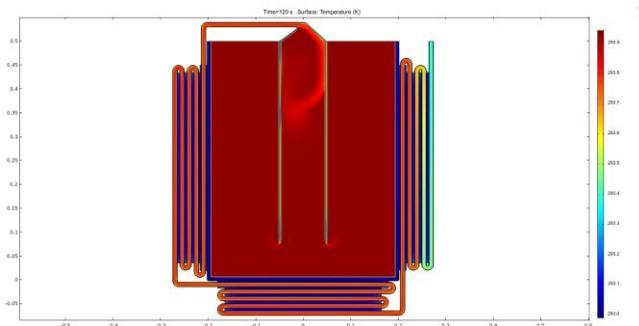


Рисунок 2 – Скриншот картины теплового поля

Из рис. 2 также виден процесс подогрева исходного продукта в роторе-барабане и при движении по трубкам огибающих проводники и магнитопровод статора. Нагрев исследуемой жидкости составил $t_{\Sigma} = 0,82^{\circ}$ (нагрев в статоре $t_{ст} = 0,78^{\circ}$ и нагрев в барабане-роторе $t_{р} = 0,039^{\circ}$).

Литература

1. Пат. РФ № 2585636. 23.03.2015 г, опубл. 27.05.2016, бюл. № 15. Способ сепарирования нефти / Л.Е. Копелевич.
2. Пат. РФ № 2593626. 23.03.2015, опубл. 27.05.2016 г, бюл. № 15. Установка для сепарирования нефти / Л.Е. Копелевич.
3. Гайтов Б.Х. Установка для сепарирования нефти [Текст] // Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов, В.А. Ким // Нефтяное хозяйство. 2017. № 7. – С. 90-92.
4. Демоверсия программного пакета COMSOL Multiphysics // Официальный сайт. Режим доступа: <https://www.comsol.com/request-a-demo> (дата обращения 12.05.17).
5. COMSOL // Официальный сайт. Режим доступа: <https://www.comsol.ru/comsol-multiphysics> (дата обращения 12.05.17).
6. Гайтов Б.Х. Моделирование и расчет температурного поля специальных электрических машин для систем автономного электроснабжения / Б.Х. Гайтов, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов, В.А. Иванюк // Изв. вузов. Электромеханика. 2006. № 5. – С. 24-27.

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ КАБЕЛЯ

Г.А. Кириллов (к.т.н., доц.), М.Н. Карташев
А.А. Ермолаев (курсант), В.Э. Габидулин (курсант)
*Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков
им. А.К. Серова (г. Краснодар, Россия)*

Известный способ определения места повреждения кабеля [1] заключается в посылке зондирующего сигнала, представляющего собой перепад напряжения или суперпозицию видеоимпульса и перепада напряжения в кабельную линию, и измерении расстояния до места повреждения по времени задержки отраженного сигнала относительно зондирующего, в соответствии с которым в зоне повреждения кабеля перемещают источник направленного радиоактивного излучения (ИРИ). ИРИ временно создает искусственную волновую неоднородность в изоляции кабеля. О точном месте повреждения судят по моменту совмещения на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) импульсного искателя повреждений сигнала, отраженного от места повреждения, с сигналом, отраженным от искусственной волновой неоднородности, при этом координация перемещения оператора по трассе прокладки кабеля осуществляется по радиотелефону.

Однако точность определения места повреждения кабеля таким способом низка из-за того, что поток γ -излучения от ИРИ рассеивается в окружающем пространстве и не полностью концентрируется на поврежденный кабель. Вследствие этого отраженный от искусственной волновой неоднородности в месте повреждения кабеля сигнал имеет размытый характер, что не позволяет точно совместить на экране электронно-лучевой трубки сигнал, отраженный от места повреждения, с размытым сигналом, отраженным от искусственной волновой неоднородности, и, соответственно, не позволяет точно определить место повреждения кабеля.

Повышение точности определения места повреждения кабеля достигается устройством, описанным в [2].

Точное определение места повреждения кабеля 10 с помощью предлагаемого устройства для определения места повреждения кабеля осуществляется двумя операторами (рис. 1).

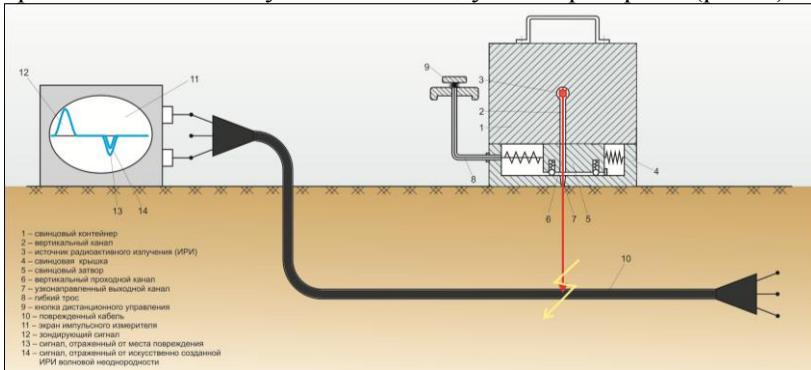


Рисунок 1 – Определение места повреждения кабеля

Первый оператор подключает к поврежденному кабелю импульсный измеритель и определяет зону повреждения кабеля на трассе. Второй оператор со свинцовым контейнером, в котором размещен источник радиоактивного излучения, и к которому присоединено механическое затворное устройство, направляется в зону повреждения кабеля. По прибытии в зону повреждения кабеля второй оператор определяет кабелеискателем точное расположение оси кабеля на трассе. Двигаясь вдоль оси кабеля по трассе в зоне повреждения кабеля, второй оператор по команде первого оператора, осуществляемой по радиотелефону, периодически устанавливает свинцовый контейнер на землю над осью кабеля, отходит на безопасное расстояние (на длину гибкого троса) и нажимает до упора на кнопку дистанционного управления. В результате этого в соответствии с вышеизложенным радиоактивное γ -излучение от ИРИ свободно проходит во внешнюю среду, не рассеиваясь в окружающем пространстве, и, воздействуя через слой земли на поврежденный кабель, вызывает в его изоляции обратимые изменения типа искусственной волновой неоднородности, от которой отражается зондирующий сигнал, фиксируемый на экране импульсного измерителя.

При несовпадении сигнала, отраженного от места повреждения, с сигналом, отраженным от искусственно созданной волновой неоднородности, на экране импульсного измерителя, первый оператор по радиотелефону дает команду второму оператору на перемещение по трассе в ту или иную сторону. При совпадении сигнала, отраженного от места повреждения, с сигналом, отраженным от искусственно созданной волновой неоднородности, первый оператор по радиотелефону подает второму оператору команду «Стоп». Место остановки второго оператора на трассе является точным местом повреждения кабеля на местности.

Литература

1. Авторское свидетельство RUS № 1624363. Способ определения места повреждения кабеля // Г.А. Кириллов А.И. Гайдамашко.
2. Пат. РФ на изобретение № 2585323. 27.03.2015 г. Устройство для определения места повреждения кабеля / Я.М. Кашин, Г.А. Кириллов, Р.Н. Бордиян.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ АКСИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А.Б. Варенов (к.т.н., доц.), М.Н. Карташев

А.А. Ермолаев (курсант), В.Э. Габидулин (курсант)

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

Анализ отказов и неисправностей систем электроснабжения летательных аппаратов (СЭСЛА) показывает, что количество отказов генераторов постоянного тока более чем в два раза превышает количество отказов генераторов переменного тока. Это связано с наличием у машин постоянного тока щеточно-коллекторных узлов.

В настоящее время нашли применение бесколлекторные генераторы постоянного тока (например, генератор ГСР-12 БК мощностью 12 кВт) [1]. Однако выходное напряжение таких

генераторов получается путем выпрямления трехфазного напряжения. При этом основные проблемы, связанные с получением высокого качества выпрямленного напряжения, пока не решены.

На наш взгляд, перспективным и экономичным способом повышения надежности СЭСЛА и улучшения их массогабаритных показателей и качества выпрямленного напряжения является замена авиационных генераторов постоянного тока на аксиальные многофазные трансформаторы с вращающимся магнитным полем (АМТВП), на первичную обмотку которых подается трехфазное напряжение от авиационных генераторов переменного тока с последующим выпрямлением выходного напряжения.

Существующие трехфазные трансформаторы обычной конструкции имеют ряд существенных недостатков [2]. Технология изготовления магнитопроводов таких трансформаторов сложна и экономически нецелесообразна. Она основана на штамповке пластин магнитопроводов, при которой 20-30 % электротехнической стали идет в отходы. Кроме того, в кривой МДС таких трансформаторов могут присутствовать высшие гармоники порядка $\nu = 2im \pm 1$, где m – число фаз вторичной обмотки. Эти гармоники, особенно третья, вносят существенные искажения в форму кривых вторичного напряжения, влияют на источники питания ограниченной мощности, ухудшая тем самым качество преобразования электрической энергии в преобразователе, снижают его мощность и КПД. Трансформаторы традиционной конструкции не обеспечивают симметричности выходных напряжений.

Перспективные аксиальные трансформаторы выполнены по принципу аксиальной электрической машины [3-4]. АМТВП могут быть выполнены на базе двух аксиальных магнитопроводов [3-4]. Однако для увеличения мощности трансформатора, изготовления трансформатора с любым числом фаз при выполнении минимально допустимого числа пазов, унификации активных торцовых поверхностей магнитопроводов целесообразно использовать агрегатированный АМТВП [5].

Общий вид 36-фазного АМТВП [5] с трехфазными вторичными обмотками представлен на рис. 1.

Основными элементами АМТВП являются (рис. 1): внутренние аксиальные магнитопроводы, имеющие по две активные торцовые поверхности с пазами и два боковых аксиальных магнитопровода 12 и 13, имеющих по одной активной торцовой поверхности 14 и 17 с пазами. На рис. 1 показаны активные торцовые поверхности только на внутренних магнитопроводах 1, 9, 30 и 39, чтобы не загромождать чертеж.

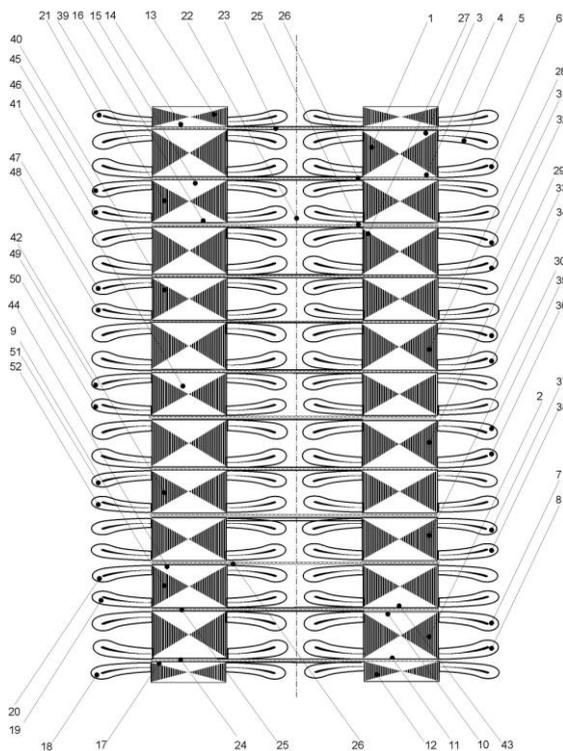


Рисунок 1 – 36-фазный аксиальный трансформатор

В пазы магнитопроводов 1, 2, 27, 28, 29, 30 уложены первичные трёхфазные обмотки 5, 6, 7, 8, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37,

38. В пазы магнитопроводов 9, 39, 40, 41, 42 уложены вторичные трёхфазные обмотки 19, 20, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52. В пазы боковых магнитопроводов 12 и 13 уложены вторичные трёхфазные обмотки 18 и 21.

Магнитопроводы с вторичными обмотками смещены относительно магнитопроводов с первичными обмотками вокруг их общей оси симметрии 22 каждый на свой угол

$$\alpha_i = (2 \cdot i - 1) \cdot \frac{\pi}{m_2 \cdot (k_{2\dot{a}} + 1)},$$

где i – порядковый номер магнитопровода с вторичной обмоткой; m_2 – число фаз вторичных обмоток; $k_{2\dot{a}}$ – количество внутренних магнитопроводов с вторичными обмотками (в представленном варианте $k_{2\dot{a}} = 5$).

Боковой аксиальный магнитопровод 12, в пазы которого уложена вторичная трехфазная обмотка 18, примыкает активной торцевой поверхностью через немагнитную прокладку к внутреннему магнитопроводу 2 с первичными обмотками 7 и 8, который, в свою очередь, примыкает своей торцевой поверхностью 10 через немагнитную прокладку 25 к $k_{2\dot{e}}$ -му внутреннему магнитопроводу 9 (в представленном варианте 36-фазного АМТВП – к пятому) с вторичными обмотками 19 и 20. Боковой магнитопровод 12 выполнен повернутым относительно магнитопроводов 1, 2, 27, 28, 29, 30 с первичными трёхфазными обмотками 5, 6, 7, 8, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38 вокруг их общей оси симметрии на угол $\alpha_d = (2 \cdot k_{2\dot{a}} + 1) \cdot \frac{\pi}{m_2 \cdot (k_{2\dot{a}} + 1)}$. Вторичные

трехфазные обмотки уложены в пазы внутренних аксиальных магнитопроводов друг относительно друга со смещением на угол $\alpha_{\bar{n}i} = \frac{\pi}{m_2 \cdot (k_{2\dot{a}} + 1)}$ (в представленном варианте

$\alpha_{\bar{n}i} = \frac{\pi}{m_2 \cdot (k_{2\dot{a}} + 1)} = \frac{\pi}{3 \cdot (5 + 1)} = 10^i$). Магнитопроводы примыкают друг к другу торцевыми поверхностями через немагнитные про-

кладки 25 и 26 (на рис. 1 немагнитные прокладки обозначены только между магнитопроводами 1 и 39, 39 и 27, 9 и 2 для облегчения чтения чертежа). Боковые магнитопроводы 12 и 13 примыкают к торцовым поверхностям внутренних магнитопроводов 1 и 2 активными торцовыми поверхностями 14 и 17 через немагнитные прокладки 23 и 24. Количество внутренних магнитопроводов с первичными обмотками k_1 и количество внутренних магнитопроводов с вторичными обмотками k_{2a} определяется числом фаз m_T выходного напряжения АМТВП и числом фаз m_2 вторичных обмоток соотношениями $k_{2a} = \frac{m_T}{2 \cdot m_2} - 1$ и $k_1 = k_{2a} + 1$.

Для представленного варианта 36-фазного трансформатора при $m_2 = 3$:

$$\alpha_a = (2 \cdot k_{2a} + 1) \cdot \frac{\pi}{m_2 \cdot (k_{2a} + 1)} = (2 \cdot 5 + 1) \cdot \frac{\pi}{3 \cdot (5 + 1)} = 110^\circ.$$

Представленный на рис. 1 АМТВП работает следующим образом. При подключении первичных трехфазных обмоток 5, 6, 7, 8, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38 к питающей сети напряжением U_1 во внутренних магнитопроводах 9, 39, 40, 41, 42 и боковых магнитопроводах 12 и 13 создается вращающееся магнитное поле. Это поле взаимодействует с трёхфазными вторичными обмотками 18, 19, 20, 21, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52 и наводит в каждой из них систему трёхфазных ЭДС и напряжений, сдвинутых друг относительно друга на угол $2\pi/m_2$. В рассматриваемом варианте $m_2 = 3$, а угол сдвига фаз равен $2\pi/3$). В результате этого происходит преобразование трехфазной системы напряжений в m_2 -фазную симметричную систему напряжений в каждой вторичной обмотке. Поскольку магнитное поле вращается, а внутренние аксиальные магнитопроводы 9, 39, 40, 41, 42 и боковой аксиальный магнитопровод 12, в пазы которых уложены вторичные трёхфазные обмотки повернуты относительно

магнитопроводов 1, 2, 27, 28, 29, 30 вокруг их общей оси симметрии на угол $\alpha_i = (2 \cdot i - 1) \cdot \frac{\pi}{m_2 \cdot (k_{2\bar{a}} + 1)}$ и $\alpha_{\bar{a}} = (2 \cdot k_{2\bar{a}} + 1) \cdot \frac{\pi}{m_2 \cdot (k_{2\bar{a}} + 1)}$

соответственно, а вторичные трёхфазные обмотки уложены в пазы внутренних аксиальных магнитопроводов друг относительно друга со смещением на угол $\alpha_{\bar{n}i} = \frac{\pi}{m_2 \cdot (k_{2\bar{a}} + 1)}$, то маг-

нитное поле будет наводить ЭДС в каждой фазе всех вторичных обмоток в зависимости от их пространственного сдвига, т.е. со сдвигом между собой на угол $\alpha_{\bar{n}i} = \frac{\pi}{m_2 \cdot (k_{2\bar{a}} + 1)}$ (для 36-фазного

АМТВП – $\alpha = 10^\circ$).

Очевидно, что фазовый сдвиг между ЭДС, наводимыми во вторичных обмотках, равен соответствующему углу поворота вторичных обмоток 18, 19, 20, 21, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52 относительно магнитопроводов 1, 2, 27, 28, 29, 30, в пазы которых уложены первичные трёхфазные обмотки. Этот угол равен:

- для обмоток 45, 47, 49, 51, 20 – углу поворота внутренних магнитопроводов 9, 39, 40, 41, 42 относительно магнитопроводов с первичными обмотками 1, 2, 27, 28, 29, 30 соответственно, который выбирается равным $\alpha_i = (2 \cdot i - 1) \cdot \frac{\pi}{m_2 \cdot (k_{2\bar{a}} + 1)}$;

- для обмоток 46, 48, 50, 52, 19 – сумме угла поворота i -го внутреннего магнитопровода 9, 39, 40, 41, 42 относительно магнитопроводов с первичными обмотками 1, 2, 27, 28, 29, 30, который выбирается равным $\alpha_i = (2 \cdot i - 1) \cdot \frac{\pi}{m_2 \cdot (k_{2\bar{a}} + 1)}$, и угла сме-

щения вторичных многофазных обмоток 46, 48, 50, 52, 19 относительно вторичных многофазных обмоток 45, 47, 49, 51, 20, который выбирается равным $\alpha_{\bar{n}i} = \frac{\pi}{m_2 \cdot (k_{2\bar{a}} + 1)}$;

– для обмотки 18 – углу поворота бокового магнитопровода 12 относительно магнитопроводов 1, 2, 27, 28, 29, 30, который выбирается равным $\alpha_d = (2 \cdot k_{2d} + 1) \cdot \frac{\pi}{m_2 \cdot (k_{2d} + 1)}$.

Таким образом, число фаз выходного напряжения многофазного трансформатора равно $m_T = 2 \cdot m_2 \cdot (k_{2d} + 1)$ (в представленном на рис. 1 варианте: $m_T = 2 \cdot 3 \cdot (5 + 1) = 36$).

Принимая количество фаз каждой вторичной обмотки равным трем, как в описанном варианте, можно достичь полной унификации активных торцовых поверхностей магнитопроводов и добиться выполнения минимально допустимого числа пазов. Это позволит упростить технологию изготовления АМТВП, а также улучшить магнитные свойства магнитопроводов [5].

Достоинством такого АМТВП является также отсутствие третьей гармоники и гармоник более высокого порядка в кривой выходного напряжения [6]. В кривой выходного напряжения 36-фазного АМТВП присутствуют гармоники с порядковыми номерами 71, 73, 143, 144 и т.д., однако их амплитуда настолько мала, что не оказывает существенного влияния на качество выпрямленного напряжения.

Методика расчета аксиальных многофазных трансформаторов изложена в [7]

Литература

1. Кашин Я.М., Кириллов Г.А., Ракло А.В. Авиационное оборудование самолетов. Ч. 1 / Под общ. ред. Я.М. Кашина – Краснодар: Краснодарское ВВАУЛ, 2006. – 198 с.

2. Кашин Я.М. Вопросы теории, разработка конструкции и математическое моделирование аксиального многофазного трансформатора-фазорегулятора: дисс... канд. техн. наук. Краснодар: КВАИ, 1999.

3. Пат. РФ № 2139586, 10.10.1999 г. Бюл. № 28. Многофазный трансформатор-фазорегулятор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин и др.

4. Пат. РФ № 2181512. 20.04.2002 г. Бюл. № 11. Многофазный трансформатор. / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова.

5. Пат. РФ № 2249871. 3.03.2003 г. Бюл. № 10. Многофазный трансформатор. / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова.

6. Гайтов Б.Х., Гайтова Т.Б., Кашин Я.М. Построение аксиальных многофазных трансформаторов и их практическое использование // Электротехника. – 2004. – № 7. – С. 36-41.

7. Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Гайтова Т.Б., Божко С.В. Методика расчета аксиальных многофазных трансформаторов // Изв. вузов. Электромеханика. 2001. № 8. – С. 54-59.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКСИАЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Д.В. Пауков*, Е.С. Пономарев (курсант)**,

Р.Р. Гильманов (курсант)**

**Филиал ВУНЦ ВВС ВВА, (г. Челябинск, Россия)*

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

Для описания электромеханических и электромагнитных процессов, протекающих в АГПТ необходимо составить систему дифференциальных уравнений. Разработанная А.В. Ивановым-Смоленским [1], И.П. Копыловым [2], Г. Кроном [3], Г.А.Сипайловым [5], Н.Хенкоком [4] и другими отечественными и зарубежными учеными теория обобщенного электромеханического преобразователя энергии – это математическая теория электрических машин, позволяющая на принципиально новой основе с широким использованием компьютерных технологий вести исследования динамических характеристик машин при различных режимах работы. В рассматриваемом комплексе с неоднократным преобразованием энергии при ее передаче от одного узла к другому представляется целесообразным воспользоваться 9-фазной системой электромеханического преобразования энер-

гии. Такая система дифференциальных уравнений, с учетом общей нелинейности и несимметричности модели, позволит обеспечить минимизацию пульсаций выходных параметров. Система координатных осей при моделировании аксиального генератора постоянного тока (АГПТ) [6-7] жестко связана со статором, ротор с обмотками вращается со скоростью $\omega_{\text{вращ}}$.

Система дифференциальных уравнений АГПТ [6] представляет собой многообмоточную структуру с группами статорных и роторных обмоток, находящихся в относительном движении.

Симметричную многофазную электрическую машину с синусоидальным напряжением на ее обмотках удобно анализировать, приведя ее к двухфазной.

Математическую модель АГПТ построим при следующих допущениях [7-10]: АГПТ геометрически симметричен, т.е. обмотки расположены равномерно; АГПТ электрически симметричен, то есть активные сопротивления и индуктивности обмоток по осям одинаковы; АГПТ имеет синусные обмотки; коэффициент взаимной индуктивности между обмотками на статоре и роторе в АГПТ для всех обмоток одинаков и равен M ; в листах стали магнитопровода нет разъемов и стыков.

В ходе реализации математической модели решены системы уравнений, описывающие электромагнитные и электромеханические переходные процессы в АГПТ с учетом насыщения, изменения формы задающего вращательного движения, особенностей многократного преобразования энергии. В качестве объекта исследования были выбраны электротехнические комплексы, построенные на базе модели авиационного генератора аксиального типа мощностью 1,5 кВт как частный случай АГПТ.

Для решения системы уравнений электромагнитных и электромеханических переходных процессов с нелинейными коэффициентами, описывающие поведение АГПТ с учетом насыщения использована ЦВМ с предварительным выбором способа аппроксимации кривой намагничивания сплайн-аппроксимацию.

Исследование динамических характеристик переходных процессов с нелинейными коэффициентами, описывающих по-

ведение АГПТ при различных вариантах J , R_r , $\omega_{\text{вращ.}}$ показывает, что наибольшее влияние на величины ударных токов статора и ротора оказывает величина активного сопротивления ротора R_r .

В результате исследований осуществлено углубление теории машин с переменными параметрами на примере аксиального генератора постоянного тока.

Постановка проблемы объективно вытекает из объективной необходимости по развитию исследований динамики электротехнических комплексов на базе машин аксиальной конструкции.

Проведенные теоретические исследования подтвердили перспективность и необходимость учета всех факторов, влияющих на параметры машины, которые, в свою очередь, обуславливают характер и количественную оценку протекания электромагнитных и электромеханических переходных процессов.

Литература

1. Иванов-Смоленский А.В. Электромагнитные силы и преобразование энергии в электрических машинах. – М.: Высш. школа, 1989. – 312 с.
2. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высш. школа, 2001. – 327 с.
3. Крон Г. Применение тензорного анализа в электромеханике. – М.: Госэнергоиздат, 1956. – 248 с.
4. Хенкок Н. Матричный анализ электрических машин. – М.: Энергия, 1967. – 224 с.
5. Сипайлов Г.А., Лоос А.В. Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высш. школа, 1980. – 176 с.
6. Пат. РФ № 2470446, 20.12.2012 г. Стабилизированный аксиальный генератор постоянного тока / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова, А.Я. Кашин, Д.В. Пауков.
7. 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. – № 1. – С.46-53.
8. Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Копелевич Л.Е., Кашин А.Я., Голованов А.А., Копелевич М.Л. Разработка математической модели электромагнитных и электромеханических переходных про-

цессов в аксиальных многофазных генераторных установках // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 76. С. 473-483.

9. Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Копелевич Л.Е., Кашин А.Я., Князев А.С. Математическое моделирование перспективных генераторных установок для систем автономного электроснабжения. // Изв. вузов. Электромеханика. 2013. № 3. С. 16-23.

10. Гайтова Т.Б., Кашин Я.М., Кашин А.Я., Копелевич Л.Е., Ясьян Ю.П.. Математическое моделирование перспективных генераторных установок для систем автономного электроснабжения // Труды КубГАУ. 2011. № 1. С. 71-73.

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЦЕХА МЕТАЛЛОПЛАСТИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

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

Цель работы заключается в изучении оптимального выбора электрооборудования для предприятия, основываясь на специфике производства, учитывая при этом актуальность применяемых технологий, а также в обеспечении безопасных и комфортных условий для работы человека [1].

По расчетам нагрузок потребителей электроэнергии предприятия на систему электроснабжения была спланирована схема электропитания цеха. Для расчетов использовались паспортные данные оборудования.

Данная работа показывает, как организовать подключение к сети современных производственных линий, систем освещения и вентиляции.

Каждый потребитель электроэнергии в электроустановках имеет свои специфические особенности, такие как бесперебойность питания, резервирование, качество электроэнергии, защита всех элементов и др. [1].

Передача, распределение и потребление выработанной электроэнергии на промышленных предприятиях должны про-

изводиться с высокой экономичностью и надежностью. Для их обеспечения применяют новейшее оборудование и автоматизированные системы контроля энергопотребления.

Системы внутрипроизводственного распределения электроэнергии активно используют комплектные распределительные устройства (КРУ) [2]. Это гарантирует гибкость и надежность системы распределения, такие меры позволяют экономить такие электротехнические изделия, как провода.

Надежная и бесперебойная подача электроэнергии обеспечивает нормальную работу промышленного предприятия. Для эффективного функционирования предприятия схема электрообеспечения должна обеспечивать необходимую надежность и безопасность эксплуатации.

При выборе электрооборудования промышленных предприятий применяют технические решения, которые соответствуют требованиям экологических, санитарно-гигиенических, противопожарных и других норм, действующих на территории Российской Федерации, и обеспечивают безопасную для жизни и здоровья людей эксплуатацию объекта.

В наше время широко развито производство изделий из полимерных материалов. Разумеется, для их переработки было разработано немало методов и оборудования, основанных на прессовании, литье под давлением, переработки в изделия методами экструзии, выдувного формования, механической штамповки, прессования и т.д. [3-5].

Цех металлопластиковых изделий производит металлопластиковые трубы диаметром от 10 до 160 мм из полиэтилена ВД, НД, ПЭ-80 и полипропилена для горячего и холодного водоснабжения, а также соединительные элементы трубопроводных систем.

Сфера использования пластиковых труб чрезвычайно велика. Пластиковые трубы применяют для создания и усовершенствования трубопроводов, перемещающих воду для хозяйственного, питьевого, бытового водоснабжения, многочисленные жидкие и газообразные вещества, к которым полимер, из

которого они произведены, химически стоек. Пластиковые трубы применяются для подачи и транспортировки горючих газов, в системах отопления, канализации и дренажных системах. В наше время полиэтиленовые трубы все активнее эксплуатируются в области гидротранспорта.

Пластиковые трубы отличаются хорошими технико-экономическими показателями, тесно связанными с малой себестоимостью эксплуатации, низкими затратами на установку и долговечностью, а также способностью быть утилизированными.

Гранулятор ПВХ установлен для изготовления композиций ПВХ с использованием и вторичных материалов для дальнейшего их превращения в гранулы.

В рассматриваемом цехе установлена экструзионная линия металлопластиковых труб PPR.

Изготовление различной продукции методом литья под давлением проводится при помощи литьевой машины Д 3132-250п-2.

Основные электроприемники цеха металлопластиковых изделий – электродвигатели приводов производственных механизмов (станков, подъемных устройств, производственных линий и др.) и светильники систем искусственного света [6].

Так как электроприемники цеха относятся к категории электроприемников, работающих на напряжении до 1 кВ с длительным режимом работы, на практике применяется метод определения расчетных нагрузок по номинальной мощности и коэффициенту использования [7].

По паспортным данным, которые прилагаются к подключаемому оборудованию, составляется перечень оборудования с описанием энергетических параметров всех электроприемников цеха металлопластиковых изделий [8].

Основными электроприемниками цеха являются: кран мостовой ($P_{\text{пасп.}} = 10,1$ кВт, $K_{\text{и}} = 0,1$); экструзионная линия производства труб ($P_{\text{пасп.}} = 175$ кВт, $K_{\text{и}} = 0,8$); гранулятор для

полимеров ($P_{\text{пасп.}} = 110 \text{ кВт}$, $K_{\text{И}} = 0,5$); термопластавтомат ($P_{\text{пасп.}} = 38,5 \text{ кВт}$, $K_{\text{И}} = 0,3$).

Расчет установленной активной мощности одного потребителя при отсутствии графика нагрузки:

$$P_p = K_{\text{И}} \times P_{\text{пасп.}},$$

где $K_{\text{И}}$ – коэффициент использования активной мощности за рассматриваемый промежуток времени.

Расчет реактивной нагрузки электроприемника без графика нагрузки:

$$Q_p = K_{\text{И}} \times Q_{\text{Н}} = P_p \times \text{tg}\varphi.$$

Расчет полной мощности электроприемника:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}.$$

Расчетное значение тока электроприемника:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{\text{н}}}.$$

Установленная мощность всех электроприемников цеха, без графика узла нагрузки по активной мощности:

$$P_3 = \sum_{i=1}^n K_{\text{и}i} \times P_{\text{н}i}.$$

Вышеуказанные формулы используются для дальнейшего расчета токов и мощности.

Расчет токов короткого замыкания

Определяем комплексное сопротивление трансформатора Z_{T} :

$$Z_{\text{T}} = \frac{U_{\text{ном.}}^2}{S} \times \frac{U_{\text{кз}}}{100} = \frac{380^2}{644 \times 10^3} \times \frac{5,5}{100} = 0,012 \text{ Ом},$$

где $U_{\text{ном.}}$ – номинальное напряжение трансформатора; S – полная мощность трансформатора; $U_{\text{кз}}$ – напряжение короткого замыкания (в %).

Номинальный ток трансформатора:

$$I_{\text{ном.}} = \frac{S}{\sqrt{3} \times U_{\text{ном.}}} = \frac{644 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380} = 978.456 \text{ А.}$$

Активное сопротивление трансформатора:

$$r_{\text{T}} = \frac{P_{\text{cu}}}{3 \times I_{\text{ном.}}^2} = \frac{3,25 \times 10^3}{3 \times 978,456^2} = 0,0011 \text{ Ом.}$$

Реактивное сопротивление трансформатора находится из формулы полного сопротивления:

$$X_{\text{T}} = \sqrt{Z_{\text{T}}^2 - r_{\text{n}}^2} = \sqrt{0.012^2 - 0.011^2} = 0.001 \text{ Ом.}$$

Ток короткого замыкания на зажимах трансформатора:

$$I_{\text{кз}} = I_{\text{ном.}} \times \frac{100}{U_{\text{кз}}} = 978,5 \times \frac{100}{5,5} = 17,790 \text{ кА.}$$

По полученным данным тока короткого замыкания будет производиться выбор электрооборудования системы электропитания цеха.

Литература

1. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств: Справ. пособие / Г.Г. Рекус. – М.: Высш. шк., 2007. – 709 с.
2. Хошмухамедов И.М. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования: Учеб. для вузов по спец. Электропривод и автоматика пром. установок и технол. комплексов / И.М. Хошмухамедов, А.В. Пичуев – М.: МГТУ, 2005. – 335 с.
3. Торнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов), М.: Химия, 1977. – 464 с.
4. Сайт компании Глобал-маш, оборудование для полимерной индустрии, www.gmash.ru.
5. Завгородний, В.К., Оборудование предприятий по переработке пластмасс: Учебник / В.К. Завгородний, Э.Л. Калинчев, Е.Г. Махаргинский – М.: Химия, 1972 г. – 464 с.
6. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс [Текст]. – М.: Энергоиздат, 1988. - 720 с.

7. Справочник по эл. снабжению пром. предприятий: Электрооборудование и автоматизация / Сост.: Т.В. Анчарова, В.В. Каменева, А.А. Катарская; Под общ. ред. А.А. Федорова и Г.В. Сербиновского. – 2-е изд., – М.: Энергоиздат, 1981. – 624 с.

8. Сайт производственной компании «Трансинжиниринг», www.tmg66.ru/catalog.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Б.Х. Гайтов (д.т.н., проф.) *, А.Я. Кашин **, П.В. Середа*.
* *ФБГОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)*
** *в/ч 15650-11 (г. Заменск, Россия)*

Для России формирование новой технологической базы развития энергетики связано также с предстоящим значительным выводом мощностей генерации, отработавших свой ресурс (в том числе после продления сроков эксплуатации). По данным некоторых экспертов [7], суммарный вывод мощностей в период 2010-2030 гг. прогнозируется на уровне 67,7 ГВт в том числе 51,2 ГВт – мощности тепловых станций. По данным Минэнерго России, при благоприятных условиях развития электроэнергетики рекомендуемый масштаб вывода мощностей генерации составит 26.400 МВт в течение 2010-2020 гг.

Всемирная организация интеллектуальной собственности (ВОИС), которая является учреждением Организации Объединенных Наций, недавно сообщила, что в 2011 г. наблюдался рекордный рост числа международных патентных заявок. Во всем мире на долю патентов электрических устройств, аппаратов и энергетического оборудования и механизмов пришлось 7 % от общего числа заявок. Этот сектор оказался на втором месте по объему, уступив только патентам в области компьютерных технологий [6].

Таким образом, в настоящее время имеются технические возможности разработки, исследования и внедрения электро-технических комплексов в систему альтернативной энергетики.

За период с 2004 по 2014 гг. инвестиции в новые мощности ВИЭ выросли в 7 раз (с 40 млрд долл. в 2004 г. до 270 млрд в 2014 г.) [1, 2], а их совокупный объем с 2004 г. превысил 2 трлн долл. (рис. 1).

На рис. 2 представлена динамика инвестиций в различные технологии ВИЭ в период с 2004 по 2014 гг. Самые большие доли инвестиций приходятся на солнечную и ветровую энергетику [4].



Рисунок 1 – Динамика инвестиций в возобновляемую энергетику

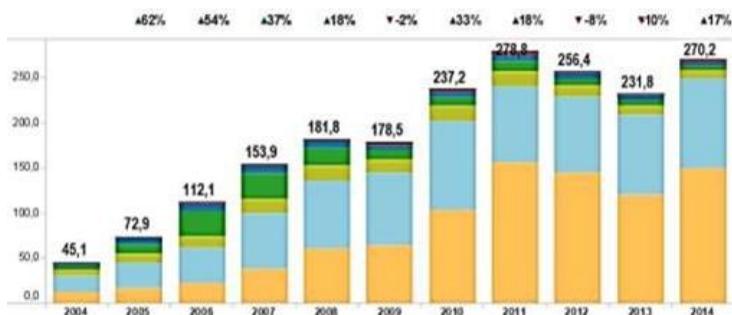


Рисунок 2 – Динамика инвестиций по технологиям ВИЭ, млрд долл.

В 2013 г. ведущее место в первой пятерке стран по объему инвестиций в ВИЭ вновь занял Китай, после которого следовали Соединенные Штаты и Япония. В течение последних пяти лет

самые высокие темпы роста инвестиций имели место в Южной Африке (96 %), Японии (57 %), Австралии (32 %) и Соединенном Королевстве (18 %) [3].

В то же время с 2014 г. наблюдается отток инвестиций из данной отрасли. Это связано с резким снижением цен на углеводородные энергоносители и, соответственно, нежеланием частных инвесторов вкладывать деньги в возобновляемую энергетику.

Государство играет ключевую роль в стимулировании инвестиций в возобновляемую энергетику. Государственная стратегия привлечения инвестиций в ВИЭ должна содержать систему четко поставленных целей, нормативной базы, создающей институциональную базу стратегии, и применение таргетированных финансовых и нефинансовых инструментов государственной политики [5].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научно-го проекта №16-48-230500 а_р.

Литература

1. Renewables 2015 Global Status Report, REN21 2015. Key Findings P.26.
2. Renewables 2015 Global Status Report, REN21 2015. С.26 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>.
3. The Pew Charitable Trusts, Who's Winning the Clean Energy Race? 2013 edition. Philadelphia, 2014
4. Frankfurt School-UNEP Centre/Bloomberg New Energy Finance (2015), Global Trends in Renewable Energy Investment 2015, p. 3.
5. Гречухина И.А. Экономические механизмы развития возобновляемой энергетики // Диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук. Москва. 2016.
6. Шуткин О.И. Эколого-экономическая оценка конкурентоспособности проектов солнечной энергетики в российской федерации. Дисс. канд. экон. наук. М. 2014.

7. Российская Ассоциация Ветроиндустрии. Зачем инвестировать в будущую энергетику? // РАВИ. 2012. URL: http://rawi.ru/media/Materiali/Rawi_docs.

СПОСОБЫ СИНХРОНИЗАЦИИ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОГО ГЕНЕРАТОРА

А.В. Самородов (к.т.н.), Я.М. Кашин (к.т.н., доц.),
М.С. Христофоров (аспирант)

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

Для решения задач преобразования солнечной и ветровой энергии на кафедре электротехники и электрических машин КубГТУ предложен ряд оригинальных конструкций электромеханических преобразователей энергии [1-4].

Таким преобразователем, который успешно используется в электротехнических комплексах, преобразующих энергию ветра и солнца в электрическую энергию является аксиальный двухвходовой бесконтактный ветро-солнечный генератор (АДБВСГ) [2, 3].

Существенным недостатком всех ЭМПЭ, преобразующих энергию ветра и Солнца в электрическую, является то, что частота генерируемого ими напряжения зависит от скорости вращения элементов магнитных систем.

В связи с тем, что интенсивность поступления механической энергии на вал электрической машины-генератора может быть неравномерной (например, из-за недетерминированной скорости ветра), то скорость вращения ротора может быть непостоянной, следовательно, частота напряжения, снимаемого с обмотки якоря таких ветрогенераторов (ветрогенераторных установок) является нестабильной.

На сегодняшний день задача синхронизации подобных систем с сетью трехфазного переменного тока решается практически одним способом: переменный ток, вырабатываемый ветрогенератором, выпрямляется, суммируется с постоянным током, полученным путем преобразования световой энергии Солнца солнечными

батареями, а затем инвертируются в трехфазный переменный ток промышленной частоты. Решение сложное и дорогостоящее.

Существует возможность регулировать скорость вращения ветроколеса [5], но такое решение не может удовлетворять задаче синхронизации в полной мере.

Возможность управления выходным напряжением, а, следовательно, принципиальную возможность синхронизации обеспечивает стабилизированная трёхфазовая аксиальная генераторная установка (СТАГУ).

Возможность стабилизации выходного напряжения обеспечивается за счет регулирования скорости вращения ротора путем изменения скважности импульсов, подаваемых на фазы дополнительной многофазной обмотки. Для этого в блоке управления предлагаемой СТАГУ дополнительно устанавливается стабилизатор напряжения, в блоке сравнения (БСР) которого осуществляется сравнение пилообразного сигнала, формируемого блоком формирования пилообразного сигнала, выход которого подключается к инвертирующему входу БСР, с управляющим сигналом постоянного напряжения, формируемым блоком формирования управляющего сигнала (БФУС) в зависимости от величины отклонения фактического значения выпрямленного напряжения от заданного регулировочным резистором. Для этого выход БФУС подключается к неинвертирующему входу БСР, к выходу которого через пятый ограничительный резистор подключаются логические элементы «НЕ», через первые ограничительные резисторы подключаются коллекторы первых управляющих транзисторов, а через третьи ограничительные резисторы подключаются коллекторы вторых управляющих транзисторов каждого блока формирования импульсов.

ШИМ-сигнал с выхода БСР через пятый ограничительный резистор поступает на логические элементы «НЕ», через первые ограничительные резисторы поступает на коллекторы первых управляющих транзисторов, а через третьи ограничительные резисторы поступает на коллекторы вторых управляющих транзисторов каждого блока формирования импульсов, которые формируют импульсы требуемой скважности, подаваемые на фазы дополнительной многофазной обмотки.

В зависимости от скважности импульсов за период импульса меняется время протекания тока в дополнительной многофазной обмотке, что приводит к изменению величины среднего крутящего момента, приводящего во вращение ротор предлагаемой СТАГУ. При этом меняется частота вращения ротора, что, в свою очередь, вызывает изменение значения напряжения на выходе предлагаемой СТАГУ.

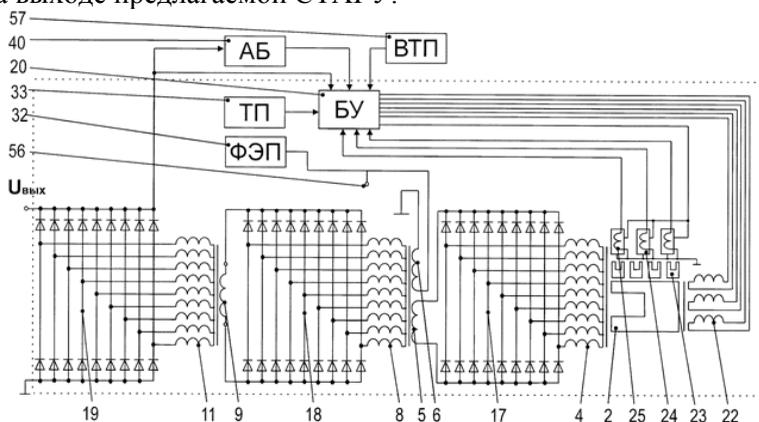


Рисунок 1 - Стабилизированная трёхфазовая аксиальная генераторная установка

На рис. 1 представлен общий вид предлагаемой стабилизированной трёхфазовой аксиальной генераторной установки, на рис. 2 – принципиальная электрическая схема блока управления.

СТАГУ содержит: корпус 1, в котором установлены блок управления 20, датчики положения ротора (ДПР) 24, в корпусе каждого из которых размещена сигнальная обмотка 25 и обмотка возбуждения, боковой аксиальный магнитопровод 10 с многофазной обмоткой 11 якоря основного генератора, боковой аксиальный магнитопровод 21 с дополнительной многофазной обмоткой 22, внутренний аксиальный магнитопровод 3 с многофазной обмоткой 4 якоря подвозбудителя, основной 5 и дополнительной 6 однофазными обмотками возбуждения возбудителя, и ротор, на валу 12 которого посредством дисков 15 и 16 жестко закреплены постоянный аксиальный многополюсный магнит 2 индуктора подвозбудителя и аксиальный вращающийся магнитопровод 7 с многофазной

обмоткой 8 якоря возбuditеля и однофазной обмоткой 9 возбуждения основного генератора, при этом постоянный аксиальный многополюсный магнит 2 индуктора подвозбудителя выполнен с постоянными магнитами 23 положения ротора, закрепленными на нем по внешнему радиусу, а корпус ДПР 24 с сигнальной обмоткой 25 и обмоткой возбуждения установлен на линии пересечения плоскости, проходящей через оси симметрии постоянных магнитов 23 положения ротора и перпендикулярной оси вращения ротора, при этом каждый ДПР 24 закреплен на внутренней поверхности корпуса 1 посредством штанги 26 и равноудален от соседних ДПР 24, а вал 12 ротора закреплен в подшипниковых узлах 13 и 14, закрыт крышкой 55 с одной стороны и выходит за пределы корпуса 1 с другой стороны, при этом однофазная обмотка 9 возбуждения основного генератора подключена к многофазной обмотке 8 якоря возбuditеля через многофазный двухполупериодный выпрямитель 18, основная однофазная обмотка 5 возбуждения возбuditеля подключена к многофазной обмотке 4 якоря подвозбудителя через многофазный двухполупериодный выпрямитель 17, а многофазная обмотка 11 якоря основного генератора подключена к выходному многофазному двухполупериодному выпрямителю 19, который выполнен с возможностью подключения к внешнему резервному источнику энергии – аккумуляторной батарее (АБ) 40. В верхней части корпуса 1 установлен фотоэлектрический преобразователь (ФЭП) 32, подключенный к дополнительной однофазной обмотке 6 возбуждения возбuditеля, которая выполнена с возможностью подключения к внешнему фотоэлектрическому преобразователю через контакты 56 (рис. 2). В нижней части корпуса 1 установлен тепловой преобразователь (ТП) 33, выполненный с возможностью подключения к дополнительной многофазной (на рис. 2 - трехфазной) обмотке 22 через блок управления (БУ) 20, а на конце вала 12 ротора, выходящем за пределы корпуса 1 установлен магнитный редуктор 27, состоящий из вала 34 магнитного редуктора, ведущего 28 и ведомого 29 дисков, выполненных из немагнитного материала, и постоянных магнитов 30 и 31, размещенных на ведущем 28 и ведомом 29 дисках разноименными полюсами навстречу друг к другу, при этом ведущий диск 28 жестко закреплен на валу 34 магнитного редуктора 27, ведомый диск 29 жестко закреплен на

Каждый из блоков ФИ «А» 35, ФИ «В» 36 и ФИ «С» 37 блока управления 20 содержит первый 49 (R1), второй 50 (R2), третий 51 (R3), четвертый 52 (R4) и пятый 53 (R5) ограничительные резисторы, первый и второй управляющие транзисторы 41 (VT6) и 42 (VT7), первую и вторую пары переключающих транзисторов 45 (VT2) и 46 (VT3) – первая пара, 47 (VT1) и 48 (VT4) – вторая пара, и два транзистора 43 (VT5) и 44 (VT8), образующих логический элемент «НЕ» 54.

Вход логического элемента «НЕ» 54 каждого блока ФИ «А» 35, ФИ «В» 36 и ФИ «С» 37 и база первого управляющего транзистора 41 (VT6) подключены к сигнальной обмотке 25 ДПР 24, а база второго управляющего транзистора 42 (VT7) подключена к выходу логического элемента «НЕ» 54, при этом эмиттеры первого 41 (VT6) и второго 42 (VT7) управляющих транзисторов заземлены, а базы каждой пары переключающих транзисторов соединены между собой: база переключающего транзистора 45 (VT2) с базой переключающего транзистора 46 (VT3) – первая пара, база переключающего транзистора 47 (VT1) с базой переключающего транзистора 48 (VT4) – вторая пара, при этом базы первой пары переключающих транзисторов 45 (VT2) и 46 (VT3) подключены к коллектору первого управляющего транзистора 41 (VT6), а базы второй пары переключающих транзисторов 47 (VT1) и 48 (VT4) подключены к коллектору второго управляющего транзистора 42 (VT7), при этом коллекторы переключающих транзисторов по одному из каждой пары (транзистор 45 (VT2) из первой пары и транзистор 47 (VT1) из второй пары) подключены к высокоуровневому (ВУ) выходу БП 39, а их эмиттеры через второй и четвертый ограничительные резисторы 50 (R2) и 52 (R4) соответственно, подключены к соответствующим выводам соответствующей фазы (для блока ФИ «А» 35: эмиттер переключающего транзистора 45 (VT2) первой пары через четвертый ограничительный резистор 52 (R4) подключен к началу А фазы А, а эмиттер переключающего транзистора 47 (VT1) второй пары через второй ограничительный резистор 50 (R2) подключен к концу Х фазы А) дополнительной многофазной обмотки 22 и к коллекторам переключающих транзисторов другой пары (эмиттер переключающего

транзистора 45 (VT2) первой пары через четвертый ограничительный резистор 52 (R4) подключен к коллектору переключающего транзистора 48 (VT4) второй пары, эмиттер переключающего транзистора 47 (VT1) второй пары через второй ограничительный резистор 50 (R2) подключен к коллектору переключающего транзистора 46 (VT3) первой пары).

В БУ 20 предлагаемой СТАГУ установлен стабилизатор напряжения (СН) 58, содержащий блок сравнения (БСР) 61, блок формирования пилообразного сигнала (БФПС) 59, выход которого подключен к инвертирующему входу второго БСР 61, блок формирования управляющего сигнала (БФУС) 60, выход которого подключен к неинвертирующему входу БСР 61, к выходу которого через пятый ограничительный резистор 53 (R5) подключен логический элемент «НЕ» 54, через первый ограничительный резистор 49 (R1) подключен коллектор первого управляющего транзистора 41 (VT6), а через третий ограничительный резистор 51 (R3) подключен коллектор второго управляющего транзистора 42 (VT7) каждого блока ФИ «А» 35, ФИ «В» 36 и ФИ «С» 37.

БСР 61 выполнен на первом операционном усилителе (ОП1) 73.

БФПС 59 содержит:

- генератор прямоугольных импульсов, состоящий из второго операционного усилителя 75 (ОП2) генератора прямоугольных импульсов, первого резистора 65 (R14) положительной обратной связи, подключенного к выходу и неинвертирующему входу второго операционного усилителя 75 (ОП2) генератора прямоугольных импульсов;

- генератор пилообразного сигнала, состоящий из третьего операционного усилителя 76 (ОП3) генератора пилообразного сигнала, второго резистора 66 (R15) положительной обратной связи, подключенного к выходу третьего операционного усилителя 76 (ОП3) генератора пилообразного сигнала и неинвертирующему входу второго операционного усилителя 75 (ОП2) генератора прямоугольных импульсов, интегрирующего конденсатора 72 (С1) отрицательной обратной связи, подключенного к

выходу и инвертирующему входу третьего операционного усилителя 76 (OP3) генератора пилообразного сигнала;

- подключенный к низкоуровневому выходу (НУ) БП 39 делитель напряжения, состоящий из первого 62 (R11) и второго 63 (R12) резисторов делителя напряжения, выход которого подключен к инвертирующему входу второго операционного усилителя 75 (OP2) генератора прямоугольных импульсов и к неинвертирующему входу третьего операционного усилителя 76 (OP3) генератора пилообразного сигнала;

- резистор 64 (R13), подключенный к выходу второго операционного усилителя 75 (OP2) генератора прямоугольных импульсов и инвертирующему входу третьего операционного усилителя 76 (OP3) генератора пилообразного сигнала.

Блок формирования управляющего сигнала (БФУС) 60 содержит:

- четвертый операционный усилитель 74 (OP4) формирования управляющего сигнала;

- регулировочный резистор 67 (R6), подключенный к низкоуровневому выходу БП 39;

- первый понижающий резистор 68 (R7), подключенный к положительному выходу многофазного двухполупериодного выпрямителя 19 и инвертирующему входу четвертого операционного усилителя 74 (OP4) формирования управляющего сигнала;

- второй понижающий резистор 69 (R8), подключенный к регулировочному резистору 67 (R6) и неинвертирующему входу четвертого операционного усилителя 74 (OP4) формирования управляющего сигнала;

- резистор отрицательной обратной связи 70 (R9), подключенный к выходу и инвертирующему входу четвертого операционного усилителя 74 (OP4) формирования управляющего сигнала;

- резистор 71 (R10) смещения, подключенный к неинвертирующему входу четвертого операционного усилителя 74 (OP4) формирования управляющего сигнала, определяющий величину смещения напряжения на неинвертирующем входе четвертого операционного усилителя 74 (OP4) формирования управляющего сигнала.

Первый 62 (R11) и второй 63 (R12) резисторы делителя напряжения БФПС 59 выбираются одинакового номинала и подбираются таким образом, чтобы на инвертирующий вход второго операционного усилителя 75 (OP2) генератора прямоугольных импульсов с выхода делителя напряжения БФПС 59 подавалась половина питающего напряжения, поступающего с низкоуровневого выхода БП 39.

Второй операционный усилитель 75 (OP2) генератора прямоугольных импульсов за счет наличия положительной обратной связи, обеспечиваемой первым 65 (R14) и вторым 66 (R15) резисторами положительной обратной связи работает в генераторном режиме, выдавая прямоугольные импульсы на инвертирующий вход третьего операционного усилителя 76 (OP3) через резистор 64 (R13). Первый 65 (R14) и второй 66 (R15) резисторы положительной обратной связи также влияют на высоту пилообразного сигнала относительно нуля.

Третий операционный усилитель 76 (OP3) генератора пилообразного сигнала работает в режиме интегратора, превращая прямоугольные импульсы на выходе второго операционного усилителя 75 (OP2) генератора прямоугольных импульсов в сигнал пилообразной формы. Значение емкости интегрирующего конденсатора 72 (C1) отрицательной обратной связи третьего операционного усилителя 76 (OP3) генератора пилообразного сигнала и сопротивление резистора 64 (R13) определяют частоту прямоугольных импульсов и, соответственно, частоту пилообразного сигнала. Чем меньше емкость интегрирующего конденсатора 72 (C1), тем выше частота пилообразного сигнала, и наоборот. Частота этого пилообразного сигнала определяет частоту импульсов опорного сигнала. Чем выше эта частота, тем точнее осуществляется регулирование частоты вращения ротора. Однако частота опорного сигнала не должна превышать допустимого значения частоты, определяемой характеристиками

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научно-го проекта №16-48-230500 а_р.

Литература

1. Пат. РФ № 2349014, 02.07.2007 г. Двухмерная аксиальная электрическая машина-генератор / Б.Х. Гайтов, А.В. Самородов, Т.Б. Гайтова, Л.Е. Копелевич.
2. Пат. РФ № 2561504 16.06.2014 г. Аксиальный двухвходный бесконтактный ветро-солнечный генератор / Б.Х. Гайтов, Я.М.Кашин, А.Я. Кашин, Л.Е.Копелевич, А.В. Самородов.
3. Пат. РФ № 245041, 12.01.2011 г. Аксиальная двухвходовая бесконтактная электрическая машина-генератор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова, А.Я. Кашин, Д.В. Пауков, А.В. Голощاپов.
4. Пат. РФ № 2332775, 05.12.2006 г. Двухмерная электрическая машина-генератор // Б.Х. Гайтов, А.В. Самородов, Т.Б. Гайтова, Л.Е. Копелевич.
5. Моренко К.С. Перспективы применения двухроторного генератора для ветроустановки с управляемым углом атаки лопасти // Вестник ВИЭСХ. 2013. № 2 (11). С. 71-73.

РАСЧЕТ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

А.В. Самородов (к.т.н., доц.), М.С. Христофоров (аспирант),
Д.О. Умрихин (студент), А.А. Шаршак (студент)
ФГБОУ ВО «Куюанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

На кафедре электротехники КубГТУ давно ведется работа в области альтернативной энергетики [1-4].

В рамках научного проекта РФФИ и Администрации Краснодарского края №16-48-230500 а(р) было выполнено проектирование и расчет синхронного генератора для ветроэнергетической установки. Этот расчет является составной частью проектируемого ветро-солнечного генератора [5].

Исходные данные:

n - количество магнитов, шт. (всегда кратное 4);

U - напряжение системы (батареи), В;

d_m - диаметр магнита, мм;

h_m - толщина магнита, мм;

B - магнитная индукция в зазоре, Тл;

- 0,3 Тл для генератора с одним диском с магнитами,

- 0,4 Тл для генератора с одним диском с магнитами и

диск без магнитов,

- 0,62 Тл для генератора с двумя дисками с магнитами.

В зависимости от геометрии катушек, расстояния между магнитами на диске, воздушного зазора, толщины диска и т.д. величина магнитной индукции может меняться.

D_c – диаметр ступицы генератора (посадочного отверстия в центре диска), мм.

Генератор синхронный, дисковый, аксиальный. Магниты размещены на стальном диске так, чтобы чередовались полюсы (рис 1.).

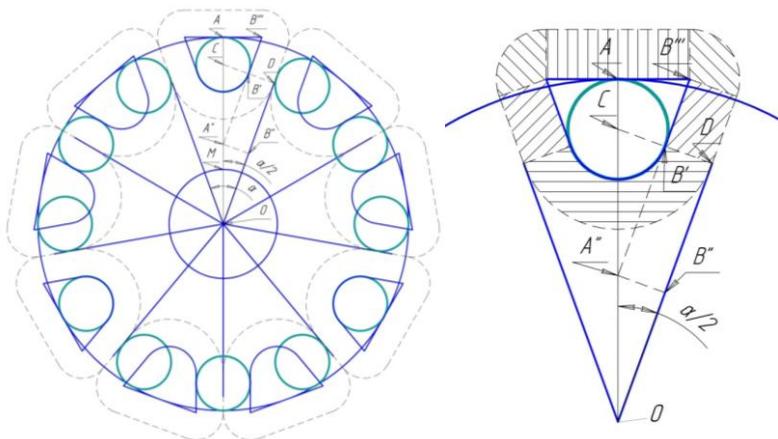


Рисунок 1 – Геометрия магнитопроводов и катушек дискового генератора

Количество пар полюсов $p = 3$, катушек $m = 2p = 6$, магнитов $n = 2$

1. Количество магнитов и катушек

$$\frac{n}{m} = 1,33.$$

2. Минимальная ширина катушек, мм

$d_m = 40$ – диаметр магнита, мм

$$t = \frac{d_m}{2} = 20, t = 25.$$

3. Диаметр диска генератора, мм

$$D_\partial = d_m + 2 \cdot \left(\frac{\frac{d_m}{2} + t}{0,5} \right) = 220.$$

4. Радиус диска генератора, мм

$$R_\partial = \frac{D_\partial}{2} = 110.$$

5. Минимальная толщина диска генератора, мм

$D_c = 58,5$ – диаметр ступицы (с ВАЗ 2114)

$$h_\partial = \frac{\pi \cdot \left(\frac{d_m}{2} \right)^2}{2 \cdot \left(\frac{D_\partial - D_c}{2} \right)} = 7,781.$$

6. Объем магнитов, см²

$h_m = 30$ – толщина магнитов, мм.

$$V_m = n \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_m}{2} \right)^2 \cdot h_m \cdot 10^{-3} = 301,593.$$

7. Полезная мощность генератора при 50 % КПД, Вт

$$P_2 = p \cdot V_m = 603,186.$$

8. Сопротивление катушки для приблизительного расчета,

Ом

$$R_{кам} = \frac{P_2 - 1,4 \cdot \left(\frac{P_2}{U} \right)}{m \cdot \left(\frac{P_2}{1,3 \cdot U} \right)^2 \cdot 1,3} = 51,678.$$

9. Длина провода катушки для приблизительного расчета
532,535 м.

10. Диаметр провода для приблизительного расчета, мм

$$d_{провод} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\rho_0 \cdot l_{провод}}{\pi \cdot R_{кам}}} = 0,479.$$

11. Количество витков катушки для приблизительного расчета, шт

$$N = \frac{0,558 h_c \cdot t}{\pi \cdot \left(\frac{d_{\text{прое}}}{2}\right)^2} = 2,321 \cdot 10^3.$$

12. Количество оборотов вала генератора при которых начинается генерация, об/мин

$$w_0 = \frac{(U - 1,4) \cdot 60}{2 \cdot 1,73 \cdot 1,41 \cdot N \cdot n \cdot \left(\frac{m}{3}\right) \cdot B \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_m \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2} = 100,529, \text{ где } B = 1.$$

13. Коэффициент быстроходности ветроколеса на холостом ходу $z = 1,5$.

$$z_{xx} = 1,25 \cdot z = 1,875.$$

14. Количество витков провода катушки, шт

$$N = \frac{(U - 1,4) \cdot 60}{2 \cdot 1,73 \cdot 1,41 \cdot \left(\frac{w_0}{50}\right) \cdot n \cdot \left(\frac{m}{3}\right) \cdot B \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_m \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2} = 1,934 \cdot 10^3$$

15. Толщина меди статора, мм

$$h_{\text{медь}} = \frac{N \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_{\text{прое}}}{2}\right)^2}{t} = 13,95.$$

16. Длина провода катушки, м

$$l_{\text{прое}} = 481,017.$$

17. Сопротивление катушки, Ом

$$R_{\text{кат}} = \frac{\rho_0 \cdot l_{\text{прое}}}{\pi \cdot \left(\frac{d_{\text{прое}}}{2}\right)^2} = 46,679.$$

18. Сопротивление фазы, Ом

$$R_{\phi} = \frac{R_{\text{кат}} \cdot m}{3} = 93,357.$$

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 16-48-230500 а_р.

Литература

1. Гайтов Б.Х. Двухмерная электрическая машина-генератор для автономных систем электроснабжения / Б.Х. Гайтов, А.В. Самородов, Л.Е. Копелевич, Я.М. Кашин // 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 / Ермак А.А., Самородов А.В., Копелевич М.Л. // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-1. С. 39-41

3. Гайтов Б.Х. Разработка и основы теории двухмерных электрических машин для систем автономного электроснабжения. / Гайтов Б.Х., Гайтова Т.Б., Шарифуллин С.Р., Самородов А.В. // Изв. вузов. Электромеханика. 1999. № 4. С. 16.

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

5. Пат. РФ № 2561504 16.06.2014. Аксиальный двухвходовой бесконтактный ветро-солнечный генератор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.В.Самородов.

ЭЛЕКТРОМАШИННЫЙ ВЕТРО-СОЛНЕЧНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

С.А. Попов (к.т.н., доц.), С.И. Марченко (студент),
В.В. Голова (студентка), Шевелев С.С. (студент)
*Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия)*

Научно-технический прогресс привел к увеличению спроса на электроэнергию, но запас невозобновляемых ресурсов стремительно исчерпывается, поэтому возникает необходимость поиска новых экологически чистых источников энергии. Решением дан-

ной проблемы является комплексное использование альтернативных источников энергии, а именно энергии Солнца и ветра.

Известен электро-механический преобразователь [1]. Если электромашинный преобразователь привести в движение при помощи ветротурбины (используя энергию ветра), а на вход двигателя постоянного тока подать напряжение, поступающее от преобразователя энергии Солнца (например, фотоэлектрических преобразователей), предварительно согласовав направление создаваемых ими моментов, то произойдет преобразование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в электрическую энергию переменного тока.

Недостатки работы электромашинного преобразователя будут зависеть от того, какой вид энергии будет преобладать в конкретный момент времени, и от невозможности работы ветротурбины при малых скоростях движения воздушных потоков.

Данные недостатки были устранены в заявляемой полезной модели [2]. Электромашинный ветро-солнечный преобразователь (ЭМВ-СП) (рис. 1) содержит генератор m -фазного переменного тока 1, который подключается при помощи проводов 2 к сети потребителей m -фазного переменного тока с целью передачи выработанной электроэнергии потребителям.

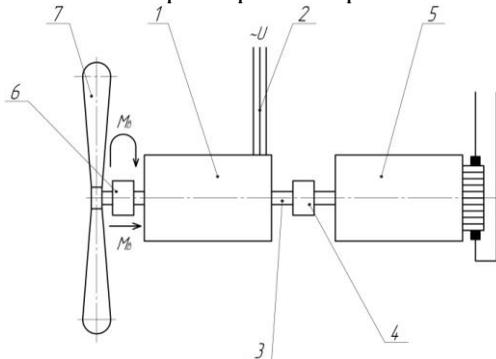


Рисунок 1 – Рабочая схема ЭМВ-СП при наличии энергии ветра

Вал 3 генератора m -фазного переменного тока 1 имеет два выхода, которые соединены с одной стороны через обгонную

муфту 4 с двигателем постоянного тока 5, а с другой – через обгонную муфту 6 – с ветротурбиной 7. Двигатель постоянного тока 5 подключается при помощи проводов 8 к источнику постоянного тока.

Вращающий момент от ветротурбины 7 передается через обгонную муфту 6 к одному концу вала 3 генератора m -фазного переменного тока 1. Вращающий момент от двигателя постоянного тока 5 передается через обгонную муфту 4 к другому концу вала 3 генератора m -фазного переменного тока 1. При этом полярность подключения источника постоянного тока при помощи проводов 8 согласована таким образом, чтобы вращающие моменты, создаваемые ветротурбиной 7 и двигателем постоянного тока 5, совпадали по направлению.

Электромашинный ветро-солнечный преобразователь работает следующим образом. При наличии энергии ветра, но отсутствии электрической энергии постоянного тока обгонная муфта, установленная между ветротурбиной и генератором m -фазного переменного тока, соединяет ветротурбину с генератором m -фазного переменного тока и передает ему энергию в виде вращающего момента для преобразования ее в электрическую энергию m -фазного переменного тока. При этом обгонная муфта, установленная между генератором m -фазного переменного тока и двигателем постоянного тока разъединяет их и не дает вращаться двигателю постоянного тока, что позволит уменьшить тормозной момент, действующий на генератор m -фазного переменного тока в этом режиме работы и даст дополнительную возможность подключения нагрузки в цепь m -фазного переменного тока.

При отсутствии энергии ветра, но наличии электрической энергии постоянного тока обгонная муфта отсоединяет генератор m -фазного переменного тока от ветротурбины для того, чтобы не затрачивать дополнительную энергию на раскручивание лопастей ветротурбины в обратном направлении. Наличие электрической энергии постоянного тока на двигателе постоянного тока создает вращающий момент, который позволяет другой

обгонной муфте передать его генератору m -фазного переменного тока для дальнейшего преобразования энергии постоянного тока в электрическую энергию m -фазного переменного тока.

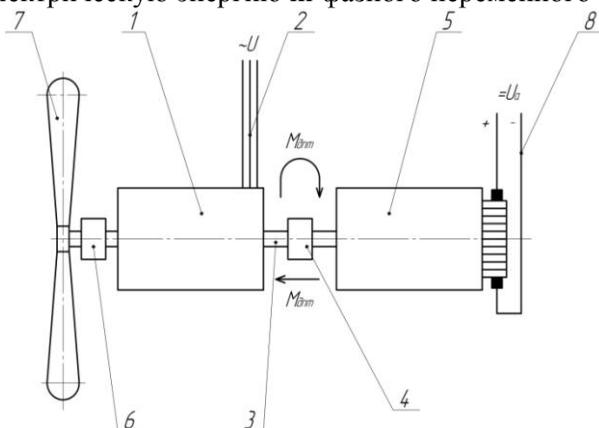


Рисунок 2 – Рабочая схема ЭМВ-СП при наличии электрической энергии

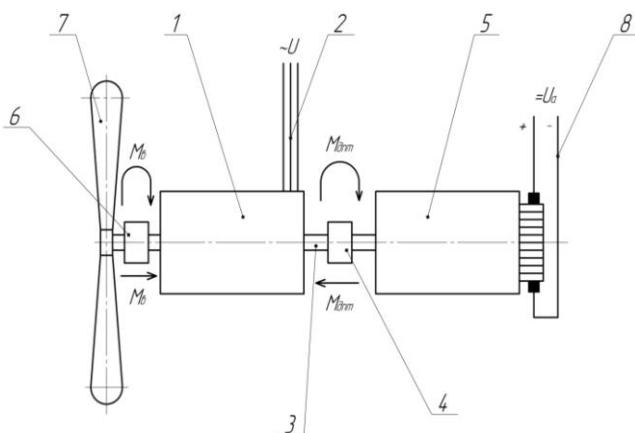


Рисунок 3– Рабочая схема ЭМВ-СП при наличии электрической энергии и энергии ветра

При наличии энергии ветра и электрической энергии постоянного тока обгонные муфты соединяют ветротурбину и двигатель постоянного тока с генератором m -фазного перемен-

ного тока и передают вращающий момент для дальнейшего преобразования ее в электрическую энергию m-фазного переменного тока.

Электромашинный ветро-солнечный преобразователь позволяет увеличить количество получаемой энергии от возобновляемых источников с возможностью работы ветротурбины при малых скоростях движения воздушных потоков.

Литература

1. Копылов И. П. Электрические машины: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. —360 с.

2. Пат. на полезную модель РФ № 171597. Оpubл. 07.06.2017 г. Бюл. № 16. Электромашинный ветро-солнечный преобразователь / С.А. Попов.

АДАПТИВНЫЙ НАБЛЮДАТЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Попов С.А. (к.т.н., доц.), Кривченков В.И. (магистрант)
ФГБОУ ВО «Куюанский государственный технологический университет»(г. Коаснодар, Россия)

Цель работы состоит в разработке наблюдателя активного сопротивления ротора асинхронного электродвигателя (АД), что позволит более точно описывать модель двигателя в системах векторного управления.

В первых системах векторного управления электродвигателями, например, «Трансвектор» от Siemens, применялся метод измерения потокосцепления ротора с помощью датчиков Холла в воздушном зазоре машины [1]. Однако современные системы оперируют, как правило, оценкой потокосцепления, получаемой по модели двигателя (наблюдатель состояния). Наибольшее влияние на точность такой модели оказывает точность задания параметров электродвигателя – сопротивлений и индуктивностей. В рабочем диапазоне температур двигателя сопротивление статора и ротора могут меняться в пределах 30-40 % от начального значения.

Для оценки сопротивления ротора в [2] предлагается использовать структуру, представленную в [3] для адаптации скорости. Исходя из предположения, что скорость ротора двигателя известна, можно выполнить адаптацию модели по сопротивлению статора. Сопротивление ротора в [3] принимается пропорциональным изменению сопротивления статора:

$$\frac{R_{R0}}{R_R} = \frac{R_{S0}}{R_S}, \quad (1)$$

где R_{R0} и R_{S0} – начальные сопротивления; R_R и R_S – текущие сопротивления.

Однако в (1) не учитывается разность температурных коэффициентов сопротивления (ТКС) для статора и ротора (меди и алюминия соответственно). Поэтому в данной работе предлагается использовать следующую зависимость:

$$\alpha_R \frac{R_{R0}}{R_R} = \alpha_S \frac{R_{S0}}{R_S}, \quad (2)$$

где α_R и α_S – ТКС.

Рассмотрим построение наблюдателя. Модель электромагнитных процессов двигателя полного порядка [2]:

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\bar{\mathbf{U}}_S,$$

где

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} I_{S\alpha} \\ I_{S\beta} \\ \psi_{R\alpha} \\ \psi_{R\beta} \end{pmatrix}; \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{r11} & 0 & a_{r12} & -a_{i12} \\ 0 & a_{r11} & a_{i12} & a_{r12} \\ a_{r21} & 0 & a_{r22} & -a_{i22} \\ 0 & a_{r21} & a_{i22} & a_{r22} \end{pmatrix}; \quad \mathbf{B} = \begin{pmatrix} b_1 & 0 \\ 0 & b_1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$\bar{\mathbf{U}}_S = \begin{pmatrix} U_{S\alpha} \\ U_{S\beta} \end{pmatrix};$$

$$a_{r11} = -\left(\frac{R_S}{\sigma L_S} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_R}\right); a_{r12} = \frac{L_m}{T_R \sigma L_S L_R}; a_{r21} = \frac{L_m}{T_R}; a_{r22} = -\frac{1}{T_R};$$

$$a_{i12} = -\frac{L_m \omega_{eR}}{\sigma L_S L_R}; a_{i22} = \omega_{eR}; b_1 = \frac{1}{\sigma L_S}; \omega_{eR} = Z_p \omega_R.$$

Оценка переменной \mathbf{x} :

$$\frac{d\hat{\mathbf{x}}}{dt} = \hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{x}} + \mathbf{B}\bar{U}_S + \mathbf{G}(\bar{I}_S - \bar{I}_S),$$

$$\hat{\mathbf{x}} = \begin{pmatrix} \hat{I}_{S\alpha} \\ \hat{I}_{S\beta} \\ \hat{\psi}_{R\alpha} \\ \hat{\psi}_{R\beta} \end{pmatrix}; \hat{\mathbf{A}} = \begin{pmatrix} \hat{a}_{r11} & 0 & a_{r12} & -a_{i12} \\ 0 & \hat{a}_{r11} & a_{i12} & a_{r12} \\ a_{r21} & 0 & a_{r22} & -a_{i22} \\ 0 & a_{r21} & a_{i22} & a_{r22} \end{pmatrix}.$$

Ошибка переменной \mathbf{x} :

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} - \frac{d\hat{\mathbf{x}}}{dt} = \mathbf{A}\mathbf{x} - \hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{G}(\bar{I}_S - \bar{I}_S),$$

$$\frac{d\mathbf{e}}{dt} = (\mathbf{A} + \mathbf{G}\mathbf{C})\mathbf{e} - \Delta\mathbf{A}\hat{\mathbf{x}}, \quad (3)$$

где

$$\mathbf{e} = \mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}} = \begin{pmatrix} I_{S\alpha} - \hat{I}_{S\alpha} \\ I_{S\beta} - \hat{I}_{S\beta} \\ \psi_{R\alpha} - \hat{\psi}_{R\alpha} \\ \psi_{R\beta} - \hat{\psi}_{R\beta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta I_{S\alpha} \\ \Delta I_{S\beta} \\ \Delta \psi_{R\alpha} \\ \Delta \psi_{R\beta} \end{pmatrix}; \mathbf{C} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Так как сопротивление статора присутствует только в коэффициенте a_{r11} , матрица $\Delta\mathbf{A}$ в (3) примет вид:

$$\Delta\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \Delta a_{r11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \Delta a_{r11} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

$$\Delta a_{r11} = -\frac{1}{\sigma L_s} \Delta R_s.$$

Устойчивость наблюдателя проверим по критерию Ляпунова. Положительно определенная функция-кандидат [2]:

$$V = \mathbf{e}^T \mathbf{e} + \frac{\Delta R_s^2}{\lambda} = \Delta I_{s\alpha}^2 + \Delta I_{s\beta}^2 + \Delta \psi_{s\alpha}^2 + \Delta \psi_{s\beta}^2 + \frac{\Delta R_s^2}{\lambda} > 0, \quad (4)$$

где λ – положительная константа.

Необходимо добиться отрицательности функции-кандидата (4):

$$\frac{dV}{dt} = \left(\frac{d\mathbf{e}^T}{dt} \right) \mathbf{e} + \mathbf{e}^T \frac{d\mathbf{e}}{dt} + \frac{2\Delta R_s}{\lambda} \frac{d\hat{R}_s}{dt}; \quad (5)$$

с учетом (3) можно преобразовать (5):

$$\frac{dV}{dt} = S_1 + S_2,$$

где $S_1 = \mathbf{e}^T \left((\mathbf{A} + \mathbf{GC}) + (\mathbf{A} + \mathbf{GC})^T \right) \mathbf{e}$;

$$S_2 = -(\Delta\mathbf{A}\hat{\mathbf{x}})^T \mathbf{e} - \mathbf{e}^T \Delta\mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} + \frac{2\Delta R_s}{\lambda} \frac{d\hat{R}_s}{dt}.$$

Закон адаптации можно получить из условия $S_2 = 0$ [2]:

$$\begin{aligned} \frac{2\Delta R_s}{\lambda} \frac{d\hat{R}_s}{dt} &= (\Delta \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}})^T \mathbf{e} + \mathbf{e}^T \Delta \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}}; \\ \frac{2\Delta R_s}{\lambda} \frac{d\hat{R}_s}{dt} &= -\frac{2}{\sigma L_s} \Delta R_s \Delta I_{s\beta} \hat{I}_{s\beta} - \frac{2}{\sigma L_s} \Delta R_s \Delta I_{s\alpha} \hat{I}_{s\alpha}; \\ \frac{d\hat{R}_s}{dt} &= -\frac{\lambda}{\sigma L_s} (\Delta I_{s\beta} \hat{I}_{s\beta} + \Delta I_{s\alpha} \hat{I}_{s\alpha}); \\ \hat{R}_s &= -\frac{\lambda}{\sigma L_s} \int (\Delta I_{s\beta} \hat{I}_{s\beta} + \Delta I_{s\alpha} \hat{I}_{s\alpha}) dt. \end{aligned} \quad (6)$$

Для реализации закона адаптации (6) применим ПИ-регулятор:

$$\hat{R}_s = \left(K_p + \frac{K_i}{p} \right) (\Delta I_{s\beta} \hat{I}_{s\beta} + \Delta I_{s\alpha} \hat{I}_{s\alpha}).$$

Матрица \mathbf{G} является корректирующей и должна обеспечить отрицательность S_1 .

Корректирующая матрица \mathbf{G} будет иметь вид [2]:

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} na_{r11} & -g_{21} \\ g_{21} & na_{r11} \\ -a_{r12} & -a_{i12} \\ a_{i12} & -a_{r12} \end{pmatrix}; \quad n > \frac{a_{r21}^2}{4a_{r11}a_{r22}} - 1,$$

где $n > 0$, g_{21} – некоторое число.

На основании описанных выше выражений построим структурную схему наблюдателя сопротивления, приведенную на рис. 1.

Оцененное по (6) значение сопротивления статора применяется для вычисления по (2) сопротивления ротора.

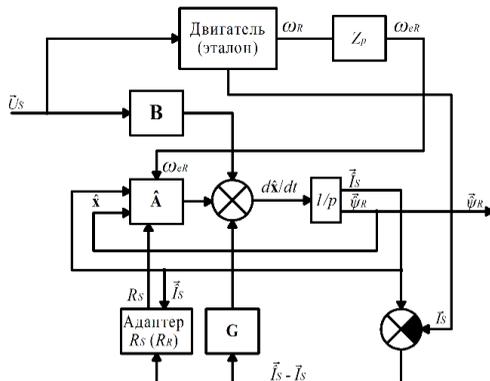


Рисунок 1 – Структура наблюдателя сопротивления

Таким образом, данная структура наблюдателя позволяет уточнить модель асинхронного двигателя, используемую в оценке переменных состояния привода. Это, в свою очередь, ведет к улучшению точности регулирования и, как следствие, качества всей системы управления. Введение в формулу (1) коэффициентов, характеризующих разницу в скорости температурного изменения сопротивлений статора и ротора дает в результате дополнительную точность оценки (около 12 %).

Литература

1. Анучин А.С. Системы управления электроприводов: Учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 373 с.
2. Калачев Ю.Н. Наблюдатели состояния в векторном электроприводе
[URL//http://www.privod-news.ru/docs/nabludateli_free.pdf](http://www.privod-news.ru/docs/nabludateli_free.pdf)
3. Hisao Kubota, Member, ZEEE, Kouki Matsuse, Senior Member, ZEEE, and Takayoshi Nakmo, “DSP-Based Speed Adaptive Flux Observer of Induction Motor”, IEEE transactions on industry applications, VOL. 29, NO. 2, march/april 1993.

СЕКЦИЯ 2.
КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И БЕЗОПАСНОСТЬ
ИНФОРМАЦИИ В ТЕХНИЧЕСКИХ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

КОНТРОЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АППАРАТНЫХ
МОДУЛЕЙ ПЭВМ ДЛЯ ЗАЩИТЫ
ОТ АППАРАТНЫХ ЗАКЛАДОК

А.И. Лысенко (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.

Особое значение в современных условиях приобретает защита информационных систем (ИС) от разрушающего программного воздействия (РПВ), что обусловлено рядом причин:

- РПВ актуальны для всех пользователей компьютеров, независимо от того, какой вид информации там обрабатывается;
- заражение РПВ представляет угрозу повышенной опасности для ИС, чему способствует высокий динамизм обмена информацией;
- защита ИС от РПВ требует особого профессионализма, поскольку многие из них обладают специфическими индивидуальными характеристиками, а для их нейтрализации или устранения, соответственно, необходимы сложные и нетривиальные действия высокообученного персонала.

Цель статьи – рассмотреть возникающие сложности при контроле функционирования аппаратных модулей ПЭВМ для защиты от аппаратных закладок и возможные способы их решения.

Однако особую опасность в этом плане могут представлять технологии двойного назначения, которые изначально предлагались потребителю для упрощения процессов администрирования информационных систем. Но при определенных условиях могут и сами выступать в качестве программно-аппаратной закладки.

К таким технологиям следует отнести и «IntelActiveManagementTechnology», которая была представлена в 2005 г. компанией Intel в составе чипсета i945/ICH7 с сетевой картой i82573E.

Intel AMT – это аппаратная технология, позволяющая удалённо управлять объектом информатизации вне зависимости от состояния его операционной системы. Т.е. платформы, оснащенные Intel AMT, поддерживают удаленное управление, даже если операционная система недоступна или компьютер выключен.

Основное декларируемое предназначение данной технологии – это управление, мониторинг и защита объектов информатизации в информационной системе. И изначально технология разрабатывалась для повышения скорости восстановления объектов информатизации после потери работоспособности, стабильности работы информационной системы и её защиты от внешних и внутренних угроз.

Технология ActiveManagementTechnology постоянно развивается и на 2017 г. включает следующий функционал:

- управление объектами информатизации вне зависимости от состояния (наличия) операционной системы. Включение/выключение объекта информатизации удаленно и по расписанию;

- считывание данных о характеристиках объекта информатизации, не включая его;

- уведомление администратора об аппаратном сбое объекта информатизации;
- перенаправление загрузки с локальных носителей на предварительно сконфигурированный образ операционной системы или программного обеспечения;
- настройка правил работы сетевой карты (настройка аппаратного сетевого экрана);
- контроль наличия определенных процессов на объекте информатизации или их отсутствие.

Таким образом, технология ActiveManagementTechnology позволяет полностью контролировать все рабочие станции в информационной системе и, следовательно, такая система контроля сама требует соответствующего уровня защиты. Кстати, разработчики предлагают некоторые меры по защите, в частности:

- криптографическое преобразование данных в канале связи;
- аутентификацию администратора и пользователей на основе сертификатов;
- защиту программного кода с помощью цифровой подписи;
- выполнение программного кода АМТ независимо от центрального процессора, в изолированной среде;
- изоляцию зараженных объектов информатизации на основе сетевого аппаратного экрана до того, как они повлияют на информационную систему;
- блокирование объекта информатизации и уведомление администратора об угрозе при удалении ключевых программных агентов.

В принципе, сама концепция АМТ достаточно удобна и обладает достаточной степенью защиты при условии, что владелец ПЭВМ самостоятельно управляет удаленным доступом к ней.

К сожалению, именно этого и не происходит, так как технология полностью запатентована и ее спецификации являются секретными.

Кроме того, разработчиками технологии Intel AMT также заложена возможность создания приложений, эффективно использующих функции данной технологии с помощью дополнительного пакета средств для разработки ПО, но уже независимыми поставщиками ПО.

Все это создает возможность не только перехвата управления сторонними лицами при штатном функционировании компьютеров в составе объектов информатизации, но и дополнительного внедрения в них программных средств, сопрягаемых с данной технологией, но уже реализующих специализированные деструктивные функции.

Кроме того, само программное обеспечение AMT также может иметь уязвимости в безопасности, и поскольку это не бесплатное программное обеспечение, у пользователей нет возможности самостоятельной отладки или исправления.

Зачастую производители оборудования не предупреждают пользователей о наличии встроенных средств удаленного доступа, хотя именно это и есть технология AMT. И нет возможности аппаратно отключить ее возможности, как это было предусмотрено ранее с технологией TPM.

К сожалению, в качестве защиты информационных систем объектов информатизации в РФ в большей степени используются программные решения, на которые направлен контроль со стороны специалистов по защите информации. В то же время аппаратные технологии, призванные повысить эффективность удаленного администрирования гетерогенных вычислительных сетей, часто остаются без должного внимания, могут сами становиться источниками проблем для защищаемой информации.

Поэтому если нет возможности отказаться от закупки комплектующих ПЭВМ, содержащих технологию Intel AMT, то обязательно необходимо установить параметры BIOS, отключающие ее. Кроме того, для организации удаленного доступа

необходимо использовать элементы сетевого интерфейса, которые сделаны другим производителем, не поддерживающим АМТ.

В дальнейших исследованиях будут рассмотрены возможности контроля за созданием и использованием сетевых соединений по технологии Intel АМТ, а также определены необходимые требования по организации политики безопасности при управлении доступом в рамках данной технологии.

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. [Электронный ресурс]. <http://www.intel.ru/content/www/ru/ru/architecture-and-technology/intel-active-management-technology.html>

4. [Электронный ресурс]. http://www.radmin.ru/products/radmin/intel_amt_features.php

ТУМАННЫЕ РЕШЕНИЯ ОБЛАЧНЫХ ПРОБЛЕМ

Т.В. Тимченко, В.И. Чижиков (д.т.н., проф.), М.И. Чучин (адъюнкт)
*Краснодарское высшее военное училище
им. Генерала армии С.М. Штеменко (г. Краснодар, Россия)*

Туманные вычисления ([FogComputing](#)) – это новая парадигма, которая относится к платформе для локальных вычислений, распределенных и хранящихся на устройствах конечных пользователей, а не в центрах обработки данных (ЦОД). Эта платформа становится популярной для Интернета вещей (IoT), а особенно для географически распределенных, мобильных приложений, работающих в режиме реального времени, чувствительных к задержкам сети [1].

Задача таких вычислений состоит в том, чтобы собрать сервисы, нагрузки, приложения, большие объемы данных в кучу

и объединить все это с сетями нового поколения. Цель – предоставлять данные, вычислительную мощность, память и сервисы на по-настоящему распределённом уровне.

В основе этого абстрактного тумана лежит концепция капли. Что и роднит его с физическим воплощением тумана. Капля – это чип микроконтроллера со встроенной памятью и интерфейсом. К капле могут подключаться всевозможные датчики температуры, света, напряжения, излучения, положения в пространстве. Равно как и способы вывода типа светодиодов или дисплеев (рис. 1). Такая капля является своеобразной базовой технологией для туманных вычислений. С помощью этих микрочипов можно создать действительно распределённую сеть данных или устройств и развернуть её на всю планету.

Что касается аппаратной базы, то вряд ли это будут микроконтроллеры в чистом виде ресурсы микроконтроллера сильно ограничены и малодостаточны для создания разделяемой среды. А ведь скорей всего, капли будут обслуживать параллельно несколько потребителей. Но сама концепция исполнения таких устройств близка к концепции микроконтроллера, или SoC. Исходя из вышеописанного данное устройство должно в себя включать приблизительно следующее: на одном кристалле размещаются многоядерный CPU, GPU, 3-4 Гб DRAM, и 32 Гб SSD плюс периферийная логика. Наружу выходит минимум интерфейсов SATA и SD для «программирования» (записи ОС на SSD), HDMI+VGA+USB в случае если система используется в качестве рабочего места, LightPeak или 10GE для межсистемных коммуникаций. Если это управляющий узел, то GPIO. Возможно, какой-то локальный радиointерфейс. В целом такая система стремится к дизайну Atom CE или Raspberry Pi – минималистичный энергоэффективный вычислительный комплекс. Безусловно, найдется место и для аккумулятора, и для беспроводного приемника электроэнергии.

С помощью туманных вычислений как системы можно, условно говоря, сделать данные ближе к пользователю, причём даже в географическом смысле [2]. Постоянный оборот информации в мире вынуждает провайдеров создавать все новые технологии их локального хранения и кеширования. «Капли» по-

зволяют разместить данные рядом с пользователем, вместо того чтобы хранить на значительном географическом отдалении в дата-центре. Это позволяет избежать всевозможных задержек в передаче информации конечному пользователю.

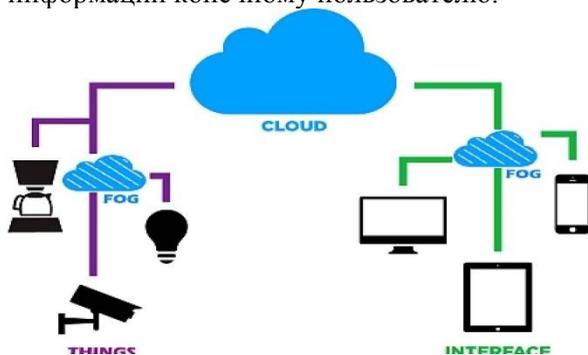


Рисунок 1 – Представление «тумана»

Посредством туманной технологии можно также создать географически плотное распределение вычислений и данных. Туманные вычисления расширяют границы облачных технологий за счёт того, что сеть и данные чрезвычайно рассредоточены. Такая инфраструктура полезна по ряду причин. Во-первых, это позволяет быстрее и эффективнее анализировать «большие данные». Во-вторых, сетевые администраторы могут удовлетворить локальные запросы пользователей без выстраивания полной сетевой инфраструктуры. Кроме того, распределённые туманные вычисления делают анализ данных в реальном времени более чем осуществимым даже при активном масштабировании инфраструктуры.

В концепции туманных вычислений облачные технологии [3, 4] многократно усиливают своё позитивное воздействие, что можно использовать в целях развития и совершенствования «военных облаков», основанных на базе военных автоматизированных систем вычислений, для распределения и локализации данных.

Туманные вычисления решают [5, 6, 7] ряд самых распространённых проблем, среди которых:

- высокая задержка в сети;
- трудности, связанные с подвижностью оконечных точек;
- потеря связи;
- высокая стоимость полосы пропускания;
- непредвиденные сетевые заторы;
- большая географическая распределенность систем и клиентов.

Основываясь на Указе Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203, п. 36 (б, д, е) об основных направлениях развития российских информационных и коммуникационных технологий, следует задуматься о возможности внедрения в военную структуру «капель» для более быстрой обработки информации на местах, т.е. на локальных пунктах, военных частях или в военно-образовательных учреждениях. Для обеспечения функционирования социальных, экономических и управленческих систем с использованием российского сегмента сети Интернет туманные вычисления могут стать отличным решением указаний в п. 33 (б), а именно: вести работу, направленную против использования сети Интернет в военных целях.

Литература

1. Давыдов А.Е., Максимов Р.В., Савицкий О.К. Безопасность ведомственных интегрированных инфокоммуникационных систем: Учеб. пособие. – СПб.: ФГУП «НИИ «Масштаб», 2011. – 192 с.
2. Голуб Б.В., Кузнецов Е.М., Максимов Р.В. Методика оценки живучести распределенных информационных систем // Вестник Самарского гос. ун-та. 2014. № 7 (118). С. 221-232.
3. Пат. РФ на изобретение № 2460123. 09.08.2011 г.; опубл. 27.08.2012, Бюл. № 24. Способ сравнительной оценки структур сетей связи: пат / Р.В. Максимов, Н.Н. Апарин, А.И. Астахов, А.А. Жираковский, А.В. Игнатенко, А.Л. Костырев, М.А. Нехаев.
4. Пат. РФ на изобретение № 2306599. 26.04.2006 г.; опубл. 20.09.2007, Бюл. № 26. Способ (варианты) и устройство (варианты) защиты канала связи вычислительной сети / Р.В. Максимов, А.А. Андриенко, Д.А. Кожевников, Г.С. Колбасова, А.В. Павловский, Ю.И. Стародубцев..

5. Лойко В.И., Кулиш О.А., Шарифуллин С.Р., Хисамов Ф.Г., Чернуха Ю.В., Пшеничный И.С. Моделирование оптических импульсных сигналов в квантово-криптографических системах связи // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубан. гос. аграрн. ун-та. 2016. № 123. С. 1444-1452.

6. Пат. РФ на изобретение № 2408928. 03.08.2009 г.; опубл. 10.01.2011, Бюл. № 1., Бюл. № 26. Способ сравнительной оценки структур информационно-вычислительной сети / Р.В. Максимов, П.А. Берест, К.Г. Богачев, Л.С. Выговский, А.В. Игнатенко, Д.А. Кожевников, В.А. Краснов, В.Е. Кузнецов.

7. Чучин М. И., Чижиков В. И., Шарифуллин С. Р. Робототехнические комплексы и автоматизированные информационные системы / В сб. Технические и технологические системы. Матер. VIII межд. Научн. конф «ГТС-16». КубГТУ, КВВАУЛ им. А.К. Серова; под общ. ред. Б.Х. Гайтова. 2016. С. 191-194.

ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ

Т.В. Тимченко, В.И. Чижиков (д.т.н., проф.), М.И. Чучин (адъюнкт)
*Краснодарское высшее военное училище
им. Генерала армии С.М. Штеменко*

Облачные вычисления – это передовая технология, которая произвела революцию в индустрии информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Они изменили способ, которым предоставляются сервисы через «всемирную паутину», и предоставление таких вычислительных ресурсов, как оборудование, платформы разработки приложений и компьютерных приложений в качестве сервисов в Интернете. Сервисы, предоставляемые таким образом, как правило, известны, соответственно, как «инфраструктура как сервис» (IaaS), платформа как сервис (PaaS) и программное обеспечение как сервис (SaaS). Таким образом, облачные вычисления предлагают доступ к сохраненным данным из любой точки в любое время и расширения сферы сервисов в зависимости от конечных пользователей оборудования. Облачные вычисления предоставляют множество преимуществ по сравнению с традиционной вычислительной точки

зрения затрат, масштабируемость, производительность, техническое обслуживание и т. д. [1].

В настоящее время крупные вычислительные облака состоят из тысяч серверов, размещенных в центрах обработки данных (ЦОД). Они обеспечивают ресурсами десятки тысяч приложений, которые одновременно используют миллионы пользователей.

В последние годы общий доступ к мультимедиа и к хранению файлов становится все более популярным. Например, пользователи Facebook загружают более 350 миллионов фотографий каждый день. Пользователи YouTube загружают около 300 часов видео каждую минуту и смотрят сотни миллионов часов на YouTube каждый день.

Все это приводит к значительному объему облачного трафика и трафика центров обработки данных, который вырос примерно в три раза в период между 2013 и 2018 г., как показано на рис. 1.

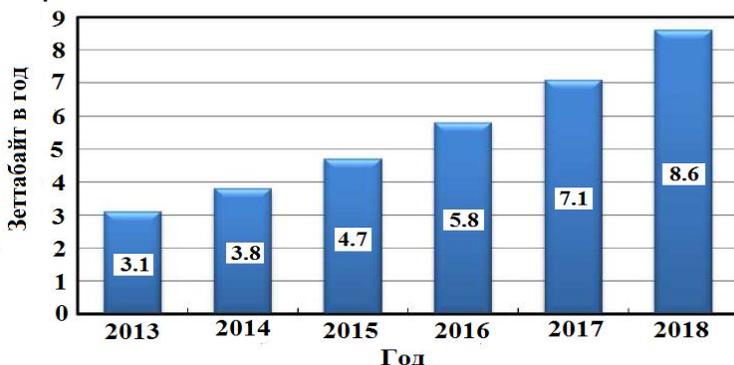


Рисунок 1 – Рост IP-трафика ЦОД

С ростом облачного трафика и использования облачных вычислений растет и потребление энергии как ЦОДами так и конечными пользователями.

В целях снижения энергопотребления облачных приложений и сервисов явный упор делается на снижение энергопотребления центров обработки данных.

По данным аналитического департамента APC (American Power Conversion) структура потребления электроэнергии современного ЦОД выглядит следующим образом: системы охлаждения (чиллеры, прецизионные кондиционеры, системы вентиляции) потребляют 50 %, компьютерная нагрузка – 36 %, источники бесперебойного питания (ИБП) – 11 %, освещение, пожарная сигнализация – 3 %.

В мире затраты на энергоснабжение и охлаждение составляют уже 25–50 % ежегодных расходов на ЦОД. Между тем в России намного более актуальными остаются проблемы выделения требуемых мощностей и обеспечения работы ЦОД при отключении электропитания. С учетом пока еще относительно невысокой стоимости электроэнергии, выгода от внедрения энергосберегающих технологий не очень значительна, поэтому эффективность энергопотребления отходит на второй план. Положение изменится, когда ЦОД будут потреблять мегаватты мощности, а тарифы на электроэнергию приблизятся к ситуации в развитых странах. Впрочем, это время уже не за горами.

Исследования, проведенные экспертами Uptime Institute, показывают, что энергопотребление ЦОД может быть снижено на 50 %, если надлежащим образом решить вопросы выбора и размещения оборудования и устанавливаемых приложений, соотношения производительности и эксплуатационных затрат.

По данным аналитического департамента APC, резервы экономии электроэнергии кроются в следующих направлениях:

- до 40 % – при использовании методов виртуализации серверных мощностей;
- до 15 % – при выборе эффективной архитектуры кондиционирования помещения;
- до 12 % – при правильной планировке фальшпола;
- до 10 % – при выборе эффективного оборудования электропитания.

Уже сейчас основываясь на Указе Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203, п. 3 б (б, д, е) об основных направлениях развития российских информационных и коммуникационных технологий – следует задумываться о создании ЦОД и облачных технологий на базе военных автоматизированных систем

вычислений. Они могут являться неким плацдармом для обработки больших потоков информации и связи между субъектами. Согласно доктрине п. 33 (б) – сеть Интернет не рекомендуется использовать в военных целях, а значит нужно либо ограничить доступ сети к военным маршрутизаторам, либо организовать на базе одного из Российских провайдеров свою «Российскую паутину» [1]. А для этого заранее стоит учесть все ошибки размещения и содержания ЦОД зарубежных компаний.

Центры обработки данных строятся слоями [2, 3, 4]. От слоя к слою инфраструктура становится все менее и менее статичной:

- нижний «инженерный» слой – это фундамент, который практически не меняется на протяжении всего жизненного цикла ЦОД;

- ИТ-инфраструктура не особенно гибкая, но все же она может заменяться, модернизироваться в процессе эксплуатации, дополняться новыми «кирпичиками», повышающими производительность и емкость вычислительного ресурса;

- верхний слой ПО – прикладная часть, которая может легко меняться при необходимости [1].

Расположение нашей страны позволяет использовать все плюсы и минусы ландшафта и климатических условий. В частности, ЦОД можно располагать, например, в Арктике, где вопрос с охлаждением будет снят автоматически, и останется только вопрос о связи с «большой землей», в тайге или на севере (Архангельск). Нужно также использовать альтернативные источники питания для снижения энергопотребления, а именно, строить ЦОД вблизи гидроэлектростанций, что также может обеспечивать и жидкое охлаждение серверов. Использовать «Ветряки» на местности с присутствующей «розой ветров», для альтернативного источника питания.

Таким образом, можно будет распределить ЦОД на огромном расстоянии друг от друга, покрыть как можно больше округов и районов Российской Федерации, уменьшить их энергозависимость, увеличить катастрофоустойчивость [4] и надежность доступа к информации [5, 6, 7].

Однако центры обработки данных – это не единственный компонент облачных приложений и сервисов. Транспортные сети и конечные устройства пользователей также являются важным компонентом облачных сервисов и приложений. А значит, общее энергопотребление облачных приложений и сервисов включает в себя три компонента, как показано на рис. 2.

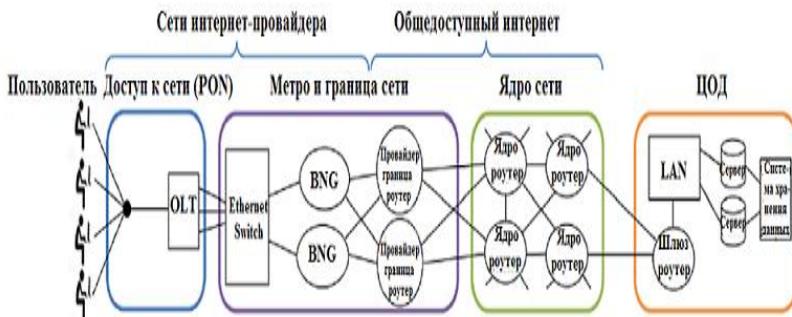


Рисунок 2 – Схема сети, соединяющая пользователей в облаке и инфраструктуры центра обработки данных, используемых для размещения облачных сервисов

- энергия, потребляемая в устройствах конечных пользователей при доступе к облаку;
- энергия, потребляемая в транспортной сети между конечными пользователями и центрами обработки данных;
- потребление энергии центрами обработки данных в облаке.

В дальнейшем для построения ЦОД нужно учитывать и энергопотребление транспортной сети между пользователями и ЦОД, а также энергопотребление конечных пользователей.

Литература

1. Давыдов А.Е., Максимов Р.В., Савицкий О.К. Защита и безопасность ведомственных интегрированных инфокоммуникационных систем – М.: ОАО «Воентелеком», 2015. – 520 с.
2. Пат. РФ на изобретение № 2267154. 13.07.2004 г.; опубл. 27.12.2005 г., Бюл. № 36. Способ контроля информации

онных потоков в цифровых сетях связи / Р.В. Максимов, А.А. Андриенко, О.Е. Куликов, А.Л. Костырев, А.В. Павловский, А.Ю. Лебедев.

3. Пат. РФ на изобретение № 2265242. 12.04.2004 г., опубл. 27.11.2005 г. Бюл. № 33. Способ мониторинга безопасности автоматизированных систем / Р.В. Максимов, А.А. Андриенко, В.А. Иванов, А.Л. Костырев.

4. Голуб Б. В., Кузнецов Е. М., Максимов Р. В. Методика оценки живучести распределенных информационных систем / Вестник Самарского государственного университета. 2014. № 7 (118). С. 221-232.

5. Лыков Н.Ю., Максимов Р.В., Шарифуллин С.Р. Маскирование структуры и алгоритмов функционирования интегрированных инфокоммуникационных систем / Матер. VIII междунар/ научн/ конф/ «ТТС-16». Краснодар: КубГТУ, КВВАУЛ им. А.К. Серова; под общ. ред. Б.Х. Гайтова. 2016. – С. 203-206.

6. Чучин М.И., Чижиков В.И., Шарифуллин С.Р. Живучесть автоматизированных информационных систем с РТК / Матер. VIII междунар. научн. конф. «ТТС-16». Краснодар: КубГТУ, КВВАУЛ им. А.К. Серова; под общ. ред. Б.Х. Гайтова. 2016. – С. 194-198.

7. Чучин М.И., Чижиков В.И., Шарифуллин С.Р. Проблемы обеспечения безопасности данных в облачных инфраструктурах распределенных информационных систем / Сб. научн. статей VII Междунар. научн.-практ. конф. «Научные чтения имени профессора Н.Е. Жуковского», 2017. – С. 193-198.

$$a_{i,j} \in 0, 1; i = 0, 1, \dots, n; j = 0, 1, \dots, k - 1.$$

Очевидно, что для ОЗУ СЗИ характерны как случайные и неповторяющиеся сбои, так и повторяющиеся, систематические ошибки различной кратности, вызванные агрессивными условиями функционирования.

С целью обеспечения возможности обнаружения и исправления ошибок произведем кодирование и декодирование поступившего для записи в запоминающее устройство вектора информационных сообщений. Процедуры кодирования и декодирования разделим на 2 этапа.

Кодирование модулярным кодом

Определим правило кодирования:

$$\mathbf{B} \rightarrow E_1 : \mathbf{A}, \tag{2}$$

где $\mathbf{B} = \langle \mathbf{B}_1, \mathbf{B}_2, \dots, \mathbf{B}_n \rangle$.

Рассмотрим вектор кодовых слов \mathbf{B} в виде системы двоичных векторов:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{B}_1 = \langle b_{1,0}, b_{1,1}, \dots, b_{1,k-2}, b_{1,k-1} \rangle \\ \mathbf{B}_2 = \langle b_{2,0}, b_{2,1}, \dots, b_{2,k-2}, b_{2,k-1} \rangle, \\ \dots\dots\dots \\ \mathbf{B}_n = \langle b_{n,0}, b_{n,1}, \dots, b_{n,k-2}, b_{n,k-1} \rangle \end{array} \right. \tag{3}$$

$$b_{i,j} \in 0, 1; i = 0, 1, \dots, n; j = 0, 1, \dots, k - 1.$$

Вектор \mathbf{B} можно интерпретировать как совокупность кодовых слов длиной равной разрядности шины данных, представляющих собой наименьшие неотрицательные вычеты по

основаниям p_i модулярного кода, где $i = 0, 1, \dots, n$; причем $0 \leq \mathbf{B}_i \leq p_i$.

Представим коэффициенты $a_{i,j}$ и $b_{i,j}$ из систем (1) и (3) как коэффициенты полиномов $GF(p^v)$ характеристики $p = 2$. Тогда системы векторов (1) и (3) примут вид:

$$\mathbf{A}(z) = \begin{cases} A_1(z) = a_{1,0} + a_{1,1}z + \dots + a_{1,k-2}z^{k-2} + a_{1,k-1}z^{k-1}, \\ A_2(z) = a_{2,0} + a_{2,1}z + \dots + a_{2,k-2}z^{k-2} + a_{2,k-1}z^{k-1}, \\ \dots \\ A_n(z) = a_{n,0} + a_{n,1}z + \dots + a_{n,k-2}z^{k-2} + a_{n,k-1}z^{k-1}; \end{cases} \quad (4)$$

$$\mathbf{B}(z) = \begin{cases} B_1(z) = b_{1,0} + b_{1,1}z + \dots + b_{1,k-2}z^{k-2} + b_{1,k-1}z^{k-1}, \\ B_2(z) = b_{2,0} + b_{2,1}z + \dots + b_{2,k-2}z^{k-2} + b_{2,k-1}z^{k-1}, \\ \dots \\ B_n(z) = b_{n,0} + b_{n,1}z + \dots + b_{n,k-2}z^{k-2} + b_{n,k-1}z^{k-1}; \end{cases} \quad (5)$$

где $a_{i,j} \in 0, 1; b_{i,j} \in 0, 1; i = 0, 1, \dots, k-1$.

Систему $\mathbf{B}(z)$ будем рассматривать как совокупность кодовых слов модулярного полиномиального кода по системе оснований полиномов $p_1(z), p_2(z), \dots, p_n(z)$,

где $\gcd(p_i(z), p_j(z)) = 1, i \neq j = 1, 2, \dots, n; 0 \leq \deg p_i(z)$.

Таким образом, правило кодирования (2) примет вид:

$$\mathbf{B}(z) \rightarrow E_1 : \mathbf{A}(z).$$

В соответствии с Китайской теоремой об остатках для полиномов [4, 5] имеет место система сравнений по попарно

С учетом направленности развития современных ОЗУ на увеличение быстродействия операция обнаружения ошибок, описанная в [3], является трудоемкой и занимает длительное время, что является неприемлемым. С целью повышения оперативности операции обнаружения ошибки произведем кодирование систематическим циклическим кодом рассматриваемых вычетов избыточного модулярного кода.

Кодирование систематическим циклическим кодом

Определим правило кодирования:

$$\begin{cases} H_i(z) \rightarrow E_2 : B_i(z), \\ H_i \rightarrow E_2 : B_i, \end{cases} \quad (7)$$

откуда

$$\begin{cases} H_i(z) \rightarrow G(z) \times B_i(z), \\ H_i \rightarrow G \times B_i, \end{cases}$$

где \mathbf{G} – порождающая матрица циклического кода. Один из способов формирования строк порождающей матрицы представляет собой ряд следующих операций:

1. Записывается единичная матрица E_k для исходного k -элементного кода.

2. Полиномы, соответствующие каждой из комбинаций E_k , умножаем на z^{n-k} .

3. Полученные результаты из п. 2 делим на образующий полином $g(z)$.

4. В результате деления получим остатки, каждый из которых соответствует определенной строке матрицы E_k , из полученных остатков составляется дополнительная матрица R , которая приписывается к матрице E_k со стороны младших разрядов.

Таким образом, порождающая матрица для систематического циклического кода будет иметь вид:

$$G = [RE_k],$$

где R – приписываемая к E_k матрица остатков.

Все остальные комбинации циклического кода, в силу свойства линейности, получаются путем сложения по *mod 2* строк матрицы **G** в различных сочетаниях.

Из выражения (7) получим:

$$\begin{cases} H_i = \langle h_{i,0}, h_{i,1}, \dots, h_{i,k-1}, h_i, h_{i,k+r_2-1} \rangle, \\ H_i(z) = h_{i,0} + h_{i,1}z^1 + \dots + h_{i,k-1}z^{k-1} + h_{i,k+r_2-1}z^{k+r_2-1}, \end{cases} \quad (8)$$

где $i = 1, 2, \dots, n + r_1$.

Предположим, что в процессе функционирования запоминающее устройство подверглось деструктивному воздействию, в результате которого произошло искажение кодового слова с вектором ошибки e .

Декодирование систематического циклического кода

Определим правило декодирования:

$$\begin{cases} \mathbf{B}_i^* \rightarrow D_2 : \mathbf{H}_i^*; B_i(z) \rightarrow D_2 : H_i^*(z), \\ \mathbf{S}_i, S_i(z). \end{cases} \quad (9)$$

из (9) имеем:

$$\begin{cases} \mathbf{B}_i^* = \mathbf{H}_i^* \times \mathbf{H}, \\ B_i^*(z) = H_i^*(z) / g(z), \end{cases}$$

где **H** – проверочная матрица кода:

$$\mathbf{H} = [\mathbf{E}_{n-k}, \mathbf{R}^T].$$

Так как представленный циклический код является нулевым пространством проверочной матрицы **H**, то $\mathbf{GH}^T = 0$.

В результате декодирования циклического кода получим некоторые значения синдромов ошибки, указывающие на наличие или отсутствие ошибки в том или ином вычете модулярного кода:

$$\begin{cases} S_i = \langle s_{i,1}, s_{i,2}, \dots, s_{i,r_2} \rangle, \\ S_i(z) = s_{i,1} + s_{i,2}z^1 + \dots + s_{i,r_2}z^{r_2-1}, \end{cases}$$

а также значения вычетов модулярного кода:

$$\begin{cases} B_i^* = \langle b_{i,0}^*, b_{i,1}^*, \dots, b_{i,k-2}^*, b_{i,k-1}^* \rangle, \\ B_i^*(z) = b_{i,0}^* + b_{i,1}^* z^1 + \dots + b_{i,k-2}^* z^{k-2} + b_{i,k-1}^* z^{k-1}. \end{cases}$$

Образующий полином $g(z)$ принимает участие в построении каждой кодовой комбинации циклического кода, поэтому комбинация циклического кода делится на образующий полином без остатка, однако без остатка делятся только те комбинации, которые принадлежат данному коду [6, 7]. Следовательно, об ошибке в декодированной кодовой комбинации будет свидетельствовать наличие остатка при ее делении на образующий полином.

В случае наличия ошибки в одной из кодовых комбинаций (вычете расширенного модулярного кода) исключим ее путем присвоения нулевого значения ортогональному базису по соответствующему основанию системы p_i . В соответствии с Китайской теоремой об остатках произведем восстановление значения ошибочного вычета.

Литература

1. Сагалович Ю.Л. Кодовая защита оперативной памяти ЭВМ от ошибок, Автомат. и телемех., 1991., вып. 5. – С. 3-45.
2. Давыдов А.Е., Максимов Р.В., Савицкий О.К. Защита и безопасность ведомственных интегрированных инфокоммуникационных систем [Текст] / А.Е. Давыдов, Р.В. Максимов, О.К. Савицкий – М.: ОАО «Воентелеком», 2015. – 520 с.
3. Пат. РФ № 2449361. 03.08.2009 г.; опубл. 10.02.2011 г., Бюл. № 4. Способ защиты вычислительной сети с выделенным сервером / Р.В. Максимов, И.С. Ветошкин, Ю.А. Дрозд, А.А. Ефимов, А.В. Игнатенко, Д.А. Кожевников, В.А. Краснов, В.Е. Кузнецов.
4. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки. М.: Мир, 1986. – 576 с.
5. Barsagaev A.A., Kalmykov M.I., Algorithms of detection and correction of errors in modular polynomial codes, International journal of experimental education №3, 2014.

6. Финько О.А. Модулярные формы систем ФС-значных функций алгебры логики // Автоматика и телемеханика. 2005. № 7. – С. 66-86.

7. Ржевский Д.А., Елисеев Н.И., Абасов Н.Д., Финько О.А. Электронная подпись, устойчивая к деструктивным воздействиям // Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. № 12 (125). – С. 140-146.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОШИБОК ОПТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ШТРИХОВЫХ КОДОВ НА РАБОТУ ВХОДЯЩЕГО УЧАСТКА СЛУЖЕБНОГО ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА

А.А. Якшин (адъюнкт)

*Краснодарское высшее военное училище
им. Генерала армии С.М.Штеменко*

В соответствии с [1, 2] для обеспечения эффективного функционирования входящего участка СДП предъявляются следующие требования:

– совершенствование служебного делопроизводства с использованием средств вычислительной техники, организационно-технических и других средств;

– применение автоматизированных (информационных) технологий обработки служебной информации.

Одним из возможных условий эффективности повышения оперативности и достоверности ввода данных в информационную систему является применение автоматических средств обработки на основе технологии штрихового кодирования (ШК) [3, 4]. Данная технология поддерживается Правительством Российской Федерации в рамках государственной программы.

Сравнительный анализ (представлен на Рисунке 1) при заданных параметрах времени обслуживания ручного и автоматического ввода данных в информационную систему показал, что длительность обработки входящих документов при определенном их количестве с использованием ручного ввода данных выше по сравнению с использованием автоматического ввода.

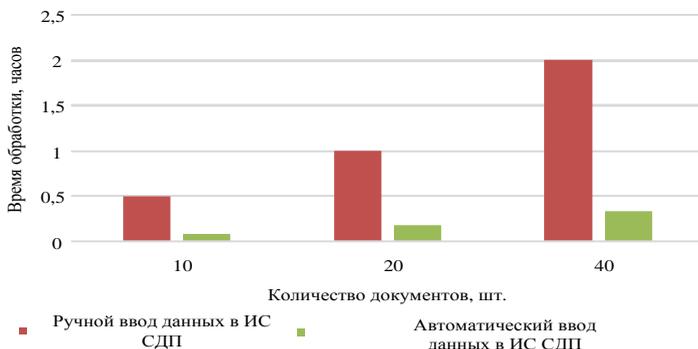


Рисунок 1 – Время обработки входящих при ручном и автоматическом вводе данных в ИС СДП

Основной процедурой считывания штрихового кода является процедура OCR-распознавания. В силу естественных и искусственных дефектов [5], возникающих на изображениях штрихового кода в результате сбоев устройств печати (дефектов), низкого качества бумажного носителя, загрязнения в процессе использования и хранения, условий использования, при считывании могут возникать ошибки.

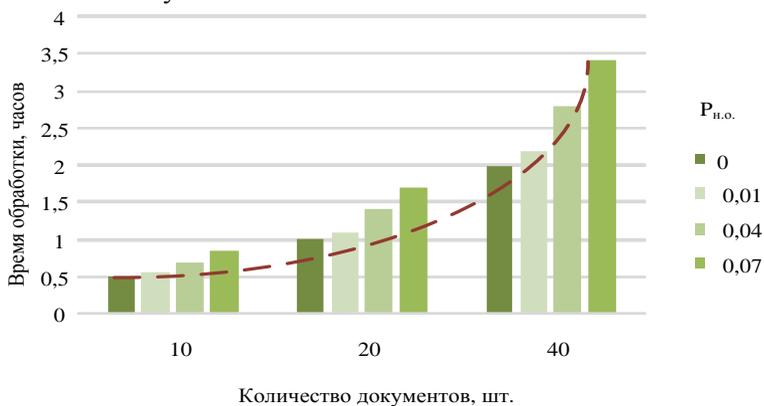


Рисунок 2 – Время обработки документов при заданных значениях вероятности необнаружения ошибки в ШК

На рис. 2 представлена зависимость необходимого времени на обработку заданного количества входящих документов при вероятности необнаружения ошибки в штриховом коде. Как видно, при увеличении значений вероятности необнаружения ошибки возрастает время обработки документов, находящихся на участке.

Рассмотрим одноканальный участок обработки входящих документов с неограниченной очередью, в котором выполняются следующие условия:

- поступления документов в систему являются независимыми событиями;

- процесс поступающих документов описывается Пуассоновским законом распределения, и представляет собой случайный процесс, который является простейшим, где вероятность того, что на отрезке времени длиной t , произойдет m поступлений с интенсивностью λ ;

- документы обрабатываются по принципу «первый пришел – первый обработан», причем каждый документ ожидает своей очереди до конца, независимо от длины очереди;

- время обработки описывается экспоненциальным распределением, при этом длительность обработки документа есть случайная величина.



Рисунок 3 – Схема входящего участка обработки документов СДП

Участок обработки входящих документов (рис. 2) представляет собой поток документов с интенсивностью λ , неограниченной очередью и интенсивностью обработки входящего документа μ . При этом:

– среднее время обработки входящего документа при использовании автоматического ввода определяется из выражения:

$$T_1 = \sum_{i=1}^{j_1} t_i^{(1)};$$

– среднее время обработки входящего документа при использовании ручного способа определяется из выражения:

$$T_2 = \sum_{i=1}^{j_2} t_i^{(2)}.$$

Соответственно $T_1 < T_2$.

События времени обработки T_1 и T_2 являются несовместными [6], где безошибочное декодирование штрихового кода при T_1 исключает переход обработки документа на время T_2 .

Следовательно, при обнаружении ошибки в штриховом коде обработка входящего документа переходит на ручной способ обработки, при этом общее время обработки вычисляется из выражения:

$$T_{\text{вс}} = P_{\text{и.и.}} \left(\sum_{i=1}^{j_1} t_i^{(1)} + \sum_{i=1}^{j_2} t_i^{(2)} \right) + (1 - P_{\text{и.и.}}) \sum_{i=1}^{j_1} t_i^{(1)}.$$

Анализ функционирования входящего участка обработки документов [7, 8] рассматривался через показатель «Среднего количества документов, находящихся на участке обработки» из выражения:

$$L_{\text{уч.}} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}, \quad (1)$$

где μ – среднее количество входящих документов, обрабатываемых в единицу времени, вычисляется из выражения:

$$\mu = \frac{1}{P_{\text{н.о.}} \left(\sum_{i=1}^{j_1} t_i^{(1)} + \sum_{i=1}^{j_2} t_i^{(2)} \right) + (1 - P_{\text{н.о.}}) \sum_{i=1}^{j_1} t_i^{(1)}}. \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), получим среднее количество документов, находящихся на участке обработки при условии необнаружении ошибки в штриховом коде, из выражения:

$$L_{\text{выч.}} = \frac{\lambda}{\left(P_{\text{н.о.}} \left(\sum_{i=1}^{j_1} t_i^{(1)} + \sum_{i=1}^{j_2} t_i^{(2)} \right) + (1 - P_{\text{н.о.}}) \sum_{i=1}^{j_1} t_i^{(1)} \right) - \lambda}.$$

При увеличении значений вероятности необнаружения ошибки в штриховом коде, происходит увеличение среднего количества документов находящихся на участке обработки входящих документов.

По результатам рассмотренных особенностей функционирования входящего участка обработки документов, можно сделать ряд выводов:

1. Технология штрихового кодирования позволяет повысить показатели оперативности и достоверности учета служебных документов.

2. Особенности эксплуатации бумажных носителей информации снижают эффективность применения технологии штрихового кодирования.

3. Применение новых алгоритмов и методики устойчивого к ошибкам штрихового кодирования данных в ИС СДП при решении данной задачи позволит повысить работу входящего участка служебного делопроизводства.

Литература

1. Инструкция по делопроизводству в ВС РФ (ИД-2017), утверждена приказом МО РФ от 04.04.2017 № 170. – М., 2017. – 10, 11 с.

2. Пат. РФ № 2309416. 19.06.2006 г., опубл. 27.10.2007 г., Бюл. № 30. Способ обнаружения и идентификации несанкционированно установленных на объекте электронных устройств / Р.В. Максимов, А.В. Анженко, А.Л. Костырев, Д.С. Платонов, В.В. Петров.

3. Белов Г.В. Информационные технологии предпринимательства: Учебник для вузов / Г.В. Белов, Б.Т. Ерохин, В.П. Варфоломеев – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 432 с.

4. Максимов Р.В. , Кожевников Д.А., Колбасова Г.С., Самохин В.Ф., Чернолес В.П. Патентная безопасность как составляющая информационной безопасности в сфере науки и техники России // Инновации. 2006. № 11. – С. 41-47.

5. Пат. РФ № 2264649. 26.04.2004 г.; опубл. 20.11.2005 г., Бюл. № 32. Способ обнаружения удаленных атак на автоматизированные системы управления:пат. Р.В. Максимов, А.А. Андриенко, А.Л. Костырев, О.Е. Куликов, А.Л. Костырев.

6. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей. – М. 1969. – 576 с.

7. Самойленко Д. В., Финько О. А. Имитоустойчивая передача данных в защищенных системах однонаправленной связи на основе полиномиальных классов вычетов // Нелинейный мир. М.: Радиотехника, 2013. Т. 11. № 9. – С. 647-658.

8. Елисеев Н.И., Финько О.А. Системные основы защищенного гибридного документооборота / В сб. Управление развитием крупномасштабных систем. Труды пятой межд. конф. Учреждение Российской академии наук Институт Проблем управления им. В. А. Трапезникова. РАН. 2011. – С. 218-229.

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННЫХ СМИ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОТИВОБОРСТВ

Т.Т. Зангиев (к.т.н.), Ф.Р. Гунай (студент), З.Я. Тугушева (студентка)
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

Актуальность исследований в области информационных войн и высокий интерес к данной тематике в мире обусловлены тем, что любая страна нуждается в создании продуктивной систе-

мы государственного противодействия информационной войне. Потребность в тщательном анализе данной темы связана с тем, что в современном мире межгосударственные и межнациональные конфликты все чаще протекают в информационном поле. Большое количество государств рассматривают информационную войну как действенный способ реализации внешней политики.

Одним из наиболее эффективных и активно используемых инструментов в данной борьбе являются электронные СМИ. В силу своего потенциала, оперативности, распространенности и доступности они могут выступать в качестве мощного канала формирования и манипулирования общественным мнением.

Основной проблемой в данной области является недостаточная готовность общества оказывать активное сопротивление попыткам манипулирования их сознанием, и поэтому ключевой задачей проведенной работы является определение явных или скрытых деструктивных намерений сторон, использующих электронные СМИ для широкомасштабного воздействия на информационные системы противника с целью возможного влияния на массовое сознание общества, обеспечивающее навязывание иных ценностных позиций, подрыва экономики и политики.

Для недопущения разрушительной пропаганды, дезинформации населения, а также для получения преимущества перед противодействующей стороной необходимо определить позиции сторон-участников информационной войны и сформировать эффективную политику взаимодействия с ними.

Для анализа новостных сайтов созданы кластеры, которые определяют возможные позиции электронных СМИ: Патриоты, Деструкторы, Аналитики. На основе кластеров разработана матрица оценки электронных СМИ «Реакция–Важность», где уровень важности событий вычисляется с помощью теории принятия решений при нечеткой исходной информации. Мнения экспертов представлены нечеткими отношениями предпочтения на множестве степеней важности.

Как правило, происходит смещение позиций оценки, как внутри кластеров, так и между кластерами для одного и того же

СМИ при изменении предметной категории новостных событий, поэтому целесообразно применять инструменты выбора, использующие нечеткую исходную информацию. Для автоматизации процесса выбора создан программный модуль, определяющий степень значимости события, основанный на нечетких отношениях предпочтения на множестве степеней важности.

Реакция на различные события определяется с помощью информационно-аналитической системы «Семантический архив». При исследовании сайтов с использованием семантического архива получены наиболее полные и достоверные сведения. Это обусловлено тем, что семантический архив взаимодействует с онлайн-базами СМИ, проводит автоматический сбор новостных статей с сайтов СМИ и сбор сообщений из блогов и форумов, сбор информации, найденной через поисковые системы, оповещает пользователей о появлении важной информации, хранит статьи и сообщения и предоставляет широкие возможности поиска.

Таким образом, выбранные события позиционируются как по уровню важности, так и по характеру реакций последовавшей на эти события. Подробное описание используемых методов и материалов представлено в [1].

В качестве примера работы методики выделены три достаточно влиятельных и популярных новостных сайтов: <http://politikus.ru>; <http://echo.msk.ru>; <http://ria.ru>.

События для позиционирования электронных СМИ отбирались из наиболее важных предметных категорий, которыми в большей степени интересуется общественность и которые оказывают на нее значительное влияние. Были выбраны события по следующим тематикам: внешняя политика, внутренняя политика, экономика, культура, общество, спорт.

Результаты анализа автоматизированного сбора информации, систематизации полученных данных и оценки реакций электронных СМИ на выбранные события показаны в табл. 1.

Для дальнейшего позиционирования на матрице оценки анализируемые электронные СМИ обозначим следующим образом (рис. 1).

При пробной статистической выборке в 21 событие из различных предметных областей получается следующая матрица оценки СМИ «Важность-Реакция» (рис.2).

Таблица 1

Результаты анализа сайтов

№	Событие	Важность события	politikus.ru	echo.msk.ru	ria.ru
1	Введение Западом санкций в отношении России	Высокая	Нейтральная	Негативная	Нейтральная
2	Принятие «Пакета Яровой - Озерова»	Средняя	Позитивная	Резко негативная	Нейтральная
3	Пролет Су-24 над американским эсминцем USS Donald Cook	Низкая	Восторженная	Нейтральная	Нейтральная
...

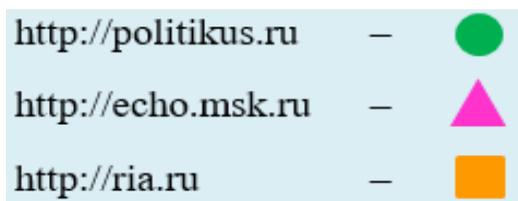
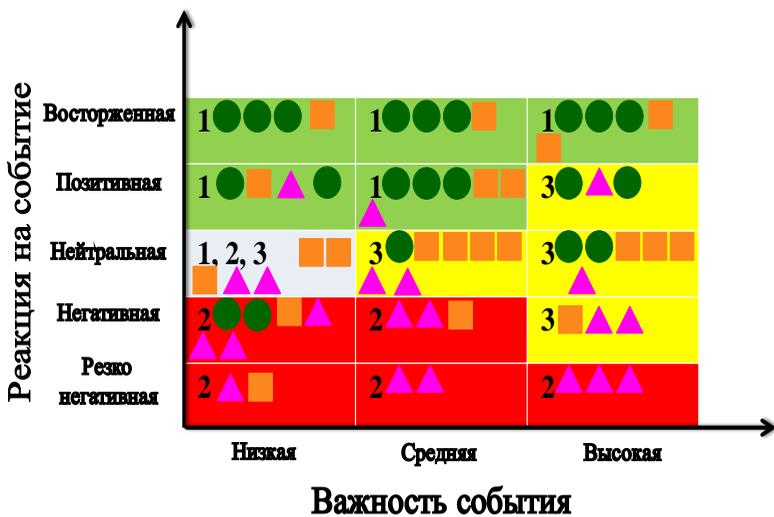


Рисунок 1 – Обозначения анализируемых электронных СМИ



- Патриоты
 - Аналитики
 - Деструкторы

Рисунок 2 – Матрица оценки СМИ «Важность – Реакция»

Из представленной выше кластерной карты получены следующие результаты:

- politikus.ru/ можно уверенно отнести к кластеру – «Патриоты»;
- echo.msk.ru/ целесообразно присвоить кластер – «Деструкторы»;
- gia.ru/ в основном попадает в кластер – «Аналитики».

Подробное описание всей методики кластеризации, математическая модель, показанная на конкретном примере, полная таблица результатов анализа электронных СМИ на события с помощью «Семантического архива» представлены в ранее опубликованной статье [2].

Разработанная модель позволяет делать корректные выводы об анализируемой проблеме информационных войн, что в дальнейшем способствует более глубокому исследованию. На данном этапе модель кластеризации позволяет прогнозировать отклик электронных СМИ на события различного уровня важ-

ности и тем самым сторона, использующая кластерную карту, получает преимущество в информационных противоборствах.

В дальнейшем планируется детальный анализ кластера «Аналитики», так как в него могут попасть и аналитики, и скрытые деструкторы. В связи с высокой стоимостью существующих аналогов используемой системы, которая связана с их разнонаправленностью и масштабностью, которые используют не только для анализа интернет-сайтов, но и во многих других сферах, в рамках исследования проектируется новая система для анализа электронных СМИ. Разрабатываемая система является узконаправленной информационно-аналитической системой, которая будет проводить более глубокий и тщательный анализ только электронных СМИ, что повышает практическую эффективность работы всей методики кластерного анализа.

Литература

1. Зангиев Т.Т., Тугушева З.Я., Гунай Ф.Р. Семантический архив, как инструмент оценки деятельности электронных СМИ в условиях информационных войн. // Сборник тезисов участников III Всероссийского научного форума «Наука будущего – наука молодым» – г. Нижний Новгород, 2017. с. 112.

2. Зангиев Т.Т., Тугушева З.Я., Гунай Ф.Р. Динамическое позиционирование электронных СМИ как стратегический инструмент в информационных противоборствах // Специальный выпуск Научные труды КубГТУ. Краснодар, 2016 – №16. – [Электронный ресурс] - URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1380>

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СПОСОБОВ КОМПРОМЕТАЦИИ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

А.Л. Гаврилов, С.Л. Катунцев, Д.Н. Орехов, С.П. Соколовский
*Краснодарское высшее военное училище
им. Генерала армии С.М. Штеменко*

Цель статьи – описание способа (алгоритма) компрометации средств проактивной защиты информации, используемых в интегрированных инфокоммуникационных

системах (ИКС), позволяющего установить факт использования таких средств, предотвращающих сетевые атаки на этапе вскрытия топологии сети.

В современных сетях все чаще применяются пассивные средства защиты [1-5], основная задача которых предоставлять мнимые (в части уязвимостей) сетевые узлы, привлекающие злоумышленников, исследующих структуру сети. Получаемый этими узлами сетевой трафик может быть проанализирован с целью построения модели предполагаемого нарушителя и общей схемы его действий для предотвращения реальных атак впоследствии. Более совершенные средства защиты (например, сетевые ловушки) ориентированы на замедление предполагаемого противника, использующего, в том числе, и автоматические средства сканирования структуры сети. Они имитируют канал с низким качеством связи, не позволяя при этом разорвать соединение, вынуждая противника тратить как вычислительные, так и временные ресурсы. Такие средства защиты являются одним из современных способов защиты ИКС от возможного сетевого взаимодействия как изнутри, так и извне.

Существует значительный ассортимент сетевых ловушек, отличающихся особенностями реализации, но все они базируются на следующих механизмах:

- определение множеств неиспользуемых *IP*-адресов, которые могут быть использованы для создания активного узла-аттрактора;

- перехват всех типов пакетов, направляемых на выбранные *IP*-адреса, для создания видимости существования реального узла;

- удержание TCP-сессии.

Описанные средства могут применяться для отвлечения внимания потенциальных злоумышленников от реальных узлов в сети и для получения информации о применяемых алгоритмах, инструментах и техниках атаки. Помимо увеличения объемов ресурсов, затрачиваемых противником, он также получит ложную информацию о топологии исследуемой им сети, оставаясь в неведении относительно реального

количества узлов, при этом затратит значительные временные ресурсы, что увеличит вероятность его обнаружения.

Для противодействия таким средствам защиты злоумышленниками могут применяться средства идентификации сетевых ловушек. Одним из наиболее распространенных средств является ПО *Degreaser*, позволяющее обнаруживать средства проактивной защиты по характерным для них особенностям работы (демаскирующим признакам) [6].

Не все отличительные признаки с одинаковой информативностью могут «говорить» о факте использования сетевой ловушки.

Например, многие ловушки применяют статично заданный *MAC*-адрес для ответов от имени различных *IP*-адресов. Однако единичный сетевой интерфейс может иметь несколько присвоенных *IP*-адресов, следовательно по этому признаку нельзя с требуемой достоверностью идентифицировать сетевую «ловушку». Кроме того, сетевые «ловушки» имитируют работу всех узлов подсети, указанной в настройках, из-за чего при сканировании сеть будет выглядеть полностью занятой. Однако и этот признак является недостаточно информативным.

Следующие признаки позволяют с высокой достоверностью привести к компрометации средств защиты:

- для управления *TCP*-поток «ловушка» изменяет размер *TCP*-окна, изначально оповещая о его малой величине для уменьшения количества передаваемого сетевого трафика;
- при генерации ответных пакетов от имени ложных узлов «ловушка» не заполняет *TCP*-опции отправляемых пакетов.

Для проверки разрабатываемых средств проактивной защиты ИКС, в части снижения вероятности их обнаружения средствами-детекторами (компрометации), разработан демонстрационный стенд. Результативность производимых проверок обеспечивается особенностями реализации пользовательского интерфейса известного средства обнаружения сетевых «ловушек» *Degreaser*. До настоящего времени в исходной реализации присутствовал только интерфейс командной строки, что обуславливало узость области

применения ПО. Основное окно интерфейса позволяет настроить работу программы, а также представить результаты ее работы в отформатированном виде (рис. 1).

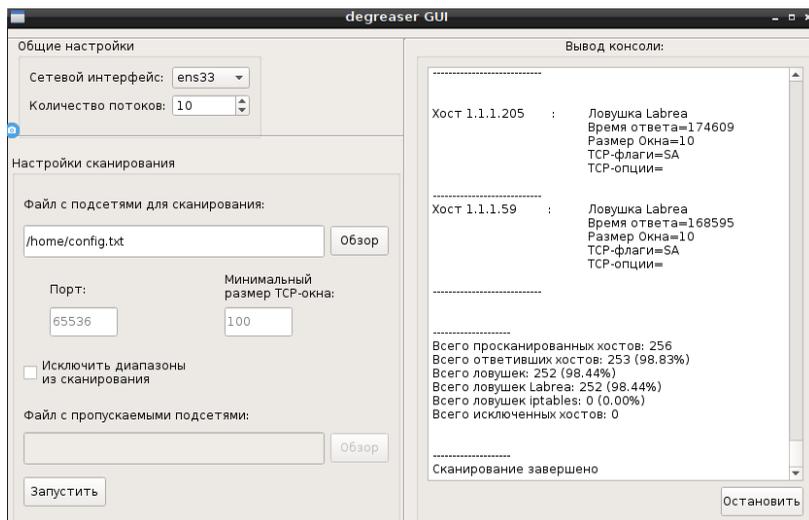


Рисунок 1 – Пользовательский интерфейс ПО *Degreaser*

Разработанное техническое решение позволяет более полно исследовать и тестировать результативность средств проактивной защиты, основное предназначение которых – осуществлять активные воздействия на средства, применяемые злоумышленником в процессе проведения компьютерной атаки с целью получения информации о злоумышленнике, противодействия проводимой компьютерной атаки, а также выведения из строя применяемых злоумышленником средств

Литература

1. Пат. РФ. на изобретение № 2318296. 20.09.2006 г.; опубл. 27.02.2008 г., Бюл. № 6. Способ защиты локальной вычислительной сети при передаче сообщений электронной почты посредством глобальной информационной сети / Р.В. Максимов, М.А. Борисов, Д.А. Кожевников, А.И. Осадчий, А.В. Павловский, Г.Ю. Стародубцев, Ю.К. Худайназаров.

2. Пат. РФ. на изобретение № 2261472. 29.03.2004 г.; опубл. 27.09.2005 г., Бюл. № 27. Способ мониторинга безопасности автоматизированных систем / Р.В. Максимов, А.А. Андриенко, В.А. Иванов, А.Л. Костырев, А.А. Костин.

3. Пат. РФ. на изобретение № 2296362. 20.09.2005; опубл. 27.03.2007, Бюл. № 9. Способ обслуживания разноприоритетных запросов абонентов вычислительной системы / Р.В. Максимов, А.А. Андриенко, В.Э. Гель, Г.С. Колбасова, А.В.Павловский, Г.Ю. Стародубцев, Ю.И. Стародубцев.

4. Пат. РФ. на изобретение № 2307392. 02.05.2006 г.; опубл. 27.09.2007 г., Бюл. № 27. Способ (варианты) защиты вычислительных сетей / Р.В. Максимов, Л.С. Выговский, И.А. Заргаров, Д.А. Кожевников, А.В. Павловский, Ю.И. Стародубцев, Ю.К. Худайназаров, И.А. Юров.

5. Пат. РФ. на изобретение № 2373650. 02.04.2007 г.; опубл. 20.11.2009 г., Бюл. № 32. .Способ контроля состояния многопараметрического объекта / Р.В. Максимов, В.Г. Ерышов, Д.А. Кожевников, И.В. Милая, Ю.И. Стародубцев, Ю.К. Худайназаров.

6. Т. Hunter, Р. Terry. Distributed tarpitting. LISA, vol. 3, 2003. p. 223-226.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО УПРАВЛЕНИЮ ДЕМАСКИРУЮЩИМИ ПРИЗНАКАМИ ВИРТУАЛЬНЫХ ЧАСТНЫХ СЕТЕЙ

И.И. Иванов, Н.Ю. Лыков, С.Р. Шарифуллин (к.т.н., доц.)

Краснодарское высшее военное училище

им. Генерала армии С.М. Штеменко

При разработке технологии маскирования информационных направлений информационных систем (ИС) путем обфускации их функционально-логической структуры (ФЛС), рассмотренной в работе [1], возникает необходимость проверки гипотезы о возможности построения ИС с уменьшенной информативностью демаскирующих признаков. Подтвердить или опровергнуть гипотезу можно натурным

экспериментом. Однако, планирование и проведение натурального эксперимента требует больших материальных и временных затрат. Во-первых, при маскировании информационных направлений для исследования внутренней логики взаимодействия распределенных ИС, объединенных через сети связи общего пользования (ССОП), и измерения количественных и качественных характеристик процесса маскирования необходим доступ к коммуникационному оборудованию операторов связи. Во-вторых, реальные объекты не предназначенных для решения исследовательских задач. Поэтому необходимо провести полунатурные эксперименты, включив в состав модели исследуемой ИС устройства-маскираторы [2, 3, 4, 5, 6], расширяющие пространство демаскирующих признаков. Для проведения полунатурного эксперимента по расширению пространства демаскирующих признаков необходимо использовать имитационное моделирование распределенной ИС в части реализации объединения удаленных сегментов через ССОП. Под ССОП в контексте данной задачи будем понимать сети передачи данных, которые находятся под административным контролем сторонних организаций – операторов связи.

Для реализации данной структуры при проведении моделирования достаточно соединить узлы, отвечающие за маршрутизацию трафика между сегментами ИС, сетевым кабелем с коммутатором (имитация выделенной линии). Однако, такого уровня детализации недостаточно для моделирования расширения пространства демаскирующих признаков, так как в современных компьютерных сетях при объединении удаленных сегментов, как правило, используется более широкий спектр технологий [3, 6], в частности технологии построения виртуальных частных сетей (VPN).

Поэтому для решения поставленной задачи будем использовать ФЛС ИС, которая включает в себя следующие функциональные элементы:

Loopback-интерфейс маршрутизатора *COD-BGW-1* имитирует произвольный узел (сервер) в центре обработки данных (ЦОД) с IP-адресом 103.0.50.1/32, к которому требуется доступ с

автоматизированных рабочих мест (АРМ) пользователей открытого сегмента защищаемой ИС через ССОП;

ЦОД имеет зарегистрированный блок адресов 103.0.0.0/22 и номер автономной системы – AS 64503;

Loopback-интерфейс маршрутизатора *TTK-BGW-1* имитирует маршрутизатор клиента оператора связи «*TTK*», расположенный в автономной системе AS 64501, с *IP*-адресом 101.0.50.1/32;

Оператор связи «*TTK*», имеет зарегистрированный блок адресов 101.0.0.0/20 и номер автономной системы – AS 64501;

Loopback-интерфейс маршрутизатора *GTK-BGW-1* имитирует маршрутизатор клиента оператора связи «*GTK*», расположенный в автономной системе AS 64502, с *IP*-адресом 102.0.50.1/32;

Оператор связи «*GTK*», имеет зарегистрированный блок адресов 102.0.0.0/21 и номер автономной системы – AS 64502;

Сеть доверенного оператора связи «*PTK*» представляет собой совокупность маршрутизаторов *PTK-BGW1*, *PTK-BGW2*, *PTK-GW3*, *PTK-GW4*.

В качестве *IGP*-протокола маршрутизации доверенный оператор связи «*PTK*» использует протокол *OSPF*. Внутренние адреса маршрутизаторов доверенного оператора связи представлены адресами из подсети 10.0.0.0/27;

Оператор связи «*PTK*», имеет зарегистрированный блок адресов 100.0.0.0/20 и номер автономной системы – AS 64500;

Клиенты доверенного оператора связи – ПУ № 1, ПУ № 2, используют следующие блоки адресов 100.0.10.0/24, 100.0.20.0/24 соответственно, выделенные доверенным оператором связи «*PTK*»;

Взаимодействие между закрытыми сегментами ПУ № 1 и ПУ № 2 осуществляется с использованием *MPLS L2VPN* по технологии *VPWS* по схеме, показанной на рис. 4. Псевдокабель настроен между *Loopback*-интерфейсами маршрутизаторов *PTK-GW3* и *PTK-GW4* с адресами 100.0.15.3 и 100.0.15.6 соответственно и номером виртуального канала *VC 9999*.

Для моделирования ССОП, необходимо использовать сетевые операционные системы и, как следствие, средства виртуали-

зации активного сетевого оборудования.

Известны следующие средства виртуализации сетевого оборудования.

GNS3 (Graphical Network Simulator): слабая поддержка протоколов и технологий *L2* делает его применение для этой задачи затруднительным.

IOU (IOS On UNIX): данный продукт официально не распространяется и является собственностью компании *Cisco*.

UnetLab (Unified Networking Lab) является развивающейся платформой виртуализации сетевых устройств, с широкими функциональными возможностями и поддержкой технологий *L2*. Для реализации стенда имитационного моделирования расширения пространства демаскирующих признаков предлагается использование средства виртуализации активного сетевого оборудования *UnetLab*, как наиболее подходящего для решения поставленных задач.

Фоновую нагрузку на ССОП и канал связи между абонентами реализуют формированием маскирующего (фонового) трафика от фоновых приложений абонентов (непреднамеренные помехи).

Решить проблему необходимости проверки выдвигаемых гипотез при разработке технологии маскирования информационных направлений ИС путем обфускации их ФЛС можно путем проведения полунатурных экспериментов по функциональному моделированию исследуемых систем. Предложенная в статье реализация макета позволит дать достоверный результат, кроме того снизит материальные и временные затраты на разработку технологии маскирования.

Литература

1. Давыдов А.Е., Максимов Р.В., Савицкий О.К. Защита и безопасность ведомственных интегрированных инфокоммуникационных систем [Текст] / А.Е. Давыдов, Р.В. Максимов, О.К. Савицкий – М.: ОАО «Воентелеком», 2015. – 520 с.

2. Пат. РФ. на изобретение № 2325694. 02.11.2006 г.; опубл. 27.05.2008 г., Бюл. № 15. Способ защиты вычислитель-

ной сети (варианты) / Р.В. Максимов, Д.А. Кожевников, А.В. Павловский.

3. Пат. РФ. на изобретение № 2331158. 31.01.2007 г.; опубл. 10.08.2008г. , Бюл. № 22.Способ выбора безопасного маршрута в сети связи (варианты) / Р.В. Максимов, Д.А. Кожевников, А.В. Павловский, Д.Ю. Юрьев.

4. Пат. РФ. на изобретение № 2364926. 26.06.2007 г.; опубл. 20.08.2009 г., Бюл. № 23.Способ контроля состояния многопараметрического объекта / Р.В. Максимов, В.А. Липатников, Ю.И. Стародубцев, Хасан Ахмад Али, Ю.К. Худайназаров, Язжи Мухсен.

5. Пат. РФ. на изобретение № 2450338. 13.05.2011 г.; опубл. 10.05.2012 г., Бюл. № 13. Способ сравнительной оценки структур сетей связи / Р.В. Максимов, А.В. Игнатенко, С.Г. Ковалевский, О.В. Озеров, О.П. Тевс, Д.Б. Шляхтенко.

6. Пат. РФ. на изобретение № 2355024. 12.02.2007 г.; опубл. 10.05.2009 г., Бюл. № 13. Способ мониторинга безопасности автоматизированных систем / Р.В. Максимов, А.С. Евстигнеев, К.М. Зорин, М.А. Карпов, А.Л. Костырев, Е.В. Орлов, А.В. Павловский.

СЕКЦИЯ 3.
ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ИННОВАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ И НИР

РАЗРЕШЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУППОВОЙ ВОЗДУШНОЙ
ЦЕЛИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПОСТРОЕНИЯХ БОЕВЫХ
ПОРЯДКОВ И ХАРАКТЕРЕ ПИЛОТИРОВАНИЯ
САМОЛЁТОВ ПРИ ИХ ГРУППОВОМ ПРИМЕНЕНИИ

А.О. Гаврилов*, А.В. Понаморев **

** Военная академия воздушно-космической обороны им. Маршала Советского Союза Г.К. Жукова (г. Тверь, Россия)*

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

В данной статье рассмотрены современные боевые порядки тактической и палубной авиации при выполнении ими различных задач. Рассмотрен характер пилотирования самолетов в группе при выполнении различных задач. Рассмотрена возможность разрешить элементы групповой воздушной цели по скорости на основе применения узкополосного доплеровского фильтра и когерентного накопления отражённых от групповой воздушной цели сигналов.

Ключевые слова: групповая воздушная цель, боевой порядок, разрешение элементов групповой воздушной цели.

Анализ особенностей современных войн и вооружённых конфликтов показал, что основной сферой ведения боевых действий является воздушное пространство и, соответственно, огромную роль играет авиация. Так в ходе операции «Свобода Ирака» (март-апрель 2003 г.) тактическая и палубная авиация составила 84 %, а стратегическая 6 % от всех применённых средств [1].

Ведущая роль в осуществлении быстрых и высокоэффективных действий в конфликтах различной интенсивности отводится тактической и палубной авиации (ТА и ПА). Наиболее важными элементами тактики авиации являются боевые поряд-

ки. Военные специалисты иностранных государств считают, что эффективность боевых действий ТА и ПА при выполнении задач зависит от правильного выбора боевых порядков (строя) групп самолетов – от пар до построения удара.

Под боевым порядком понимается размещение самолетов (групп самолетов) в воздухе для совместного выполнения боевой задачи. При этом должны быть созданы условия для непрерывного управления и взаимодействия с целью достижения наилучших результатов при выполнении боевых задач.

Наименьшей боевой единицей ТА и ПА считается пара. Пара действует в боевом порядке «Фронт», с разными параметрами для разных высот, на малых высотах интервал – 750 м, на средних и больших высотах 1,6-4,5 км.

Основной боевой единицей ТА и ПА считается звено, состоящее из двух пар. При полетах на средних и больших высотах могут применяться боевые порядки «Фингертипс» («Кончики пальцев») или «Эшелон», дистанции между самолетами в этих боевых порядках 150-450 м.

При полетах на малых высотах для ударов по наземным целям основным боевым порядком звена является «Лоу левел эпроуч», дистанции между самолетами в группе 300 м. Оптимальным боевым порядком звена в предвидении встречи с воздушным противником считается «Флюйд фор» («Текущая четверка»), дистанции между самолетами в группе от 300 до 700 м. Кроме указанных, боевые порядки звена могут быть и другими: «клин», «колонна» пар, «фронт» пар, «пеленг» пар.

На маршруте параметры боевых порядков звена могут меняться. Так, в зоне действия РЛС обнаружения и оповещения системы ПВО боевой порядок может быть разомкнутым вплоть до пределов визуальной видимости, что снижает вероятность обнаружения и определения состава группы. Перед входом в зону действия РЛС обеспечивающих действия ЗРВ и ИА, звено перестраивается в плотный боевой порядок «Фингертипс» или «Эшелон», при этом выдерживаются минимально допустимые интервалы и дистанции, что исключает определение количества

самолетов в группе. Перед входом в зону поражения ЗРВ звено еще раз перестраивается.

Исходя из опыта применения ТА и ПА в вооруженных конфликтах, чаще всего при нанесении ударов по наземным объектам использовались боевые порядки «пеленг» для пары и «клин» для звена [2].

Как видно боевые порядки ТА и ПА характеризуются малыми интервалами и дистанциями между самолетами. Разрешающая способность современных и перспективных РЛС не позволяет отдельно наблюдать групповые воздушные цели (ГВЦ) в сомкнутых боевых порядках, то есть характеристики РЛС не соответствуют предъявляемым требованиям по разрешающей способности. В этой связи повышение разрешающей способности является весьма актуальной задачей, решение которой позволит повысить качество радиолокационной информации.

Одним из эффективных путей разрешения ГВЦ, находящихся в главном луче диаграммы направленности антенны РЛС, является использование узкополосных доплеровских фильтров (УДФ) при обработке сигналов в РЛС, построенных по импульсно-доплеровскому методу.

Следует отметить, что при пилотировании самолётов в определенном виде и форме боевого порядка самолетов ТА и ПА имеются соответствующие особенности по выдерживанию заданных его параметров. Поэтому с точки зрения функционального назначения каждого самолёта ТА и ПА при полёте в паре назначаются ведущие и ведомые, а при полете в составе звена из четырех самолётов: ведущий звена, ведомый ведущей пары, ведущий ведомой пары и ведомый ведомой пары. Если при полёте в составе группы лётчик ведущего самолёта решает только задачи собственно пилотирования и управления строем, то лётчик ведомого самолёта дополнительно решает задачу выдерживания заданного боевого порядка и его параметров.

На этапе первичной обработки сигналов в импульсно-доплеровской РЛС разрешение ГВЦ по доплеровской частоте

может быть основано на анализе спектрального доплеровского портрета (СДП) отраженных сигналов на выходе системы УДФ, а на этапе вторичной обработки (сопровождении) – на основе анализа траекторных доплеровских портретов (ТДП), представляющего собой временные зависимости доплеровских частот, обусловленные скоростями сближения каждой воздушной цели из состава группы ТА и ПА наземной РЛС. При этом полоса пропускания УДФ при согласованной обработке сигнала будет определяться шириной спектра отражённого сигнала[3, 4].

Таким образом, теоретически возможно разрешить элементы ГВЦ по скорости на основе применения УДФ и когерентного накопления отражённых от ГВЦ сигналов.

Рассмотрим ситуацию полёта пары боевых самолётов $\mathbf{Ц}_1$ и $\mathbf{Ц}_2$, летящих в плотном боевом порядке типа «пеленг» с одинаковой скоростью $V_{ц}$, с интервалом между ними $\Delta l_{ц}$, и наземная РЛС (примем, что цели двигаются с постоянной скоростью).

Значения доплеровских частот, обусловленные скоростью сближения первой и второй цели с РЛС, будут определяться как

$$f_{д1} = \frac{2}{\lambda} V_{ц} \cos\left(\beta_{ц} - \frac{\Delta\beta}{2}\right), \quad (1)$$

$$f_{д2} = \frac{2}{\lambda} V_{ц} \cos\left(\beta_{ц} + \frac{\Delta\beta}{2}\right). \quad (2)$$

Тогда разность Δf доплеровских частот будет равна

$$\Delta f = f_{д1} - f_{д2} = \frac{2}{\lambda} V_{ц} \left(\cos\left(\beta_{ц} - \frac{\Delta\beta}{2}\right) - \cos\left(\beta_{ц} + \frac{\Delta\beta}{2}\right) \right), \quad (3)$$

откуда при $\Delta\beta = \frac{\Delta l_{ц}}{D}$ намного меньше единицы, следует, что

$$\Delta f = \frac{2\Delta l_{ц}}{\lambda D} V_{ц} \sin(\beta_{ц}) \quad (4)$$

Если в системе спектральной обработки отражённых сигналов имеется УДФ с полосой пропускания Δf_{Φ} , то дальность D , на которой воздушные цели будут разрешаться по скорости (доплеровской частоте) будет определяться как

$$D = \frac{2\Delta l_{ц}}{\lambda \Delta f_{\Phi}} V_{ц} \sin(\beta_{ц}). \quad (5)$$

Из анализа выражения (5) следует, что дальность разрешения воздушных целей по скорости (доплеровской частоте) при принятых условиях существенно зависит от величины полосы Δf_{Φ} УДФ (времени $T_{кн}$ когерентного накопления сигнала, $T_{кн} = 1/\Delta f_{\Phi}$), которая определяется как

$$D\Delta f_{\Phi} = \sqrt{\frac{2a_{рц}}{\lambda}}, \quad (6)$$

где $a_{рц}$ – радиальное ускорение ВЦ.

Так, при стационарном характере полёта, например, с $a_{рц}=0,15g$, величина Δf_{Φ} будет составлять около 10 Гц, что теоретически позволяет разрешить по доплеровской частоте воздушные цели, находящиеся в диаграмме направленности РЛС, на дальностях 300 км и более. Таким образом, теоретически ширина спектра сигнала, отражённого от воздушной цели, при заданной длине волны определяется значениями радиального ускорения воздушной цели [2].

На этапе первичной обработки сигналов в импульсно-доплеровской РЛС разрешение целей по доплеровской частоте может быть основано на анализе спектрального доплеровского портрета (СДП) отраженных сигналов на выходе системы УДФ, а на этапе вторичной обработки (сопровождении) – на основе анализа ТДП, представляющего собой временные зависимости доплеровских частот, обусловленные скоростями сближения каждой ВЦ из состава ГВЦ с наземной ИД РЛС. При этом полоса пропускания Δf_{Φ} УДФ при согласованной обработке сигнала будет определяться шириной спектра отражённого сигнала, т.е. $\Delta f_{\Phi} = \Delta f_{с}$.

Таким образом, теоретически возможно разрешить элементы ГВЦ по скорости на основе применения УДФ и когерентного накопления отражённых от ГВЦ сигналов.

Литература

1. Опыт и уроки боевого применения войск и вооружения ПВО в локальных войнах и вооруженных конфликтах / Ашурбейли, И.Р. Чельцов, Б.Ф. Хюпенен, А.И. Волков, С.А.: Рекламный проспект, 2012. 1 – 201 с.
2. Кунчев, В.С. Сомов, Е.В. Бацылев, В.М. и др. Тактика РТВ ВВС. Основы боевого применения сил и средств воздушно-космического нападения: Метод. указания к практ. и групповым занятиям / Сост. В.С. Кунчев – Красноярск : СФУ, 2011. – 56 с.
3. Справочник по радиолокации / Под ред. М.С. Скольника – Т.3: Радиолокационные устройства и системы / Пер. с англ.; Под ред. К.Н. Трофимова – М.: Сов. радио, 1976.
4. Богданов А.В., Голубенко В.А., Филонов А.А., Черных М. М., Чистилин А.Ю. Применение узкополосной доплеровской фильтрации в многофункциональных радиолокационных комплексах. – Ч.2: Распознавание состояния групповых воздушных целей, летящих в сомкнутых боевых порядках, в импульсно-доплеровских радиолокационных системах // Науч.-метод. матер. под. ред. А.В. Богданова. – Тверь: ВУ ПВО, 2000.

УСТРОЙСТВО МОБИЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ЗРЕНИЯ ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

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

*ФБГОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

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

Устройство относится к средствам индивидуальной защиты при работе с радиоактивными веществами и может быть применено при работе с различными установками, на которых производятся, проходят обслуживание, утилизируются радиоактивные или делящиеся материалы (промышленное, технологическое, медицинское, сельскохозяйственное, контрольно-измерительное, дефектоскопное оборудование) [1].

Изображение экрана проецируют на зеркальную плоскость, обращенную к пользователю, и таким образом получают свободную от электромагнитного излучения оптическую копию изображения экрана. Однако этот способ не предназначен для защиты глаз от гамма-излучения, не обеспечивает физического доступа пользователя к рабочей зоне.

Устройство мобильной защиты органов зрения от ионизирующего излучения представлено на рис. 1, состоит из корпуса 1 и крепления на голове оператора. При этом корпус представляет собой пластмассовые очки с расположенной на лицевой поверхности, напротив глаз, свинцовой защитой от ионизирующего излучения 3, кроме этого в корпусе имеются две смотровые щели в верхней части, закрытые предохранительным стеклом 2 и две пары преломляющих оптических элементов (зеркал или призм) расположенных под углом 45° к линии визирования 4, 5.

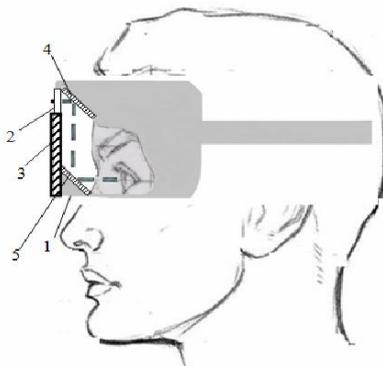


Рисунок 1 – Устройство мобильной защиты органов зрения от ионизирующего излучения

Свинцовая пластина максимально ослабляет гамма-излучения, предохраняя глаза пользователя от ионизации хрусталика глаза. Обзор осуществляется путем прохождения световых лучей через смотровую щель, преломившихся от двух зеркал, и отображает оптическую копию изображения, свободную от ионизирующего излучения [1].

Предлагаемое устройство эксплуатируется во время воздействия радиационного излучения на человека (персонал, пациента и т.д.) [1].

Литература

1. Пат. РФ на изобретение № 2616216. 13.04.2017 г. Очки для защиты от ионизирующего излучения // А.П. Борзунов, В.Г. Самаркин, С.С. Буканов.

2. Пат. РФ на изобретение № 2184994. 17.02.2000 г. Способ защиты пользователя от элетромагнитного излучения экрана компьютера // И.М. Балясный.

РАЗРАБОТКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВЫБОРА ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

А.А. Белов* (магистрант), А.Ю. Ставило** (инженер),
А.В. Самородов* (к.т.н., доц.)

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический
университет» (г. Краснодар, Россия)

**ООО «Отрада» (г. Краснодар, Россия)

Важнейшей частью технологического процесса получения, обработки, отправки и передачи информации оборудования электросвязи является бесперебойное электроснабжение данного оборудования, осуществляемое электропитающими установками (ЭПУ).

Важнейшей частью системы электроснабжения постоянного тока оборудования электросвязи (ОЭС) являются выпрямительные системы (выпрямители).

При строительстве новых систем электропитания или модернизации существующих актуальным является вопрос выбора выпрямительной системы ОЭС.

Для этого авторами разработана следующая последовательность выбора выпрямительной системы для оборудования электросвязи: 1) определение номинального выходного напряжения выпрямителя; 2) определение номинального выходного

тока выпрямителя; 3) определение необходимости одно- или двухлучевого питания оборудования электросвязи от выпрямителей; 4) выбор количества выходных модулей выпрямителя; 5) определение необходимости установки нескольких выпрямителей для объекта; 6) выбор марки выпрямителя; 7) определение необходимости подключения выпрямителя к системе мониторинга.

При проведении расчетов и проектных изысканий в пунктах 2-5 должны учитываться требования Приказа Минкомсвязи № 284 от 06.12.2012 г. [1], а также рост мощности нагрузки выпрямителя объекта с учетом его развития в течение 3-5 лет.

В настоящий момент имеются следующие основные номинальные выходные напряжения выпрямителей для оборудования электросвязи: 24 В, 48 В, 60 В [2, 3]. Из них наиболее распространенным является 48 В. При этом в России оборудование 24 В и 60 В используется все меньше, уступая рынок оборудованию 48 В.

При выборе номинального выходного напряжения выпрямителя необходимо учитывать равенство напряжений выпрямителя, нагрузки и аккумуляторных батарей, подключенных параллельно выходу выпрямителя. Исходя из изложенного, номинальное выходное напряжение выпрямителя определяется номинальным выходным напряжением проектируемой нагрузки.

Номинальный ток выпрямителя определяется в соответствии с разработанным авторами условием:

$$I_{\text{НОМ В}} \geq (I_{\text{ОЭС В}} + I_{\text{АКБ В}}) \cdot K_{\text{РАЗВ ОЭС В}} \cdot K_{\text{ЗАП В}},$$

где $I_{\text{НОМ В}}$ – номинальный выходной ток выпрямителя, А; $I_{\text{ОЭС В}}$ – ток нагрузки выпрямителя, А; $I_{\text{АКБ В}}$ – ток заряда АКБ, подключенной к выпрямителю, А; $K_{\text{РАЗВ ОЭС В}}$ – коэффициент развития нагрузки выпрямителя; $K_{\text{ЗАП В}}$ – коэффициент запаса выпрямителя.

Ток нагрузки выпрямителя ($I_{\text{ОЭС В}}$) определяется как суммарный ток всего оборудования (i), подключенного к данному выпрямителю, за исключением тока заряда АКБ:

$$I_{\text{ОЭС В}} = \sum(I_i).$$

Ток заряда АКБ, подключенной к выпрямителю ($I_{\text{АКБ з}}$), определяется исходя из общей емкости АКБ, емкости АКБ, остаточной емкости АКБ после разряда, времени заряда (например, 5, 10, 20 ч заряда), допустимым током заряда АКБ [4].

Коэффициент развития нагрузки выпрямителя ($K_{\text{РАЗВ ОЭС В}}$) учитывает предполагаемое развитие объекта с соответствующим увеличением тока потребления нагрузки выпрямителя в течение 3-5 лет и выбирается из условия:

$$K_{\text{РАЗВ ОЭС В}} \geq 1,0.$$

Коэффициент запаса выпрямителя ($K_{\text{ЗАП В}}$) учитывает возможные скачки тока нагрузки выпрямителя, вызванные переходными процессами, возможное влияние температуры окружающей среды на объекте, неисправность АКБ, неисправность ОЭС или другого оборудования, подключенного к выпрямителю. В общем случае:

$$1,1 \leq K_{\text{ЗАП В}} \leq 1,2.$$

Таким образом, разработана последовательность выбора выпрямительной системы для оборудования электросвязи и выражение для определения номинального тока выпрямительной системы, позволяющие выбрать выпрямительную систему с учетом развития объекта в течение 3-5 лет и требований Приказа Минкомсвязи № 284 от 06.12.2012 г.

Литература

1. Приказ Минкомсвязи № 284 от 06.12.2012 г. Зарегистрирован в Минюсте России 18.01.2013 г. № 2658. // Законодательная база Российской Федерации [Электрон. ресурс] Портал ZAKONBASE.RU. – Режим доступа: <http://zakonbase.ru/content/base/278521>. (Дата доступа: 01.06.2017).

2. Ротань В.В. Курс на централизацию. Особенности применения выпрямительного оборудования Voight & Haeffner на узлах связи средней и большой мощности // Состояние и перспективы развития энергетики связи. СПРЭС-2006: Матер. VII Всерос. конф. – СПб: ООО «Савож», 2006. – С. 113 – 117.

3. Грабовский А.А. Новое семейство ЭПУ Efore для напряжений 24, 48, 60 В / Состояние и перспективы развития энергетики связи. СПРЭС-2009. Матер. X Всерос. конф. – СПб: ООО НПП «Техника связи», 2009. – С. 81 – 84.

4. Антонов А.М. Системы постоянного тока большой мощности для электропитания АТС производства компании Delta Energy Systems / Состояние и перспективы развития энергетики связи. СПРЭС-2005/ Матер. VI Всерос. конф. – СПб: СПбГУТ, 2005. – С. 32 – 36.

РАСЧЕТ ЕМКОСТИ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ ДЛЯ ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБ- ЖЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

Я.М. Кашин* (к.т.н., доц.), А.А. Белов* (магистрант),
А.Ю. Ставило** (инженер), В.В. Шкода*** (к.п.н., доц.)

***ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)*

***ООО «Отрада» (г. Краснодар, Россия)*

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

Важнейшей частью системы электроснабжения постоянного тока оборудования электросвязи (ОЭС) являются аккумуляторные батареи (АКБ).

При строительстве новых систем электропитания или модернизации существующих актуальным является вопрос расчета емкости аккумуляторной батареи выпрямительной системы ОЭС.

Расчет емкости должен учитывать время автономной работы согласно требований Приказа Минкомсвязи № 284 от 06.12.2012 г. [1], снижение емкости в процессе эксплуатации АКБ, снижение емкости при низких температурах, увеличение мощности нагрузки при развитии объекта в течение 3-5 лет [2, 3].

Учитывая изложенное, авторами разработано следующее выражение расчета емкости аккумуляторной батареи для выпрямительной системы электроснабжения ОЭС:

$$C_{\text{ОЭС В АКБ}} = I_{\text{ОЭС В}} \cdot T_{\text{ОЭС АКБ}} \cdot K_{\text{РАЗВ ОЭС В}} \cdot K_{\text{т АКБ}} \cdot K_{\text{Е АКБ}},$$

где $I_{\text{ОЭС В}}$ – ток нагрузки выпрямителя, А; $T_{\text{ОЭС АКБ}}$ – требуемое время автономной работы ОЭС от АКБ, ч; $K_{\text{РАЗВ ОЭС В}}$ – коэффициент развития нагрузки выпрямителя; $K_{\text{т АКБ}}$ – температурный коэффициент АКБ; $K_{\text{Е АКБ}}$ – емкостный коэффициент АКБ, учитывающей последующее снижение емкости АКБ до предела, после которого АКБ подлежит замене; также данный коэффициент может учитывать то, что обычно АКБ запрещается разряжать до глубокого разряда (не ниже 20 % от номинальной емкости).

Ток нагрузки выпрямителя определяется как суммарный ток всего оборудования (i), подключенного к данному выпрямителю, за исключением тока заряда АКБ:

$$I_{\text{ОЭС В}} = \sum(I_i).$$

Требуемое время автономной работы ОЭС от АКБ определяется согласно [1]:

$$T_{\text{ОЭС АКБ}} \geq 4 \text{ ч.}$$

Коэффициент развития нагрузки выпрямителя ($K_{\text{РАЗВ ОЭС В}}$) учитывает предполагаемое развитие объекта с соответствующим увеличением тока потребления нагрузки выпрямителя в течение 3-5 лет и выбирается из условия:

$$K_{\text{РАЗВ ОЭС В}} \geq 1,0.$$

Известно, что емкость АКБ уменьшается с понижением температуры из-за увеличения вязкости электролита и замедления поступления серной кислоты в поры активной массы [2, 5]. Для нивелирования данного процесса введен температурный коэффициент АКБ [2, 3, 5]. Для различных типов АКБ данный коэффициент разный.

Температурный коэффициент АКБ ($K_{\text{т АКБ}}$) учитывает снижение емкости АКБ при снижении температуры окружающей среды:

$$K_{\text{т АКБ}} = C_{\text{т } 25} / C_{\text{т X}},$$

где $C_{t\ 25}$ – емкость АКБ при температуре 25 °С; $C_{t\ X}$ – емкость АКБ при температуре X °С.

Емкостный коэффициент АКБ ($K_{E\ АКБ}$) с учетом снижения емкости АКБ до 80 %, после которого АКБ подлежит замене, а также запрета глубокого разряда равен:

$$K_{E\ АКБ} = 1,25 + 1/(1-Z_C/100 \%),$$

где Z_C – процент от номинальной емкости АКБ, ниже которого запрещается производить разряд, %.

В общем случае:

$$K_{E\ АКБ} \geq 1,0.$$

Таким образом, разработано выражение расчета емкости АКБ для выпрямительной системы оборудования электросвязи, позволяющее рассчитать емкость АКБ с учетом требований Приказа Минкомсвязи № 284 от 06.12.2012 г., снижения емкости в процессе эксплуатации аккумуляторной батареи, снижения емкости при низких температурах, увеличения мощности нагрузки при развитии объекта в течение 3-5 лет.

Литература

1. Приказ Минкомсвязи № 284 от 06.12.2012 г. Зарегистрирован в Минюсте России 18.01.2013 г. № 2658. / Законодательная база Российской Федерации [Электрон. ресурс]. Портал ZAKONBASE.RU. – Режим доступа: <http://zakonbase.ru/content/base/278521>. (Дата доступа: 01.06.2017).

2. Факторы, влияющие на емкость аккумуляторной батареи / Библиотека статей [Электрон. ресурс]. Портал STUDOPEDIA.RU. – Режим доступа: http://studopedia.ru/13_128230_faktori-vliyayushchie-na-emkost-akkumulyatornoy-batarei.html. (Дата доступа: 01.06.2017).

3. Порядок эксплуатации аккумуляторных батарей / Инструкции [Электрон. ресурс]. Портал «Электроэнергетика» FORCA.RU. – Режим доступа: http://forca.ru/instrukcii-polekspluatacii/podstancii/ekspluataciya-akkumulyatornyh-batarei_8.html. (Дата доступа: 01.06.2017).

4. Ленаин П., Кунц А. Свинцово-кислотные стационарные батареи для применения в области телекоммуникаций: техноло-

гия и условия эксплуатации / Состояние и перспективы развития энергетики связи. СПРЭС-2004: Матер. V Всерос. конф. – СПб: ИА «Энергомашиностроение», 2004. – С. 55-64.

5. Температурный коэффициент для аккумуляторной батареи / Предварительный просмотр статей [Электрон. ресурс]. Портал STUDFILES.RU.– Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/2967125/page:3>. (Дата доступа: 01.06.2017).

РАЗРАБОТКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВЫБОРА ЭЛЕКТРОПИТАЮЩИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

Я.М. Кашин (к.т.н., доц.), А.А. Белов (магистрат),
В.С. Суворов (студент)

**ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)*

Область электрической связи в настоящее время испытывает революционные преобразования, связанные с глобализацией производственных и экономических процессов в мировом сообществе; этому соответствует зарождение и развитие новых технологий: слияние компьютерных и телекоммуникационных систем, внедрение волоконно-оптической техники, развитие цифровых методов и устройств передачи, хранение и обработка информации [1].

Важнейшей частью технологического процесса получения, обработки, отправки и передачи информации оборудования электросвязи (ОЭС) является бесперебойное электроснабжение данного оборудования, осуществляемое электропитающими установками (ЭПУ).

К ЭПУ ОЭС относятся: аккумуляторные батареи (АКБ), выпрямители, источники бесперебойного питания (ИБП) малой мощности (до 5 кВт), промышленные ИБП средней и большой мощности (от 5 кВт и выше), резервные электростанции (дизельные или бензиновые), инверторы и инверторные установки, стабилизаторы напряжения, конверторы напряжения.

При рассмотрении современного положения дел в части электропитания ОЭС выявлена научно-техническая проблема:

отсутствие алгоритма выбора электропитающих установок, обеспечивающих бесперебойное электроснабжение оборудования электросвязи согласно норм Приказа Минкомсвязи № 284 от 06.12.2012 г. [2], а также с учетом развития объекта электросвязи в будущем.

В данной статье названный алгоритм определим в виде следующей последовательности выбора электропитающих установок для ОЭС при строительстве или модернизации объекта:

1) расчет параметров и выбор АКБ для выпрямительной системы;

2) расчет параметров и выбор выпрямительной системы;

3) расчет параметров и выбор инверторной системы;

4) расчет параметров и ИБП;

5) расчет параметров и выбор резервной электростанции.

Каждый из пунктов данной последовательности содержит коэффициенты развития нагрузки выбираемых ЭПУ, а также удовлетворяет требованиям Приказа Минкомсвязи № 284 от 06.12.2012 г. Коэффициенты развития учитывают рост нагрузки каждого из видов ЭПУ в течение 3-5 лет.

Таким образом, разработана последовательность выбора электропитающих установок для оборудования электросвязи, позволяющая произвести расчеты параметров, выбрать тип и марку электропитающих установок при строительстве или модернизации объекта с учетом его развития в течение 3-5 лет и требований Приказа Минкомсвязи № 284 от 06.12.2012 г.

Литература

1. Роль и место телекоммуникаций в современном мире / Факультет Дистанционного Обучения Томского Межвузовского Центра Дистанционного Образования [Электрон. ресурс]. Портал ФДО Томского Межвузовского Центра Дистанционного Образования. – Режим доступа: http://extusur.net/content/2_radiosviaz/1.html. (Дата доступа: 01.06.2017).

2. Приказ Минкомсвязи № 284 от 06.12.2012 г. Зарегистрирован в Минюсте России 18.01.2013 г. № 2658. / Законодательная база Российской Федерации [Электрон. ресурс]. Портал ZAKONBASE.RU. – Режим доступа: <http://zakonbase.ru/content/base/278521>. (Дата доступа: 01.06.2017).

УЛУЧШЕННАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА БУРОВОЙ УСТАНОВКИ

В.Ю. Карандей* (к.т.н., доц.), В.Л. Афанасьев* (аспирант),
Ю.Ю. Карандей**

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический
университет» (г. Краснодар, Россия)

**ПАО «ФСК ЕЭС» (г. Краснодар, Россия)

Система электропривода буровой установки является одной из составных частей рассматриваемого устройства. Система верхнего привода (СВП) является довольно новым типом механизмов буровых установок, обеспечивающим выполнение необходимых технологических операций: вращение бурильной колонны при бурении, свинчивание, докрепление бурильных труб, проведение спускоподъемных операций с бурильными трубами, проработка и расширение ствола скважины.

На данном этапе развития промышленность выпускает однодвигательные системы электропривода буровой установки, в том числе и для систем верхнего привода. Однодвигательные системы для буровых установок обладают рядом недостатков, к которым можно отнести несоответствие максимума мощности СВП скоростным режимам работы, существенное недоиспользование мощности привода, низкий коэффициент использования мощности и др.

Одной из основных проблем является также необходимость применения многоступенчатых механических редукторов в приводе электродвигателей для снижения частоты вращения выходного вала. Это приводит к снижению надежности, усложнению и повышению стоимости конструкции СВП.

Для частичного решения указанных недостатков однодвигательных систем предлагается применение специальных электрических приводов и их компонентов [1-5]. Предлагаемые типы устройств относятся к каскадным электрическим приводам вращательного движения, состоящим из двух электродвигателей с регулируемой частотой вращения от нуля до двойной номинальной при постоянном моменте или приводов с удвоенным моментом при постоянной номинальной скорости вращения, что

позволяет отказаться от использования редукторов. Достоинством предлагаемых типов электроприводов является возможность реверса. Для данных специальных электроприводов предложен подход [6-8] для определения как типовых (рис. 1), так и необходимых по технологическому процессу электромеханических и механических характеристик (рис. 2).

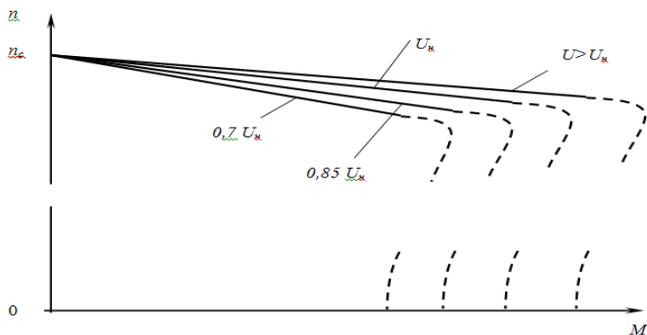


Рисунок 1 – Типовая электромеханическая характеристика

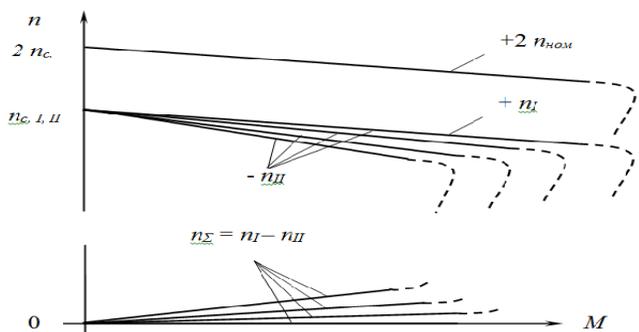


Рисунок 2 – Рабочая электромеханическая характеристика

Литература

1. Пат. РФ на изобретение № 2402857. 27.10.2010 г. Управляемый каскадный электрический привод / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов.
2. Пат. РФ на изобретение № 2461947. 20.09.2012 г. Управляемый каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов.

3. Пат. РФ на изобретение № 2483415. 11.03.2013 г. Аксиальный каскадный электрический привод с жидкостным токо-съемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, О.Б. Попова.

4. Пат. РФ на изобретение № 2370869. 30.06.2008 г. Токо-съемное устройство / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов.

5. Пат. РФ на изобретение № 2601958. 18.10.2016 г. Сигнализированное токо-съемное устройство / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев.

6. Карандей В.Ю. Разработка подхода к расчету магнитного потока одной катушечной группы обмотки статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев, В.В. Квочкин, В.Н. Кишко // Политематический сетевой электронный 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>

7. Карандей В.Ю. Разработка алгоритма расчета электромагнитных параметров статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев, Ф.С. Абанин, В.Н. Кишко, В.В. Квочкин // Политематический сетевой электронный 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>

8. 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 КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – № 06 (120). – IDA [article ID]: 1201606040. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/40.pdf>

ПРОГРАММА РАСЧЕТА МОДЕЛИ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ СТАТОРА КАСКАДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ

В.Л. Афанасьев* (аспирант), В.В. Квочкин* (магистрант),
Ю.Ю. Карандей**

**ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)*

***ПАО «ФСК ЕЭС» (г. Краснодар, Россия)*

Развитие промышленности непосредственно связано с развитием техники. Для роста производительности требуются новые типы электроприводов. Создание же новых типов электроприводов требует создания новых подходов к проектированию, либо модернизацию уже имеющихся.

Основной проблемой проектирования электроприводов цилиндрической конструкции [1] является расчет электромагнитной системы. Перспективным методом проектирования магнитной системы электроприводов является метод конечных элементов, представляющий собой численный метод решения дифференциальных уравнений. Расчеты производятся в специальных дорогостоящих компьютерных программных комплексах, таких как ANSYS. Результат поставленной задачи может быть получен в автоматическом режиме. Недостатком метода является большой объем расчетов, независимо от сложности поставленной задачи.

Альтернативным методом является аналитический метод расчета, основанный на законе Ома и методе наложения для магнитной цепи.

Представленный подход не вносит больших погрешностей, так как искомые параметры можно уточнить методом последовательных приближений. На основе изложенного выше подхода разработаны алгоритмы и блок-схемы управления программами расчёта [2-6]. Разработана программа [7], позволяющая для заданных параметров рассчитать распределение потока обмотки компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода цилиндрической конструкции.

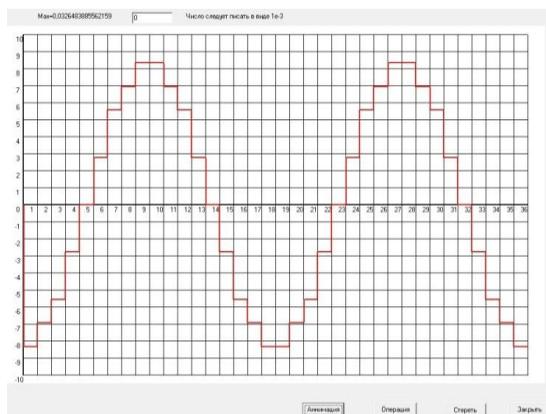


Рисунок 1 – Картина распределения магнитного поля при повороте трехфазной системы на угол $\alpha = 0^\circ$

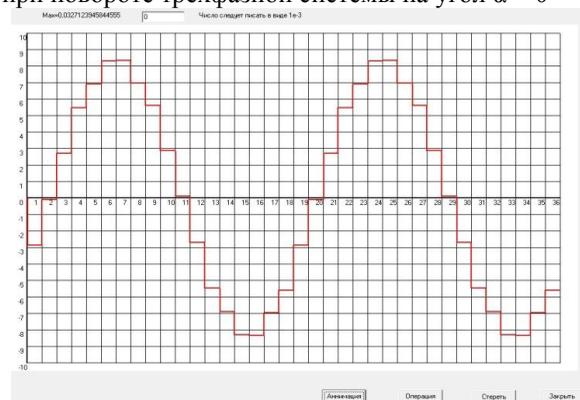


Рисунок 2 – Картина распределения магнитного поля при повороте трехфазной системы на угол $\alpha = 57,6^\circ$

Литература

1. Пат. РФ на изобретение № 2461947. 20.09.2012 г. Управляемый каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов.
2. Карандей В.Ю. Разработка подхода к расчету магнитного потока одной катушечной группы обмотки статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев, В.В. Квочкин,

В.Н. Кишко // Политематический сетевой электронный 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>

3. Карандей В.Ю. Разработка алгоритма расчета электромагнитных параметров статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев, Ф.С. Абанин, В.Н. Кишко, В.В. Квочкин // Политематический сетевой электронный 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>

4. 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 КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №06(120). – IDA [article ID]: 1201606040. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/40.pdf>

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. 2015. Vol: 214. pp. 711-719.

6. Karandei V. Yu. New Methods and Evaluation Criteria of Research Efficiency / Popova, O.B., Popov, B.K., Karandei, V.Yu., Romanov, D.A., Kobzeva, S.A. & Evseeva, M.A. () // Mediterranean journal of social sciences, 2015. Vol 6. No 6 S5. pp. 212-217.

7. Свид. об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2012613331 от 09.04.2012 г. Программа расчета и изменяющего по скорости и времени построения магнитного поля статора асинхронного электропривода / Б.К. Попов, В.Ю. Карандей.

РАСЧЕТ МОДЕЛИ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ СТАТОРА КАСКАДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА АКСИАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

В.Л. Афанасьев (аспирант), В.Ю. Карандей (к.т.н., доц.),
В.Н. Кишко (магистрант)
*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический
университет» (г. Краснодар, Россия)*

По сравнению с повсеместно распространёнными однодвигательными электроприводами системы специальных электрических приводов обладают улучшенными рабочими характеристиками и усовершенствованными характеристиками управления. К таким типам электроприводов относятся аксиальные электрические приводы [1].

В настоящее время большое внимание уделяется каскадным аксиальным электрическим приводам. Например, при создании насосов, компрессоров и других технологических устройств. Такие типы приводов лишены недостатков однодвигательных и имеют ряд преимуществ.

При создании таких устройств большую трудность вызывает расчет электромагнитной системы, а также создание алгоритмов и программ для моделирования таких устройств [2-6].

Представлен пример расчёта модели трёхфазной магнитной системы статора каскадного электрического привода аксиальной конструкции (рис. 1). Каждый участок магнитной цепи представляет собой магнитное сопротивление, определяемое формулой:

$$R_{\mu} = \frac{1}{G_{\mu}} = \frac{1}{\mu_0 \mu S},$$

Определив магнитное сопротивление каждого из участков, определим магнитный поток катушечной группы по формуле:

$$\Phi_{кз} = \frac{Iw}{2 \sum_{i=1}^k R_{\mu}}.$$

Зададим угол поворота $\alpha = 0,7826087^\circ$. Для заданных параметров найдем значения магнитного потока (табл. 1).

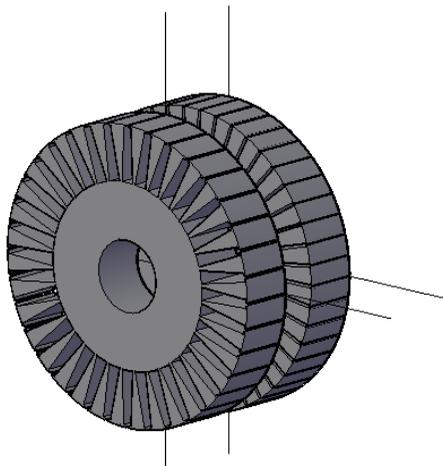


Рисунок 1 – Эскиз модели магнитной системы каскадного электрического привода аксиальной конструкции

Таблица 1 – Магнитный поток от одной катушечной группы

Угол поворота	$\Phi_{кг}[Вб]$	Угол поворота	$\Phi_{кг}[Вб]$
0	$1.039 \cdot 10^{-4}$	6α	$1.02 \cdot 10^{-4}$
1α	$1.043 \cdot 10^{-4}$	7α	$1.025 \cdot 10^{-4}$
2α	$1.028 \cdot 10^{-4}$	8α	$1.044 \cdot 10^{-4}$
3α	$1.04 \cdot 10^{-4}$	9α	$1.029 \cdot 10^{-4}$
4α	$1.033 \cdot 10^{-4}$	10α	$1.039 \cdot 10^{-4}$
5α	$1.031 \cdot 10^{-4}$		

Литература

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

2. Карандей В.Ю. Разработка подхода к расчету магнитного потока одной катушечной группы обмотки статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев, В.В. Квочкин, В.Н. Кишко // Политематический сетевой электронный 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>

3. Карандей В.Ю. Разработка алгоритма расчета электромагнитных параметров статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев, Ф.С. Абанин, В.Н. Кишко, В.В. Квочкин // Политематический сетевой электронный 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>

4. 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 КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – № 06 (120). – IDA [article ID]: 1201606040. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/40.pdf>

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. 2015. Vol: 214. pp. 711-719..

6. Karandei V. Yu. New Methods and Evaluation Criteria of Research Efficiency / Popova, O.B., Popov, B.K., Karandei, V.Yu., Romanov, D.A., Kobzeva, S.A. & Evseeva, M.A. // Mediterranean journal of social sciences, 2015. Vol 6. No 6 S5. pp. 212-217.

РАСЧЕТ МОДЕЛИ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ СТАТОРА КАСКАДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ

В.Ю. Карандей (к.т.н., доц.), В.В. Квочкин (магистрант),
В.Л. Афанасьев (аспирант)
*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический
университет» (г. Краснодар, Россия)*

Большим потенциалом по сравнению с распространенными однодвигательными приводами обладают системы каскадных электрических приводов. Такие типы приводов лишены недостатков однодвигательных и имеют ряд преимуществ.

Проблемой же является создание таких типов приводов. Наибольшую трудность при проектировании представляет собой расчет электромагнитной системы [1-5]. Наиболее предпочтительным методом решения данной задачи является метод с использованием теории магнитных цепей.

Представлен пример расчета трёхфазной магнитной системы статора каскадного электрического привода цилиндрической конструкции [6] на алгоритме одной катушечной группы статора.

Каждый участок магнитной цепи представляет собой магнитное сопротивление, определяемое формулой:

$$R_{\mu} = \frac{1}{G_{\mu}} = \frac{1}{\mu_0 \mu S},$$

Определив магнитное сопротивление каждого из участков, определим магнитный поток катушечной группы по формуле:

$$\Phi_{кз} = \frac{Iw}{2 \sum_{i=1}^k R_{\mu}}.$$

Зададим угол поворота $\alpha = 0,7826087^{\circ}$. Для заданных параметров найдем значения магнитного потока (табл. 1).

Таблица 1

Магнитный поток от одной катушечной группы

Угол поворота	$\Phi_{кг}$ [Вб]	Угол поворота	$\Phi_{кг}$ [Вб]
0	$1.046 \cdot 10^{-4}$	6 α	$1.014 \cdot 10^{-4}$
1 α	$1.041 \cdot 10^{-4}$	7 α	$1.029 \cdot 10^{-4}$
2 α	$1.043 \cdot 10^{-4}$	8 α	$1.036 \cdot 10^{-4}$
3 α	$1.042 \cdot 10^{-4}$	9 α	$1.037 \cdot 10^{-4}$
4 α	$1.035 \cdot 10^{-4}$	10 α	$1.045 \cdot 10^{-4}$
5 α	$1.027 \cdot 10^{-4}$	11 α	$1.041 \cdot 10^{-4}$

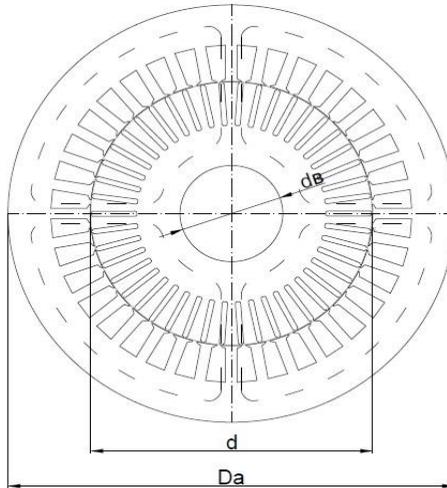


Рисунок 1 – Модель магнитной системы

Литература

1. Карандей В.Ю. Разработка подхода к расчету магнитного потока одной катушечной группы обмотки статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев, В.В. Квочкин, В.Н. Кишко // Политематический сетевой электронный 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>

2. Карандей В.Ю. Разработка алгоритма расчета электромагнитных параметров статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев, Ф.С. Абанин, В.Н. Кишко, В.В. Квочкин // Политематический сетевой электронный 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>

3. 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 КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – № 06 (120). – IDA [article ID]: 1201606040. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/40.pdf>

4. 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. 2015. Vol 214, P. 711-719.

5. Karandei V.Yu. New Methods and Evaluation Criteria of Research Efficiency / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, D.A. Romanov, S.A. Kobzeva, M.A. Evseeva // Mediterranean journal of social sciences. 2015. Vol 6. No 6 S5. P. 212-217.

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

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

Ю.П. Добробаба* (к.т.н., проф.),

Н.Я. Прохоренко* (магистрант), Г.А. Кошкин** (к.т.н.)

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

**ООО «Прогресс» (г. Краснодар, Россия)

В работах [1-4] решена задача оптимального по быстродействию управления малыми перемещениями исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления.

При решении задачи управления малыми перемещениями исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления, использована следующая математическая модель силовой части электропривода [1]:

$$\left. \begin{aligned} U(t) &= C_e \cdot \omega(t) + R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}(t) + L_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}^{(1)}(t); \\ C_m \cdot I_{\text{я}}(t) &= M_{\text{со}} + K_c \cdot \omega(t) + J \cdot \omega^{(1)}(t); \\ \varphi^{(1)}(t) &= \omega(t), \end{aligned} \right\}$$

где U – напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя, В;

$I_{\text{я}}$ – ток якорной цепи электродвигателя, А;

ω – угловая скорость исполнительного органа электропривода, рад/с;

φ – угол поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$M_{\text{со}}$ – постоянный по величине момент сопротивления электропривода, Н · м;

K_c – коэффициент пропорциональности между скоростью и моментом сопротивления электропривода,

- $\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с} / \text{рад}$;
- C_e – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью исполнительного органа электропривода и ЭДС электродвигателя, $\text{В} \cdot \text{с} / \text{рад}$;
- $R_{\text{я}}$ – сопротивление якорной цепи электродвигателя, Ом;
- $L_{\text{я}}$ – индуктивность якорной цепи электродвигателя, Гн
- C_M – коэффициент пропорциональности между током и моментом электродвигателя, $\text{В} \cdot \text{с}$;
- J – момент инерции электропривода, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$

При малых перемещениях исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления используется ограничение по напряжению. Оптимальная по быстродействию диаграмма прималых перемещениях 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 $U_{\text{доп}}$; на втором этапе напряжение равно максимально допустимому значению со знаком «минус» $-U_{\text{доп}}$.

В работе [2] представлена оптимальная по быстродействию первого вида диаграмма при малых перемещениях исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления (характеристическое уравнение системы имеет два отрицательных не равных по величине корня и один нулевой корень). В работе [3] представлена оптимальная по быстродействию второго вида диаграмма при малых перемещениях исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления (характеристическое уравнение системы имеет два отрицательных равных по величине корня и один нулевой корень). В работе [4] представлена оптимальная по быстродействию третьего вида диаграмма при малых перемещениях исполни-

тельного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления (характеристическое уравнение системы имеет пару комплексных корней с отрицательной действительной частью и один нулевой корень).

Область существования приведенных диаграмм от нуля до граничного значения исполнительного органа электропривода. Для каждой диаграммы определены граничные значения. При дальнейшем увеличении задания по перемещению исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления необходимо переходить к диаграмме для небольших перемещений.

Разработаны три вида оптимальных по быстродействию диаграмм при небольших перемещениях исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления.

Оптимальная по быстродействию диаграмма для небольших перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления состоит из четырёх этапов. На первом и четвертом этапах напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя, равно максимально допустимому значению $U_{\text{доп}}$; на втором этапе ток якорной цепи электродвигателя равен максимальному допустимому значению $I_{\text{доп}}$; на третьем этапе напряжение равно максимально допустимому значению со знаком «минус» $-U_{\text{доп}}$. Для четырёх видов оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления разработано математическое обеспечение для определения длительностей этапов перемещений.

Найдены области существования для трёх видов оптимальных по быстродействию диаграмм при небольших перемещениях исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления.

Применение данной диаграммы повысит быстродействие электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления и, как следствие, производительность промышленных механизмов.

Литература

1. Дობробаба Ю.П. Оптимальное по быстродействию управление малыми перемещениями исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления / Ю.П. Дობробаба, Г.А. Кошкин, Н.Я. Прохоренко // Технические и технологические системы: Матер. VIII межд. научн. конф. «ТТС-16» (24-26.11.2016 г/) ФГБОУ ВО «КубГТУ», КВВАУЛ им. А.К. Серова; под общей редакцией Б.Х. Гайтова. – Краснодар: Изд. Дом – Юг, 2016. С. 109-114.

2. Дობробаба Ю.П. Определение параметров оптимальной по быстродействию первого вида диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления [Электронный ресурс] / Ю.П. Дობробаба, Г.А. Кошкин, Н.Я. Прохоренко // Научные труды КубГТУ. – 2016. -№12. – Режим доступа: <http://ntk.kubstu.ru/file/1221>.

3. Дობробаба Ю.П. Определение параметров оптимальной по быстродействию второго вида диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления [Электронный ресурс] / Ю.П. Дობробаба, Г.А. Кошкин, Н.Я. Прохоренко // Научные труды КубГТУ. 2016. №13. Режим доступа: <http://ntk.kubstu.ru/file/1265>.

4. Дობробаба Ю.П. Определение параметров оптимальной по быстродействию третьего вида диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления [Электронный ресурс] / Ю.П. Дობробаба, Г.А. Кошкин, Н.Я. Прохоренко // Научные труды КубГТУ. 2016. №15. Режим доступа: <http://ntk.kubstu.ru/file/1288>.

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА БУРОВОЙ УСТАНОВКИ

В.Ю. Карандей* (к.т.н., доц.), В.Л. Афанасьев* (аспирант),
Ю.Ю. Карандей**

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

**ПАО «ФСК ЕЭС» (г. Краснодар, Россия)

Определение электромагнитных параметров как для существующих, так и для вновь создаваемых является довольно трудной задачей [1-5]. Это связано со сложной геометрией рассматриваемых систем. При этом при вращении ротора происходит постоянное изменение величины магнитных и электрических параметров. Большое значение имеет определение магнитных сопротивлений, которые необходимо определить на различных участках магнитной системы исследуемых устройств [6-10]. Были получены расчетные параметры, позволяющие определить магнитные сопротивления при изменении положения ротора (рис.1, 2).

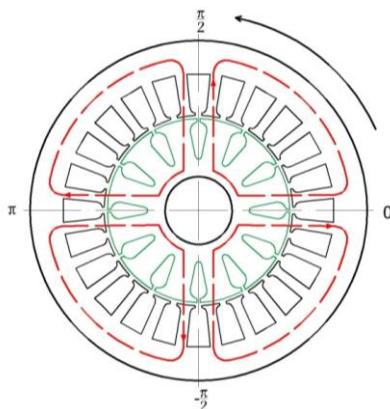


Рисунок1 – Угол поворота ротора 0°

Магнитные сопротивления определяются по зависимости:

$$R_{zi}^{(k)} = \frac{2}{\mu_0} \frac{\delta}{n b_{zp} l_m}, \quad (1)$$

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

Коэффициент n показывает изменение магнитного сопротивления.

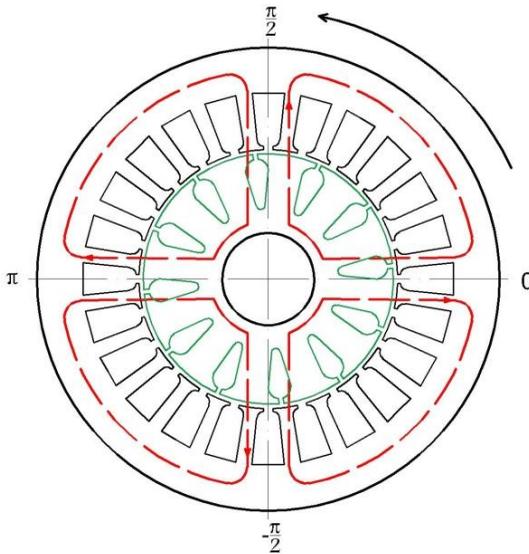


Рисунок 2 – Угол поворота ротора 6°

Ниже представлены значения коэффициента n для каждой катушечной группы при шаге 1,5 градуса. Данный коэффициент позволяет определить значение магнитного сопротивления при изменении положения ротора. Для примера была взята типовая обмотка со следующими параметрами обмотки: $Z=24$; $2p=4$; $q=2$; $y=6$; $a=2$, и компонент электропривода АИР63АУ3.

Таблица 1

Результаты определения коэффициента n

Угол поворота	Номер катушки					
	1	2	3	4	5	6
0	3,5	2,5	3,5	2,5	3,5	2,5
1,5	3,539	2,461	3,538	2,462	3,538	2,461
3	3,539	2,462	3,538	2,462	3,538	2,461
4,5	3,539	2,461	3,538	2,462	3,538	2,461
6	3,538	2,461	3,537	2,462	3,537	2,462
7,5	3,5391	2,4622	3,5389	2,4622	3,538	2,4619
9	3,5391	2,461	3,538	2,4625	3,5385	2,4625
10,5	3,5385	2,4622	3,5385	2,4622	3,538	2,4616
12	3,5385	2,4619	3,538	2,4622	3,538	2,4622
13,5	3,538	2,4622	3,5385	2,4619	3,538	2,461
15	3,500	2,5	3,502	2,5	3,500	2,5
16,5	3,462	2,538	3,4622	2,5383	3,4622	2,538
18	3,462	2,538	3,4625	2,5383	3,1461	2,5383
19,5	3,463	2,5383	3,4622	2,538	3,4616	2,538
21	3,4597	2,5352	3,458	2,5383	3,4633	2,5385
22,5	3,4622	2,5383	3,4622	2,5385	3,4622	2,538
24	3,461	2,535	3,46	2,536	3,462	2,539
25,5	3,463	2,537	3,462	2,538	3,461	2,538
27	3,461	2,535	3,458	2,536	3,462	2,538
28,5	3,449	2,528	3,454	2,532	3,466	2,542
30	3,5	3,15	3,5	2,5	3,5	2,5
31,5	3,539	2,461	3,538	2,462	3,538	2,461
33	3,539	2,462	3,538	2,462	3,538	2,461

Литература

1. Карандей В.Ю. Разработка подхода к расчету магнитного потока одной катушечной группы обмотки статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев, В.В. Квочкин, В.Н. Кишко // Политематический сетевой электронный 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>

2. Карандей В.Ю. Разработка алгоритма расчета электромагнитных параметров статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев, Ф.С. Абанин, В.Н. Кишко, В.В. Квочкин // Политематический сетевой электронный 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>

3. 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 КубГАУ. [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – № 06 (120). – IDA [article ID]: 1201606040. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/40.pdf>

4. 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. 2015. Vol 214, P. 711-719.

5. Karandei V.Yu. New Methods and Evaluation Criteria of Research Efficiency / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, D.A. Romanov, S.A. Kobzeva, M.A. Evseeva // Mediterranean journal of social sciences. 2015. Vol 6. No 6 S5. P. 212-217.

6. Пат. РФ на изобретение № 2402857. 27.10.2010 г. Управляемый каскадный электрический привод / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов.

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

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

9. Пат. РФ на изобретение № 2370869 30.06.2008 г. Токосъемное устройство / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов.

10. Пат. РФ на изобретение № 2601958. 18.10.2016 г. Сигнализирующее токосъемное устройство / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев.

КОНТУР НАВЕДЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С АЛГОРИТМОМ ОПТИМАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Н.Я. Половинчук (к.т.н., доц.), В.В. Животиков, С.В. Иванов
МГТУ ГА Ростовский филиал (г. Ростов-на-Дону, Россия)

Постановка задачи. Совершенствование систем наведения летательных аппаратов (ЛА) связано с повышением характеристик точности. Одним из важных направлений повышения точности является уменьшение влияния случайных факторов (ошибок), воздействующих на систему наведения ЛА [1, 2]. Для решения задачи повышения точности будем использовать обработку навигационных измерений на основе методов оптимального оценивания. Для этого воспользуемся известным алгоритмом обобщенного фильтра Калмана [3]. Обозначив управления $U=U(t)=P(t)$, как известную функцию времени, и применяя обозначения матриц Якоби, запишем:

$$\hat{\dot{x}}_p = f(\hat{x}_p, U, t) + P \left(\frac{\partial h}{\partial \hat{x}_p} \right)^T R^{-1} [Z - h(\hat{x}_p, t)] \quad (1)$$

$$\dot{P} = \frac{\partial f}{\partial \hat{x}_p} P + P \left(\frac{\partial f}{\partial x_p} \right)^T - P \frac{\partial h^T}{\partial \hat{x}_p} R^{-1} \frac{\partial h}{\partial \hat{x}_p} P + Q, \quad (2)$$

где: $\hat{\mathbf{x}}$ – оценка (МО) параметров движения ЛА; P – ковариационная матрица ошибок оценивания (дисперсии); R – матрица интенсивностей шумов измерений; Q – матрица интенсивностей случайных факторов, влияющих на ЛА.

Структурная схема основного модуля (1) обобщенного фильтра Калмана-Бьюси (ФКБ) вместе со структурой оцениваемого процесса представлена на рис. 1. Эта модель охвачена многомерной обратной связью по вектору измерений $Z = h(\hat{\mathbf{x}}, t)$ и этот вектор прежде всего умножается на обратную матрицу интенсивностей шумов измерений R^{-1} . Если полагать, что кана-

лы измерений системы навигации ЛА независимы, то и компоненты вектора шумов $\xi_A(t)$ независимы и матрицы R и R^{-1} – диагональные. При этом компоненты вектора невязки измерений в контуре обратной связи умножаются на коэффициенты, обратно пропорциональные интенсивности соответствующих шумов измерения. За счет этого сигнал точного (с меньшим шумом) акселерометра входит с большим весом, а сигнал «грубого» акселерометра (с интенсивным флуктуационным шумом) – с малым «весом».

Далее следует умножение «взвешенного» векторного сигнала невязки на $(\partial h / \partial \hat{x})^T$. Это соответствует учету чувствительности векторной функции наблюдения к приращениям аргумента, причем производные вычисляются на оцененном движении $\hat{x}(t)$. После этого следует умножение на матрицу P , приближенно равную ковариационной матрице ошибок оценивания, после чего контур обратной связи по вектору невязки замыкается перед многомерным интегрирующим звеном (рис. 1).

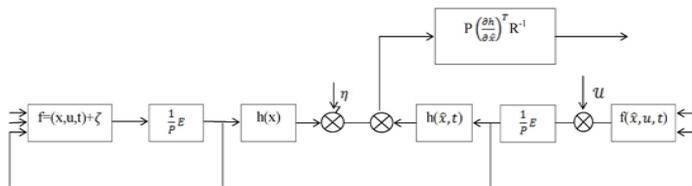


Рисунок 1 – Структурная схема обработки навигационной информации

Матрица P определяется ковариационным уравнением (2), которое связано с основным алгоритмическим модулем только через матрицы Якоби $\partial f / \partial \hat{x}$, $\partial h / \partial \hat{x}$.

Решение ковариационного уравнения (2) для нелинейных процессов лишь приближенно равно ковариационной матрице ошибок оценивания. Это следует как из приближенности (субоптимальности) алгоритма (1) и (2) в целом, так и из стохастичности уравнений (2).

Если дисперсии ошибок оценивания велики, то имеет место «глубокая» отрицательная обратная связь в основном моду-

ле фильтра (рис. 1). Процесс «списания» или ликвидации ошибок оценивания при этом идет интенсивно. При уменьшении дисперсий «глубина» обратной связи уменьшается, а при $P \rightarrow 0$ процесс оценивания выключается.

Синтез системы наведения ЛА с обобщенным фильтром Калмана-Бьюси и алгоритмом, прогнозирующим модели. Для синтеза управления ЛА воспользуемся одним из беспорисковых алгоритмов адаптивных систем автоматического управления (основанных на теории оценивания) первого порядка. Наиболее общим в данном случае является алгоритм одновременного оценивания и идентификации в виде обобщенного фильтра Калмана-Бьюси [8]. Для управляемого процесса, описываемого в расширенном пространстве состояний (3) этот субоптимальный алгоритм в непрерывной форме имеет вид (2).

Модель свободного прогнозируемого движения, соответствующая (4.3), имеет вид:

$$\dot{x}_p^M = f(x_p^M, \tau) \quad (4)$$

Пусть общее решение уравнений (4.4) на цикле прогнозирования для $0 \leq t$ при начальных условиях:

$$x^M(t) = \hat{x}(t) \quad (5)$$

$$\text{Обозначено через } X_p[x_p^M(t), t, 0] = X_p[\hat{x}_p(t), t, 0].$$

В качестве условия оптимизации выберем условие минимума энергетических затрат. В этом случае оптимизируемый функционал будет иметь вид:

$$J_k = V_3(x, t_k) + \int_{t_0}^{t_k} \mathcal{V}^I(\tau) K_0 \mathcal{V}(\tau) d\tau \quad (6)$$

где: K_0 – известная t_0 симметричная матрица коэффициентов, V_3 – заданная область существования параметров состояния ЛА в конечный момент времени.

Однако трудности решения задачи оптимизации управления ЛА как нелинейным многомерным динамическим объектом путем минимизации классического функционала (6) требует использования функционала нового типа – функционала обобщенной работы. Хотя функционалы обобщенной работы являются

полуопределенными, они играют фундаментальную роль в решении основной проблемы оптимизации управления, «в большом» в реальном масштабе времени.

Полуопределенность функционала заключается в том, что он содержит неизвестное до выполнения синтеза оптимального управления $V_{оп}$. Это управление процессом типа (9), доставляющее минимум рассматриваемому функционалу

$$\dot{x}_p = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{u} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = f(x_p, U, t) + f_0(x_p)W_t =$$

$$= \left[\begin{array}{c} \frac{-\rho S |V_{\delta}|^2}{2m|V|} \begin{vmatrix} C_{x0} V_x + C'_{y0} V_g \left(V - \arccos \left(\frac{V_x}{|V|} \right) \right) \\ C_{x0} V_y - C'_{y0} \left(V - \arccos \left(\frac{V_x}{|V|} \right) \right) V_x \\ -C_{x0} V_z + C'_{y0} \left(\psi - \arcsin \left(\frac{V_z}{|V|} \right) \right) \end{vmatrix} - \frac{\mu}{r^3} \begin{vmatrix} x \\ y + R \\ Z \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \cos V \\ \sin y \\ -\psi \end{vmatrix} P \\ \hline \beta_1 \\ \hline \beta_2 \end{array} \right] +$$

$$+ \left[\begin{array}{c} \begin{vmatrix} V_x & V_g \left(V - \arccos \left(\frac{V_x}{|V|} \right) \right) \\ V_g & -V_x \left(V - \arccos \left(\frac{V_x}{|V|} \right) \right) \\ -V_z & \left(\psi - \arcsin \left(\frac{V_z}{|V|} \right) \right) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \\ \\ \\ \end{vmatrix} 0 \\ \hline I_2 \end{array} \right]$$

(3)

Тогда функционал обобщенной работы с аддитивными квадратичными функциями затрат на управление имеет вид:

$$J = V_3(x, t_u) + \int_{t_0}^{t_k} v^T(\tau) K v(\tau) + v_{оп}^T(\tau) K v_{оп}(\tau) d\tau$$

$$\frac{d}{dv_{оп}} [v_{оп}^T K_o v_{оп}] = - \frac{\partial}{\partial x} \{V_3[x_p]\} \quad (7)$$

или:

$$2U_{оп}^T K_o \frac{\partial v_{оп}}{\partial U_{оп}} - \frac{\partial V_3}{\partial x}$$

$$2U_{оп}^T K_o I = - \frac{\partial V_3}{\partial x} \quad (8)$$

$$K_{оп}^T = - \frac{1}{2} \frac{\partial V_3}{\partial x} K_o^{-1} I^T \quad (9)$$

где: I – единичный вектор

Структура алгоритмического обеспечения показана на рис. 2.

В общем виде структура адаптивного к влиянию возмущающих факторов метода управления движением ЛА с прогнозом параметров в конечный момент времени должна основываться на следующем.

Управляемый процесс наблюдается посредством акселерометров инерциальной системы управления ЛА. Вектор сигналов наблюдения поступает в систему (модуль) оптимального (субоптимального) оценивания [10]. На выходе этой системы формируется оценка \hat{x} вектора состояния принятой достаточно полной математической модели управляемого движения ЛА в атмосфере (9).

Система (модуль) оптимального управления на основе указанной модели управляемого процесса, текущей оценки вектора состояния и критерия оптимизации (целевой функции) (7) формирует оптимальное управление (9). Это управление воздействует на управляемый процесс и используется в модуле оценивания.

Представленные алгоритмы реализуются бортовой ЦВМ. Построение дискретных аналогов алгоритмов может осуществляться посредством методов численного интегрирования диф-

дифференциальных уравнений или использование алгоритмов с дискретным временем для исходных разностных схем модели управляемого процесса.



Рисунок 2 – Структура алгоритмического обеспечения

Для оценки эффективности спроектированной системы наведения, реализующей адаптивной к влиянию возмущающих факторов метод управления движением ЛА с прогнозом пара-

метров в конечный момент времени, выполнено численное моделирование. Система управлений, представленная выражениями (1 и 2), является системой обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений.

Аналитическое решение такой системы в общем случае не может быть найдено. Поэтому единственным путем, обеспечивающим нахождение решения системы, является применение численных методов решения задачи Коши [4, 6].

Требуется найти функцию $\hat{x}(t)$, удовлетворяющую как указанным уравнениям, так и начальным условиям. Обычно численное решение этой задачи получают, вычисляя сначала значение производной, а затем, задавая малое приращение $\hat{x}(t)$ и переходя к новой точке, определяется по наклону кривой, вычисленному с помощью дифференциального уравнения. График численного решения представляет собой последовательность коротких прямолинейных отрезков, которыми аппроксимируется истинная кривая $\bar{x}(t)$. Сам численный метод определяет порядок действий при переходе от данной точки кривой к следующей, т.е. интегрируя каждое из уравнений, мы можем получить графики изменения векторов скорости и состояния – траекторию полета ЛА.

Для этого воспользуемся методом Рунге-Кутты, в котором для нахождения следующей точки на кривой $\bar{x}(t)$ требуется информация лишь об одном предыдущем шаге [5]. Метод Рунге-Кутты дает набор формул для расчета координат внутренних точек, требуемых для реализации этого подхода. Так как существует несколько способов расположения внутренних точек и выбора относительных значений для найденных производных, то метод Рунге-Кутты в сущности объединяет семейство методов решения дифференциальных уравнений 1-го порядка. Наиболее распространенным из них является метод, при котором удерживаются все члены, включая v^4 . Это метод 4-го порядка точности, для которого ошибка на шаге имеет порядок v^5 .

Расчет производится по формулам:

$$\bar{\hat{x}}_{k1} = \bar{\hat{x}}_k + \frac{K_0 + 2K_1 + 2K_2 + 2K_3}{6},$$

где $K_0 = hf(\hat{x}_k(t), t_k)$;

$$K_1 = hf\left(\hat{x}(t_k) + \frac{1}{2}h; t_k + \frac{1}{2}K_0\right);$$

$$K_2 = hf\left(\hat{x}(t_k) + \frac{1}{2}h; t_k + \frac{1}{2}K_1\right);$$

$$K_3 = hf(\hat{x}(t_k) + h; t_k + K_2).$$

Каждое дифференциальное уравнение (2) представляет задачу Коши, поэтому решая их с помощью представленных формул, подставляя управление (9), получим значения $\hat{x}(t)$ в любой момент времени, считая, что в начальный момент $t=0$. Т.е. на каждом шаге интегрирования получим значения параметров, характеризующих вектор скорости, и вектор, состоящий в каждой точке траектории.

В качестве условия окончания решения уравнений принято условие посадки ЛА на Землю, т.е. когда $R=R_3$.

Алгоритм решения задачи реализуется программой NAV-LA Ø1 (программа составлена для решения на ЭВМ IBMPC/AT – 486, используется язык PASCAL-6-0) [10].

Заданы начальные условия характеризующие:

1. Плотные слои атмосферы – глобальную модель вариаций плотности атмосферы для октября, географической широты 60° и модель зональной и меридиональной компонент скорости ветра также для октября и широты 60° [7].

2. Характеристики ЛА – коэффициенты C_x, C_y^2 .

3. Модель гравитационного поля Земли, угловая скорость вращения Земли ω_3 и радиус Земли R_3 .

4. Вектор оценок состояния в начальный момент времени $\hat{x}(0) = \{6500; 3200; 100; 1,6 \cdot 10^4, 9,6 \cdot 10^4, 5,1 \cdot 10^3\}^T$.

5. Матрица P(0)

$$P(0) = \begin{bmatrix} 4 \cdot 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 \cdot 10^3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 400 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 9,7 \cdot 10^{-12} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9,7 \cdot 10^{-1} \end{bmatrix}$$

Заданы конечные условия: $X_3(t_k) = [300, 300, 1,7 \cdot 10^5, 6,3 \cdot 10^3, 2,2 \cdot 10^4]^T$. Матрица K_0 – единичная 3×3 .

После ввода исходных данных организуется цикл, логическим условием выхода из которого является равенство $R=R_3$. В тело цикла включены программа вычисления правых частей дифференциальных уравнений (подпрограмма RIP6) и подпрограмма интегрирования данных дифференциальных уравнений (INT6), в результате выполнения которой получают следующую точку траектории. Пока выражение в заголовке цикла истинно, цикл повторяется. Уравнение (6) определяется в RIP6. Как только выражение станет ложным, управление будет передано оператору печати значений оценок вектора состояния $\bar{X}(t_k)$ в момент посадки ЛА на Землю [9].

Структурная схема системы наведения, реализующая адаптивный к влиянию возмущающих факторов метод управления движением ЛА с прогнозом параметров в конечный момент времени, представлена на рис. 3. Полученные данные при моделировании численные результаты представлены на рис.4.

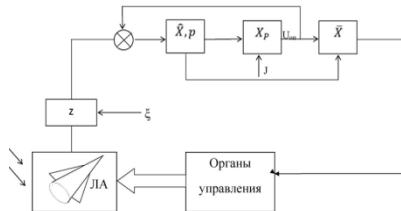


Рисунок 3 – Контур наведения ЛА с алгоритмом оценивания навигационной информации

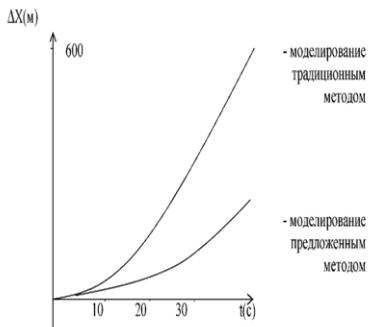


Рисунок 4 – Отклонения от эталонной траектории при моделировании традиционным и предложенным методами.

В результате проведенных исследований установлено, что разработанный адаптивный к влиянию возмущающих факторов управления движением ЛА с прогнозом параметров в конечный момент времени метод является более точным, чем традиционные [11]. Данный метод управления дает повышение на 20% точности приземления ЛА по координатам и скоростям.

Алгоритмическая реализация предложенного способа не вызывает существенного повышения требований к вычислительным характеристикам современных бортовых ЭВМ.

Литература

1. Андреевский В.В. Динамика спуска в атмосфере. – М.: Машиностроение, 1970.
2. Боднер В.А., Роднищев Н.Е., Юриков Е.П. Оптимизация терминальных стохастических систем. – М.: Машиностроение, 1987.
3. Брайсон А., Хо Ю Ши. Прикладная теория оптимального управления. М.: Мир, 1972.
4. Буков В.Н. Адаптивные прогнозирующие системы управления полетом. – М.: Наука, 1987.
5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. – М.: Наука, 1973.

6. Красовский А.А., Буков В.Н., Шендрик В.С. Универсальные алгоритмы оптимального управления непрерывными процессами. – М.: Наука, 1977.

7. Рамазов А.А., Сихарулидзе Ю.Г. Глобальная модель вариаций плотности атмосферы Земли на высотах 0-150 км. Космические исследования. – 1980. Т.18 №4.

8. Браммер К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана – Бьюси. – М.: Наука, 1982.

9. Половинчук Н.Я., Щербань И.В. Методы и алгоритмы терминального управления движением летательных аппаратов. Монография. МО РФ, 2004.

10. Половинчук Н.Я., Ардашов А.А. Проектирование систем управления баллистических летательных аппаратов. – МО РФ, РВИ РВ, 2010.

СИНТЕЗ АСТАТИЧЕСКОЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Ю.П. Добробаба* (к.т.н., проф.),

Н.Я. Прохоренко* (магистрант), Г.А. Кошкин** (к.т.н.)

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

**ООО «Прогресс» (г. Краснодар, Россия)

В монографии [1] представлена система автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода постоянного тока с улучшенными характеристиками, обеспечивающая астатизм первого порядка.

В данной работе синтезирована система автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода постоянного тока с улучшенными характеристиками, обеспечивающая астатизм второго порядка. Система состоит из трёх контуров: тока, скорости и положения.

Для компенсации влияния отрицательной внутренней обратной связи по ЭДС двигателя используется компенсирующее устройство с передаточной функцией

$$W_{\text{кв}}(p) = \frac{C_e}{\beta_{\text{рт}}} \cdot \frac{\tau_{\text{рт}} p}{\tau_{\text{рт}} p + 1} \cdot \frac{1}{K_{\text{ин}}},$$

где C_e – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью исполнительного органа электропривода и ЭДС электродвигателя, В·с/рад; $\beta_{\text{рт}}$ – динамический коэффициент регулятора тока; $\tau_{\text{рт}}$ – постоянная времени регулятора тока, с; $K_{\text{ин}}$ – коэффициент усиления импульсного преобразователя.

Контур тока содержит регулятор тока с передаточной функцией

$$W_{\text{рт}}(p) = \beta_{\text{рт}} \cdot \frac{\tau_{\text{рт}} p + 1}{\tau_{\text{рт}} p}.$$

Если выбрать параметры регулятора тока равными:

$$\beta_{\text{рт}} = \frac{L_{\text{я}}}{K_{\text{ин}} K_{\text{от}} T_{\mu}}; \quad \tau_{\text{рт}} = \frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}},$$

то передаточная функция контура тока по каналу «задающее напряжение контура тока – ток якорной цепи электродвигателя» имеет вид передаточной функции первого порядка с постоянной времени T_{μ}

$$\frac{I_{\text{я}}(p)}{U_{\text{зт}}(p)} = \frac{1}{K_{\text{от}}} \cdot \frac{1}{\tau_{\mu} p + 1},$$

где $L_{\text{я}}$ – индуктивность якорной цепи электродвигателя, Гн; $K_{\text{от}}$ – коэффициент обратной связи по току, Ом; T_{μ} – некомпенсированная постоянная времени, с; $R_{\text{я}}$ – сопротивление якорной цепи электродвигателя, Ом.

Контур скорости содержит регулятор скорости и фильтр контура скорости с передаточными функциями:

$$W_{\text{pc}}(p) = \beta_{\text{pc}} \cdot \frac{\tau_{\text{pc}} p + 1}{\tau_{\text{pc}} p} \cdot \frac{T_{\text{pc}} p + 1}{T_c p}; \quad W_{\text{фкс}}(p) = \frac{\tau_c p + 1}{\tau_{\text{pc}} p + 1},$$

где β_{pc} – динамический коэффициент регулятора скорости;
 $\tau_{\text{pc}}; T_{\text{pc}}; T_c$ – постоянные времени регулятора скорости, с; T_{μ} – постоянная времени фильтра контура скорости, с.

Если выбрать параметры регулятора скорости и фильтра контура скорости равными:

$$\beta_{\text{pc}} = 8 \cdot \frac{K_{\text{от}} J}{K_{\text{ос}} C_M T_{\mu}}; \quad \tau_{\text{pc}} = T_{\mu}; \quad T_{\text{pc}} = T_{\mu};$$

$$T_c = \frac{1}{16} T_{\mu}; \quad \tau_c = \frac{\sqrt{3}}{2} T_{\mu},$$

то передаточные функции контура скорости по каналам «задающее напряжение контура скорости – угловая скорость исполнительного органа электропривода» и «момент сопротивления электропривода – угловая скорость исполнительного органа электропривода» принимают вид:

$$\frac{\omega(p)}{U_{\text{зс}}(p)} = \frac{1}{K_{\text{ос}}} \cdot \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} T_{\mu} p + 1}{\frac{1}{128} T_{\mu}^3 p^3 + \frac{1}{8} T_{\mu}^2 p^2 + T_{\mu} p + 1};$$

$$\frac{\omega(p)}{M_{\text{со}}(p)} = -\frac{1}{8} \cdot \frac{T_{\mu}}{J} \cdot \frac{\frac{1}{16} T_{\mu}^2 p^2 + T_{\mu} p}{\frac{1}{128} T_{\mu}^3 p^3 + \frac{1}{8} T_{\mu}^2 p^2 + T_{\mu} p + 1},$$

где J – момент инерции электропривода, кг·м²; $K_{\text{ос}}$ – коэффициент обратной связи по скорости, В·с/рад; C_M – коэффициент пропорциональности между током и моментом электродвигателя, В·с.

Передаточная функция контура скорости по каналу «задающее напряжение контура скорости – угловая скорость исполнительного органа электропривода» соответствует универ-

сальной эталонной передаточной функции третьего порядка, имеющей в числителе полином первой степени, с постоянной времени T_μ .

Контур положения содержит регулятор положения и фильтр контура положения с передаточными функциями:

$$W_{\text{рп}}(p) = \beta_{\text{рп}} \cdot \frac{T_{\text{рп}}^2 p^2 + \tau_{\text{рп}} p + 1}{\tau_{\text{рп}} p \cdot (\tau_c p + 1)}; W_{\text{фкп}}(p) = \frac{1}{T_{\text{рп}}^2 p^2 + \tau_{\text{рп}} p + 1},$$

где $\beta_{\text{рп}}$ – динамический коэффициент регулятора положения; $T_{\text{рп}}; \tau_{\text{рп}}$ – постоянные времени регулятора положения, с.

Если выбрать параметры регулятора положения и фильтра контура положения равными:

$$\beta_{\text{рп}} = 8 \cdot \frac{K_{\text{ос}}}{K_{\text{оп}} T_\mu}; \quad \tau_{\text{рп}} = T_\mu; \quad T_{\text{рп}}^2 = \frac{3}{8} T_\mu^2,$$

то передаточные функции контура положения по каналам «задающее напряжение контура положения–угол поворота исполнительного органа электропривода» и «момент сопротивления электропривода–угол поворота исполнительного органа электропривода» принимают вид:

$$\begin{aligned} \frac{\varphi(p)}{U_{\text{зп}}(p)} &= \frac{1}{K_{\text{оп}}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{1024} T_\mu^5 p^5 + \frac{1}{64} T_\mu^4 p^4 + \frac{1}{8} T_\mu^3 p^3 +} \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{1}{\frac{1}{2} T_\mu^2 p^2 + T_\mu p + 1}; \\ \frac{\varphi(p)}{M_{\text{со}}(p)} &= -\frac{1}{32} \cdot \frac{T_\mu^2}{J} \cdot \frac{\frac{1}{32} T_\mu^3 p^3 + \frac{1}{2} T_\mu^2 p^2}{\frac{1}{1024} T_\mu^5 p^5 + \frac{1}{64} T_\mu^4 p^4 + \frac{1}{8} T_\mu^3 p^3 +} \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{1}{\frac{1}{2} T_\mu^2 p^2 + T_\mu p + 1} \end{aligned}$$

где $K_{\text{оп}}$ – коэффициент обратной связи по скорости, $\frac{\text{В}}{\text{рад}}$.

Передаточная функция контура положения по каналу «задающее напряжение контура положения–угол поворота исполнительного органа электропривода» имеет вид передаточной функции пятого порядка с постоянной времени T_{μ} .

Литература

1. Дობробаба Ю.П. Особо точный позиционный электропривод постоянного тока: Монография / Ю.П. Дობробаба, А.Л. Хорцев. – Краснодар: ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2014. – 104 с.

РОЛЬ ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

С.В. Ляхненко

*Краснодарское высшее военное училище
им. Генерала армии С.М. Штеменко (г. Краснодар, Россия)*

Стремительное развитие информационных технологий сказывается на всех областях жизни современного государства, включая его экономику, структуру власти, науку и образование.

Модернизация образования требует перестройки многих сфер деятельности, в том числе деятельности библиотек и прежде всего вузовских. Библиотека должна обеспечивать обслуживание студентов и преподавателей традиционными и электронными документами, но при этом предложить комплекс новых услуг, поддерживающих технологии электронного обучения.

Соответственно, появились электронные библиотеки - крупные виртуальные коллекции документов в электронной форме, доступные широкой публике через глобальные сети передачи данных.

К традиционным для библиотек функциям просветительского характера, сохранения и приумножения культурного наследия общества добавилась функция информационного центра, предоставляющего доступ к национальным и мировым информационным ресурсам, а также функция посредника между пользователем и миром информации в целом, между реальным и виртуальным знанием.

Роль электронных библиотек в условиях информационного общества трудно переоценить. Благодаря им повышается уровень и оперативность обеспечения пользователей документами, создается депозитарный фонд электронных копий печатных оригиналов.

Современное учебное заведение предлагает интенсивное использование высокотехнологичных средств работы с образовательными ресурсами различных типов. В этой связи электронная библиотека как информационная система традиционно выполняет две базисные задачи. Это поиск информации в документных базах данных, включая библиотечные фонды, и доступ к полнотекстовым электронным документам. Первая задача ориентирована на предоставление информации о наличии тех или иных изданий. Вторая обеспечивает быструю и эффективную доставку необходимых документов для использования.

В понятие «электронная библиотека» входит весь комплекс технических, программных и информационных средств, обеспечивающих набор услуг, необходимых для поддержки научного и учебного процесса на базе современных компьютерных технологий. Таким образом, электронная библиотека – это не просто набор коллекций полнотекстовых электронных документов, но и автоматизированная информационная система, которая должна быть реализована в каждом современном образовательном учреждении, и включать в себя:

- информационные ресурсы, созданные участниками образовательного процесса непосредственно в ходе образовательной деятельности;

- структурированные ссылки на внешние информационные образовательные ресурсы (федеральные образовательные порталы, коллекции цифровых образовательных ресурсов и т.п.), востребованные в ходе образовательного процесса, который поддерживает информационная среда;

- учебные информационные ресурсы, наполняющие обучающий блок электронной библиотеки (мультимедийные тренажеры и учебные пособия, практикумы, дидактические материалы, материалы курсов повышения квалификации);

- контролирующие информационные ресурсы (тесты, контрольные задания по предметным областям).

Кроме того, согласно ГОСТ Р 7.0.96 – 2016 электронные библиотеки формируются из документов, обязательно снабженных метаданными и метаописаниями, при отсутствии которых документ теряется в огромном море информации. На основе метапараметров информационных ресурсов организуется их эффективный поиск, ориентированный на отбор релевантной информации.

Электронная библиотека вуза – основа интегрированной технологической системы доступа к электронным образовательным ресурсам. Ее задача – сокращение времени поиска необходимых материалов и общих затрат на их получение, т.е. обеспечение оперативного информационного и библиотечного обслуживания.

Создание электронной библиотеки позволяет студентам, аспирантам, профессорско-преподавательскому составу учебного заведения получать унифицированный доступ к комплексу электронных информационных ресурсов (локальных и удаленных) для учебной деятельности и научных разработок. При этом решаются следующие задачи:

- достигается качественно новый уровень информационного обеспечения науки и учебного процесса;
- всем категориям пользователей предоставляется оперативный удобный доступ к значимым информационным массивам;
- снижаются затраты на приобретение печатной продукции за счет предоставления множественного доступа к документу;
- повышается эффективность использования информационных ресурсов за счет снижения времени поиска информации;
- благодаря возможности генерировать необходимое количество электронных учебных и учебно-методических изданий обеспечиваются потребности учебного процесса университета в учебной литературе нового поколения с интегрированной в нее системой контроля качества знаний и компонентой дистанционного обучения.

Сегодня электронные библиотеки являются неотъемлемым составным элементом системы образования. Развитие системы открытого и дистанционного обучения невозможно без надеж-

ного информационного фундамента в виде электронных собраний ресурсов образовательной направленности. В России сегодня каждый вуз столкнулся с проблемами формирования собственных и использования внешних библиотечных коллекций, применение которых меняет привычные методы информационного обеспечения образовательной деятельности.

К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА В АВИАЦИОННЫХ ЧАСТЯХ

В.Д. Папулов (к.в.н.), А.И. Дунайцев (к.в.н., доц.)

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

Современные информационные технологии активно проникают не только в повседневную жизнь человека, но и в практику его профессиональной деятельности. С начала XXI века заметно активизировались работы по формированию систем электронного документооборота (СЭД) во многих государственных и коммерческих структурах нашей страны. Этому процессу способствует принятие целого ряда нормативно-правовых актов. Прежде всего здесь необходимо отметить следующие поэтапные решения органов государственной власти.

Во-первых, 28 января 2002 г. вышло постановление Правительства РФ № 65 «О Федеральной целевой программе «Электронная Россия (2002-2010 г.г.)», одной из основных целей которой было заявлено повышение эффективности государственного управления и создание условий для эффективного взаимодействия между органами государственной власти. Ожидались следующие основные результаты: долю электронного документооборота в общем объеме документооборота предполагалось довести до 65 % внутри ведомств и до 40 % – в межведомственном документообороте. Планировалось сформировать единый порядок сбора, обработки, накопления, хранения, поиска и распространения информации, что, в свою очередь, существенно должно было повысить возможность координации действий силовых структур, способствовать повышению безопасности и обороноспособности страны. К сожалению, в полной мере указанная Программа не реализована.

Во-вторых, в 2010 г. была разработана Федеральная целевая программа «Информационное общество 2011-2018 гг.», которая стала продолжением ФЦП «Электронная Россия». Заказчиком Программы среди многих министерств было и Министерство обороны РФ. Основные направления этой Программы: развитие государственных автоматизированных информационных систем; реализация ведомственных программ развития информационного общества; информационное развитие регионов; формирование национальной информационной инфраструктуры; создание в России «Электронного правительства» на федеральном и региональном уровнях.

В-третьих, на следующем этапе совершенствования системы государственного управления вышло Постановление Правительства РФ от 28 сентября 2009 г. № 754 «Об утверждении Положения «О системе межведомственного электронного документооборота». В пункте № 1 данного Положения прописано: Межведомственный электронный документооборот представляет собой взаимодействие федеральных информационных систем электронного документооборота.

В-четвертых, 15 апреля 2014 г. вышло постановление Правительства РФ № 313 «Об утверждении государственной программы РФ «Информационное общество (2011-2020 гг.)». Среди основных задач Программы прописаны задачи обеспечения национальной безопасности и повышения эффективности межведомственного электронного взаимодействия органов власти Российской Федерации.

Исходя из вышеизложенного понятно, что и в Министерстве обороны РФ работы по внедрению СЭД на уровне межведомственного взаимодействия в определенной мере организованы. Не случайно в новой Инструкции по делопроизводству в ВС РФ введено понятие «Система электронного документооборота Министерства обороны», а также соответствующие термины, определения, права и обязанности должностных лиц. Обстановка складывается так, что в ближайшем будущем следует ожидать активное внедрение СЭД в воинских частях МО РФ.

В регионах России учреждения государственной и муниципальной власти практически перешли на электронный документооборот. В настоящее время созданы базовые условия для

перехода всей системы государственного и муниципального управления на безбумажную технологию.

Таким образом, авиационным частям надо уже сегодня быть готовыми к работе в СЭД, иначе получим серьезную проблему в организации взаимодействия на местах. Речь идет о проблеме обмена документированной информацией, если своевременно не обеспечить эффективное функционирование предполагаемой системы электронного документооборота на уровне регионального и муниципального взаимодействия. Автоматизация же всего цикла работы с документами внутри частей и подразделений позволит значительно повысить управляемость подразделениями при обеспечении необходимого разграничения доступа к служебным сведениям. Структура и содержание информационных потоков системы предположительно должны быть адекватны совокупности факторов, влияющих на решение поставленных воинской части боевых задач.

Электронный документооборот, как было сказано выше, призван стать основой для организации оперативного решения различных задач повседневной деятельности, в том числе и для обеспечения автоматизированного обмена данными при организации, к примеру, технического обслуживания авиационной техники, оценки состояния объектов части.

Следовательно, актуализируется необходимость подготовки сотрудников к выполнению своих функциональных обязанностей с применением соответствующих технологий. К числу таких технологий, безусловно, относится и электронный документооборот. Результаты изучения практики внедрения СЭД в учреждения системы федеральной и региональной государственной гражданской службы показывают, что этот процесс неизбежно связан с проведением целого комплекса подготовительных организационно-методических и технических мероприятий. Эти мероприятия по времени могут занять продолжительный период времени – до нескольких лет интенсивной работы. К примеру, полноценное использование СЭД учреждениями системы государственного и муниципального управления стало возможным после предварительного прохождения сотрудниками специальных курсов подготовки. Иначе не получалось, этот опыт следует учесть. В настоящее время уже разработано и внедряется в практику множество СЭД, которые позволяют реали-

зовывать все функции документооборота в организациях и при этом обеспечивать необходимую конфиденциальность данных.

Специалисты утверждают [*«Электронный документооборот: за и против. Советы «бывалых»». Управление персоналом № 2 (228). 2010. С. 28 – 38*]; ежегодные темпы роста российского рынка СЭД составляют не менее 30 %; среди крупнейших заказчиков СЭД главными его потребителями являются государственные организации; эффективность СЭД напрямую зависит от степени «охвата» всех подразделений и рабочих мест и может быть сведена «на нет» плохой подготовленностью сотрудников. При этом среди основных проблем внедрения электронного документооборота специалисты называют [*Кузнецов С.Л. Организация электронного документооборота. «Делопроизводство», 2013 № 2, 3*] недостаточно четкое понимание того, что же такое электронный документооборот даже в организациях, готовящих нормативно-методические документы в этой области. Отсутствие единого подхода к построению СЭД приводит к тому, что эти системы в разных ведомствах бывают несовместимы между собой и зачастую автоматизируют только отдельные делопроизводственные операции, но не весь цикл работы с документами. Отсюда следует, что внедрение информационных технологий в практическую деятельность ВКС РФ требует кропотливой заблаговременной организационно-технической, экономической и учебно-методической работы не только на уровне центрального аппарата, но и в подразделениях.

Итак, мы вплотную подошли к проблеме обеспечения формирования в частях и соединениях системы электронного документооборота, и поэтому должны в упреждающем порядке внедрять эту технологию в учебный процесс. В связи с вышеизложенным, в качестве одной из мер по подготовке ВКС РФ к использованию современных информационных технологий предлагается организовать обучение военнослужащих частей и соединений ВКС РФ правилам работы в системе электронного документооборота. В этих же целях необходимо рассмотреть возможность создания соответствующего специализированного многофункционального программно-аппаратного комплекса на базе Краснодарского высшего военного авиационного училища летчиков.

СЕКЦИЯ 4. НАУКИ О ЗЕМЛЕ

СПОСОБЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИЗАБОЙНЫЕ ЗОНЫ СКВАЖИН В ЦЕЛЯХ УВЕЛИЧЕНИЯ ИХ ПРОДУКТИВНОСТИ НА ШЕЛКАНОВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Е.О. Петрушин*, А.С. Арутюнян**

* ЗАО «ННК» ОАО «Печоранефть»

** ФБГОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

Шелкановское месторождение расположено в северо-западной части республики Башкортостан в пределах Кушнаренковского района. В непосредственной близости к месторождению находятся в промышленной разработке Карача-Елгинское и Чекамагушевское (на западе), Таймурзинское (на севере), Манчаровское (на северо-западе), Чермассанское (на юге) нефтяные месторождения.

Шелкановское нефтяное месторождение находится на последней стадии разработки. В разрезе месторождения промышленную нефть содержат карбонаты среднего карбона и турнейского яруса, а также песчаные пласты бобриковского горизонта. Балансовые запасы нефти в сумме по месторождению составляют 13866 тыс. т, извлекаемые – 507 тыс. т. Более половины извлекаемых запасов нефти месторождения сосредоточены в карбонатах турнейского яруса. Нефти месторождения имеют категорию запасов В и В+С₁.

Продуктивные горизонты месторождения залегают на глубинах в интервале 950-1500 м. Средневзвешенная нефтенасыщенная толщина по месторождению составляет 4,2-4,7 м на залежи среднего карбона, 5,6 м – в бобриковском горизонте и 24,1 м – в турнейском ярусе. Коэффициент пористости по месторождению меняется в пределах от 9 до 19 %, коэффициент проницаемости – от 0,035 до 0,32 мкм². Пластовое давление и температура 10-14 МПа и 22-25 °С соответственно.

С начала разработки добыто 4,837 млн. т нефти, что составляет 34,9 % от балансовых и 95,4 % от извлекаемых запасов месторождения, в том числе по турнейской залежи добыто 3245,31, из залежи бобриковского горизонта – 1452,45, из залежей среднего карбона – 139,07 тыс. т. На скважины, эксплуатирующие карбонатные пласты, приходится 58,5 % общей добычи нефти по месторождению.

Действующий фонд добывающих скважин месторождения составляет 42 скважины, из них ШСНУ – 83 %, УЭЦН – 17 %. Среднесуточный дебит месторождения по нефти составляет 44 т/сут., по жидкости – 1334,5 т/сут., средний дебит одной скважины в сутки по нефти равен 1,04 т/сут., по жидкости – 31,77 т/сут. Фонд нефтяных скважин высокообводнённый – 90,5 % скважин имеют обводнённость выше 50 %.

Обводнённость по месторождению достигла значения 96,0 %, по турнейскому ярусу – 96,7 %, по бобриковскому горизонту – 94,8 %, по залежам среднего карбона – 26,2 %.

Призабойная зона скважин (ПЗС) является значимым интервалом в системе «пласт-скважина». От её проводимости в значительной мере зависят дебиты скважин, которые могут быть небольшими из-за плохих естественных коллекторских характеристик продуктивных пластов и повышенной вязкости нефти.

Кроме того, эта зона подвергается сильному воздействию буровым и цементным растворами при бурении скважин. В процессе эксплуатации дебиты со временем могут падать в связи с отложением в поровых каналах призабойной зоны парафина, асфальто-смолистых веществ и неорганических солей. В зависимости от причин низких фильтрационных свойств пород этой зоны применяются различные методы воздействия на них с целью повышения дебитов скважин.

Общие положения

Обработку призабойной зоны (ОПЗ) проводят на всех этапах разработки нефтяного месторождения (залежи) для восстановления и повышения фильтрационных характеристик призабойной зоны пласта (ПЗП) с целью увеличения производительности добывающих и приёмистости нагнетательных скважин.

Выбор способа ОПЗ осуществляют на основе изучения причин низкой продуктивности скважин с учётом физико-химических свойств пород пласта-коллектора и насыщающих их флюидов, а также специальных гидродинамических и геофизических исследований по оценке фильтрационных характеристик ПЗП.

ОПЗ проводят только в технически исправных скважинах при условии герметичности эксплуатационной колонны и цементного кольца, подтверждённой исследованиями.

Технологию и периодичность проведения работ по воздействию на ПЗП обосновывают геологические и технологические службы нефтегазодобывающего предприятия в соответствии с проектом разработки месторождения, действующими инструкциями (РД) по отдельным видам ОПЗ с учётом технико-экономической оценки их эффективности.

Однократное и многократное воздействие на ПЗП производят в следующих случаях:

1) в однородных пластах, не разделённых перемычками, толщиной до 10 м; при коэффициенте охвата отбором (нагнетанием) свыше 0,5 производят однократное воздействие;

2) в случаях, когда отбором (нагнетанием) охвачены не все пропластки и коэффициент охвата менее 0,5, осуществляют многократное (поинтервальное) воздействие с использованием временно блокирующих (изолирующих) материалов или оборудования.

Проведение подготовительных работ для всех видов ОПЗ обязательно и включает в своём составе обеспечение необходимым оборудованием и инструментом, а также подготовку ствола скважины, забоя и фильтра к обработке. В скважинах, по которым подземное оборудование не обеспечивает проведения работ по ОПЗ, например оборудованных глубинным насосом, производят подъём подземного оборудования и спуск колонны НКТ, а также другого необходимого оборудования.

После проведения ОПЗ исследуют скважины методами установившихся и неуставившихся отборов на режимах (при депрессиях), соответствующих режимам исследования скважин перед ОПЗ.

Для очистки фильтра скважины и призабойной зоны пласта от различных загрязнений в зависимости от причин и геологических условий проводят следующие технологические операции:

- 1) кислотные ванны;
- 2) промывку пеной или раствором ПАВ;
- 3) гидроимпульсное воздействие (метод переменных давлений);
- 4) циклическое воздействие путём создания управляемых депрессий на пласт с использованием струйных насосов;
- 5) многоцикловую очистку с применением пенных систем;
- 6) воздействие на ПЗП с использованием гидроимпульсного насоса;
- 7) ОПЗ с применением самогенерирующихся пенных систем (СГПС),
- 8) воздействие на ПЗП с использованием растворителей (бутилбензольная фракция, стабильный керосин и др.).

Кислотная обработка

При разработке продуктивных карбонатных коллекторов наиболее эффективным методом увеличения добычи нефти является проведение различного вида солянокислотных обработок скважин, сущность проведения которых заключается в увеличении проницаемости ПЗП.

Для обработки карбонатных коллекторов, состоящих в основном из кальцита, доломита и других солей угольной кислоты, а также терригенных коллекторов с повышенным содержанием карбонатов (свыше 10 %), используют соляную кислоту. Допускается применение сульфаминовой и уксусной кислот.

Карбонатные коллекторы, не содержащие в своём составе осадкообразующих включений (сульфатов, соединений железа и т.п.), обрабатывают 10-16 %-ным водным раствором соляной кислоты.

Коллекторы, содержащие осадкообразующие включения, обрабатывают уксусной (10 % масс.) или сульфаминовой (10 % масс.) кислотами.

При обработке карбонатных коллекторов, содержащих соединения железа, при использовании соляной кислоты дополни-

тельно вводят уксусную (3-5 % масс.) или лимонную (2-3 % масс.) кислоты для предупреждения осадкообразования в растворе.

В трещинных и трещинно-поровых коллекторах для глубокой (по простиранию) обработки используют замедленно взаимодействующие с карбонатами составы на основе соляной кислоты, дисперсные системы типа эмульсий и загущенных растворов:

1) для приготовления кислотной пены и нефтекислотной эмульсии используют поверхностно-активные вещества (ПАВ) (сульфонол, ОП-10 и др.) и стабилизатор (КМЦ и др.);

2) для приготовления загущенной кислоты в раствор соляной кислоты (от 12 до 15 % масс.) вводят КМЦ или сульфит-спиртовую барду (0,5-3,0 % масс.).

Обработку карбонатных коллекторов в скважинах с температурой от 100 до 170 °С производят с использованием гидрофобной кислотной эмульсии со специальным эмульгатором (диаминдиолеат, первичные амины, алкиламиды) от 0,5 до 1 %-ной концентрации.

Объём кислотного раствора и время выдерживания его в пласте в зависимости от вида воздействия, рецептуры применяемого состава и геолого-технических условий (толщина, пористость, проницаемость, забойная температура, давление пласта) выбирают из таблицы 1.

Таблица 1

Объём кислоты для ОПЗ в зависимости от проницаемости пласта-коллектора и количества обработок

Объём кислоты, м ³ (из расчёта 15 %-ной концентрации на 1 м вскрытой толщины пласта)			
Количество обработок	Тип коллектора		
	поровый		трещинный
	малопроницаемый	высокопроницаемый	
одна	0,4-0,6	0,6-1,0	0,6-0,8
две и более	0,6-1,6	1,0-1,5	1,0-1,5

Для обработки терригенных коллекторов с карбонатностью менее 10 %, а также в случае загрязнённой ПЗП используют глинокислотные растворы, приготовляемые из соляной (от 10 до 12 % масс.) и плавиковой (от 3 до 5 % масс.) кислот. Допустимо использование взамен плавиковой кислоты кристаллического бифторидфторида аммония. Объём раствора при глинокислотной обработке выбирают из условия предупреждения разрушения пластовых пород. При первичной обработке используют от 0,3 до 0,4 м³ раствора на 1 м вскрытой перфорацией толщины пласта.

Для обработки коллекторов, представленных ангидритами, используют солянокислотные растворы с добавками от 6 до 10 % масс. азотнокислого натрия.

Во всех случаях при проведении кислотных обработок в состав раствора вводят ингибитор коррозии в соответствии с требованиями РД.

Продолжительность выдерживания кислотного раствора зависит от температуры пласта. При температурах до 30 °С – 2 ч, от 30 до 60 °С – от 1 до 1,5 ч. При температурах свыше 60 °С время выдерживания кислотного раствора в пласте не регламентировано и зависит от времени полной нейтрализации (потери активности) кислоты.

Термохимические и термокислотные обработки производят в коллекторах в интервале температур от 15 до 40 °С.

Термохимическую обработку производят с использованием соляной кислоты и магния или некоторых его сплавов (МЛ-1, МА-1 и т.п.).

Термокислотную обработку производят в виде комбинированного воздействия на ПЗП, состоящего из термохимической и обычной кислотной обработок под давлением.

Для кислотных обработок используют специальный насосный агрегат типа Азинмаш-30. Кислоты транспортируют в гуммированных автоцистернах 4ЦР, 3ЦР или ЦР-20.

Гидропескоструйная перфорация

Гидропескоструйную перфорацию (ГПП) применяют при вскрытии плотных как однородных, так и неоднородных по проницаемости коллекторов перед ГРП для образования трещин в

заданном интервале пласта, а также для срезания труб в скважине при проведении ремонтных работ.

Не допускается проведение ГПП в условиях поглощения жидкости пластом. Различают два варианта ГПП – точечная и щелевая. При точечной ГПП канал образуют при неподвижном перфораторе. Щелевую ГПП осуществляют при движении перфорационного устройства.

Профиль и плотность ГПП определяют в зависимости от геолого-эксплуатационной характеристики коллектора.

При осуществлении ГПП используют: перфораторы, НКТ, насосные агрегаты, пескосмесители, емкости для жидкости, сольниковую катушку или превентор, а также жидкость-носитель и кварцевый песок.

В качестве жидкости-носителя используют дегазированную нефть, 5-6 %-ный раствор соляной кислоты, воду (солёную или пресную) с добавками ПАВ, промывочный раствор, не загрязняющий коллектор. При работах в интервале непродуктивного пласта используют пресную воду или промывочную жидкость. Концентрация песка в жидкости-носителе должна составлять от 50 до 100 г/л.

Продолжительность процесса при точечном вскрытии составляет 15 мин, при щелевом – не более 2-3 мин. на каждый сантиметр длины щели.

Перепад давления жидкости на насадке (без учёта потерь на трение в НКТ) составляет:

- 1) при диаметре насадки 6 мм – от 10 до 12 МПа;
- 2) при диаметре насадки 4,5 мм – от 18 до 20 МПа.

Процесс ГПП осуществляют при движении НКТ снизу вверх.

При непредвиденных продолжительных остановках немедленно промывают скважину при обратной циркуляции.

После ГПП при обратной промывке вымывают шаровой клапан, промывают скважину до забоя до полного удаления песка из скважины, поднимают перфоратор и оборудуют скважину для освоения и эксплуатации. Освоение фонтанных скважин допускается без подъёма перфоратора.

Виброобработка

Виброобработку производят:

- в скважинах с загрязнённой ПЗП;
- в коллекторах, сложенных низкопроницаемыми породами, содержащими глинистые минералы;
- в литологически неоднородных коллекторах с воздействием на низкопроницаемые пропластки;
- перед химической обработкой;
- перед ГРП или другими методами воздействия на ПЗП.

Запрещается проведение виброобработки в скважинах, расположенных вблизи водонефтяного контакта, при интенсивных поглощениях жидкости пластом, при низких пластовых давлениях.

Для проведения технологического процесса в обрабатываемый интервал на НКТ опускают гидравлический золотниковый вибратор типа ГВГ. При давлениях закачивания свыше 40 МПа применяют пакеры.

Величину гидравлического импульса определяют в зависимости от расхода рабочей жидкости и времени перекрытия её потока.

В качестве рабочей жидкости используют нефть, солянокислотный раствор, предельный керосин и их смеси. Количество кислоты и керосина определяется из расчёта 2-3 м³ на 1 м вскрытой толщины пласта.

Термообработка

Термообработку ПЗП проводят в коллекторах с тяжёлыми парафинистыми нефтями при пластовых температурах, близких к температуре кристаллизации парафина или ниже её.

При термообработке перенос тепла в коллектор осуществляют:

- при теплопередаче по скелету породы и насыщающей жидкости от источника тепла, расположенного в скважине (метод кондуктивного прогрева);
- при принудительном теплопереносе по коллектору за счёт нагнетания в пласт теплоносителя (паротепловая обработка).

Выбор метода теплообработки осуществляют в зависимости от конкретных геолого-промысловых условий:

1) метод индуктивного прогрева осуществляют с использованием глубинных электронагревателей. Температура нагрева должна быть ниже точки коксования нефти. При периодической тепловой обработке после извлечения из скважины эксплуатационного оборудования опускают на кабеле-тросе в интервал продуктивного пласта глубинный электронагреватель и осуществляют прогрев в течение 3-7 сут. Продолжительность пуска скважины в эксплуатацию после тепловой обработки не должна превышать 7 ч;

2) при стационарной электротепловой обработке совместно с подземным оборудованием в интервале фильтра устанавливают стационарный электронагреватель, с помощью которого осуществляют прогрев постоянно или по заданному режиму;

3) при паротепловой обработке прогрев ПЗП осуществляют насыщенным паром с помощью стационарных или передвижных парогенераторов ППГУ-4/120. Паротепловые обработки проводят в скважинах глубиной не более 1000 м в коллекторах, содержащих нефть с вязкостью в пластовых условиях свыше 50 мПа · с. Перед проведением процесса скважину останавливают, извлекают эксплуатационное оборудование и проверяют герметичность эксплуатационной колонны. Нагнетание пара осуществляют с таким расчётом, чтобы паровая зона образовалась в радиусе от 10 до 20 м. Затем скважину герметизируют и выдерживают в течение 2-3 сут.

Воздействие давлением пороховых газов

Воздействие на ПЗП пороховыми газами осуществляется путём разрыва пласта без закрепления трещин в плотных низкопроницаемых коллекторах (песчаниках, известняках, доломитах с проницаемостью от 0,10 до 0,05 мкм² и менее). Не допускается проведение разрыва пласта указанным методом в коллекторах, сложенных алевролитами, сильно заглинизированными песчаниками с прослоями глин, мергелей, алевролитов с солитовыми известняками, а также песками и слабосцементированными песчаниками.

Технологический процесс осуществляют с использованием пороховых генераторов корпусных типа АСГ или герметичных бескорпусных типа ПДГ БК и негерметичных типа АДС.

Аппараты АСГ105К применяют в обсаженных скважинах с минимальным проходным диаметром 122 мм при температуре до 80 °С и гидростатическим давлением от 1,5 до 35 МПа.

Аппараты типа ПГД БК применяют в обсадных колоннах с проходным диаметром от 118 до 130 мм при температуре до 200 °С и гидростатическим давлением до 100 МПа, а типа АДС – до 100 °С и 35 МПа соответственно. Величина минимального гидростатического давления для ПГД БК составляет 10 МПа, для АДС – 3 МПа.

Спуск и подъём генераторов типа ПГД БК производят на бронированном каротажном кабеле со скоростью не более 1 м/с в жидкости и 0,5 м/с в газожидкостной среде.

При проведении технологического процесса устье скважины оборудуют перфорационной задвижкой или фонтанной арматурой, а в отдельных случаях – лубрикатором. Скважину шаблонизируют. Производят замену длины кабеля, привязку по каротажу. Замеряют гидростатическое давление и забойную температуру. Устанавливают генератор давления против интервала, подлежащего воздействию, или в непосредственной близости к нему. Если интервал обработки вскрывают торпедированием, генератор давления устанавливают над зоной перфорации на расстоянии 1 м.

После спуска генератора на заданную глубину каротажный кабель закрепляют на устье скважины.

Сгорание порохового заряда фиксируют по рывку кабеля, выбросу жидкости или по звуковому эффекту.

При толщине пласта свыше 20 м производят многократное сжигание пороховых зарядов.

При воздействии на коллектор, состоящий из нескольких пропластков, производят поинтервальное и последовательное снизу вверх воздействие на отдельные пропластки после предварительного их вскрытия.

Для регистрации максимального давления, создаваемого в скважине, используют кремнерный прибор, который прикрепляют на кабеле около кабельной головки.

Гидравлический разрыв пласта

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) применяют для воздействия на плотные низкопроницаемые коллекторы, а также при большом радиусе загрязнения ПЗП. При этом в зависимости от геологических характеристик пласта и системы разработки месторождения создаётся система закреплённых трещин определённой протяжённости – от 10 до 30-50 м.

Глубокопроникающий гидроразрыв пласта (ГГРП) с созданием более протяжённых трещин производят в коллекторах с проницаемостью менее (50×10^{-3}) мкм².

Для обеспечения эффективности процесса гидроразрыва перед выбором расклинивающего материала необходимо определить оптимальную длину трещины в зависимости от проницаемости пласта с учётом радиуса зоны дренирования скважины и близости нагнетательных скважин. Теоретическая зависимость оптимальной полудлины трещины L (расстояние от ствола скважины до вершины трещины) от проницаемости пласта k приведена в табл. 2. При выборе L необходимо учитывать радиус зоны дренирования скважины и близость нагнетательных скважин. Расстояние до ближайшей нагнетательной скважины должно быть не менее 500 м. Оптимальная величина L не должна выходить за пределы зоны дренирования скважины.

Таблица 2

Зависимость оптимальной полудлины трещины
от проницаемости пласта

$k \cdot 10^{-3}$, мкм ²	100	10	1	0,5	0,1	0,05
L , м	40-65	50-90	100-190	135-250	250-415	320-500

В коллекторах толщиной свыше 30 м процесс гидроразрыва проводят по технологии поинтервального ГРП.

В скважинах, совместно эксплуатирующих многопластовые залежи, с целью воздействия на отдельные объекты применяют селективный ГРП.

С целью повышения эффективности ГРП предварительно проводят щелевую ГПП.

В качестве закрепляющих трещин материалов на глубинах до 2400 м используют фракционированный песок по ТУ 39-982-94, свыше 2400 м – искусственные среднепрочностные по ТУ 39-014700-02-92 и высокопрочностные по ТУ 39-1565-91 расклинивающие материалы (проппанты).

Для осуществления процесса гидроразрыва используют технологические жидкости на водной и углеводородной основах.

Выбор типа жидкости гидроразрыва осуществляется в соответствии с пластовыми условиями (литологии, температуры, давления и т.п.). При этом учитывается совместимость выбранной жидкости с матрицей пласта и пластовыми флюидами. При содержании в пласте водочувствительных глин необходимо использовать жидкость на углеводородной основе. Кроме этого, такие жидкости обладают низким коэффициентом инфильтрации и способны создавать более протяжённые трещины.

Технологические жидкости для ГРП должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- 1) при минимальных затратах жидкости обеспечивать формирование трещин большой протяжённости;
- 2) вязкость должна обеспечивать высокую несущую способность песка (проппанта), достаточную для транспортирования и равномерного размещения в трещине гидроразрыва расклинивающего материала и создания заданной раскрытости трещин;
- 3) обладать низким гидравлическим сопротивлением и достаточной сдвиговой устойчивостью для обеспечения максимально возможной в конкретных геолого-технических условиях скорости нагнетания жидкости;
- 4) не снижать проницаемость обрабатываемой зоны пласта;
- 5) обладать высокой стабильностью жидкостной системы при закачке;
- 6) легко удаляться из пласта после проведения процесса;
- 7) обладать регулируемой способностью деструктироваться в пластовых условиях, не образуя при этом нерастворимого твёрдого осадка, снижающего проводимость пласта и не создающего должного распределения расклинивающего материала в трещине гидроразрыва.

Основными технологическими параметрами для контроля за процессом ГРП следует считать темп и объемы закачки, устьевое давление, концентрацию песка (проппанта) в суспензии.

В общем виде технология применения жидкости для проведения ГРП не отличается от технологии, используемой при ГРП. При проведении работ используемое оборудование включает цементировочные агрегаты (ЦА-320М, ЦА-400, АН-700), пескосмесительные агрегаты (4ПА, УСП-50), блоки манифольдов (1БМ-700, 1БМ-700С), ёмкости.

После проведения подготовительных операций, включающих спуск и посадку пакера, установку арматуры, доставляют технологические жидкости, расклинивающий агент, производят расстановку наземного оборудования, проверку и опрессовку всех трубопроводов и пакера. Перед началом процесса делается контроль технологических свойств жидкостей.

Системы на водной основе можно готовить в емкостях любого типа. Ёмкости для приготовления углеводородных систем обязательно должны быть закрытыми в целях безопасности и для исключения попадания внутрь атмосферных осадков. В зимнее время ёмкости необходимо оборудовать системой обогрева. Продолжительность выдержки под давлением не менее 3 мин.

При проведении гидрокислотных разрывов необходимо применение ингибиторов коррозии.

Выравнивание профиля приёмистости нагнетательных скважин

Работы по выравниванию профиля приёмистости (расхода вытесняющего агента) в нагнетательных скважинах направлены на регулирование процесса разработки нефтяных залежей с целью увеличения охвата пласта заводнением по толщине, перераспределения объёмов закачки между пластами и пропластками при одновременном воздействии на них вытесняющим агентом.

Перед осуществлением процесса проводят комплекс гидродинамических и геофизических исследований, в том числе с применением индикаторов в соответствии с работами, приведёнными ниже.

Для ограничения (отключения) воздействия вытесняющего агента на отдельные интервалы (зоны) по толщине пласта или

пропластка проводят обработки с применением временно изолирующих материалов (суспензии или эмульсии, осадкообразующие растворы, гелеобразующие или твердеющие материалы на органической или неорганической основе, в том числе водные растворы КМЦ, ПАА и т.п.).

Во всех случаях должна быть предусмотрена возможность восстановления первичной (до обработки) приёмистости разрабатываемого интервала пласта.

В случае необходимости осуществляют работы по восстановлению и повышению приёмистости слабопроницаемых интервалов (пропластков).

Геофизические методы исследования скважин

ГИС применяют для решения геологических и технических задач. К геологическим задачам, в первую очередь, относятся литологическое расчленение разрезов, их корреляция, выявление полезных ископаемых и определение параметров, необходимых для подсчёта запасов. К техническим задачам относят изучение инженерно-геологических и гидрогеологических особенностей разрезов, изучение технического состояния скважин, контроль разработки месторождений нефти и газа.

Основные методы ГИС: электрические, электромагнитные, ядерно-физические, акустические. Существуют также термические, магнитные, гравиметрические, механические и геохимические методы.

Гидродинамические методы исследования скважин

Основными гидродинамическими методами исследований скважин являются:

- метод установившихся отборов;
- метод карт изобар;
- метод восстановления давления;
- метод гидропрослушивания.

Все эти методы в той или иной степени используются в НГДУ «Краснохолмскнефть».

Метод установившихся отборов (метод пробных откачек) является на практике самым распространённым. Он применяется при исследовании всех действующих нагнетательных и добывающих скважин. Сущность метода сводится к установлению пу-

тём промысловых измерений зависимости между дебитом скважин и величиной её забойного давления при установившихся режимах эксплуатации. Этот метод позволяет определить коэффициент продуктивности и гидропроводности скважины.

Метод карт изобар используется для исследования пласта в целом. Этот метод предусматривает измерение пластового давления во всех скважинах изучаемого участка пласта с последующим воспроизведением на базе этих данных общей карты распределения давления в пласте путём построения карты изобар. Метод позволяет узнать и оценить параметры пласта, определить скорость движения жидкости в различных участках пласта.

Метод восстановления давления основан на изучении процессов изменения забойного давления и дебита скважины во времени при переходе от одного установившегося режима её эксплуатации к другому. Простейшим и наиболее часто применяемым вариантом этого метода является непрерывная регистрация забойного давления скважины после прекращения её эксплуатации.

Метод гидропрослушивания по существу близок к методу восстановления давления. Отличие заключается в том, что при изменении режима эксплуатации скважин изменение давления регистрируется на забое другой скважины.

В Краснохолмском УДНГ филиала «Башнефть-Янаул» довольно часто на скважинах производится замер статического и динамического уровня. Эту работу проводит оператор по исследованию скважин. При этом используется следующее оборудование: либо глубинный пьезограф с лебёдкой, либо эхолот (используется наиболее часто).

Пьезограф – глубинный прибор, предназначенный для определения небольших приращений уровня относительно какого-либо начального положения.

Для измерения положения уровня жидкости в глубинных скважинах применяются эхолоты, действие которых основано на определении времени прохождения упругой звуковой волны от устья до поверхности.

Эхолот ЭС-50 (рис. 1) предназначен для измерения статического и динамического уровня в скважине. Принцип действия эхолота заключается в следующем. Во время прохождения звуко-

вой волны через нагретую вольфрамовую нить, по которой протекает постоянный ток (0,2-0,3А), её температура изменяется. Изменение силы тока регистрируется с помощью электроизмерительного прибора на диаграммной ленте, перемещающейся с постоянной скоростью. Эта диаграмма называется эхограммой: зная скорость движения диаграммной ленты, по расстоянию между пиками определяют время прохождения волны от устья до репера и уровня жидкости.

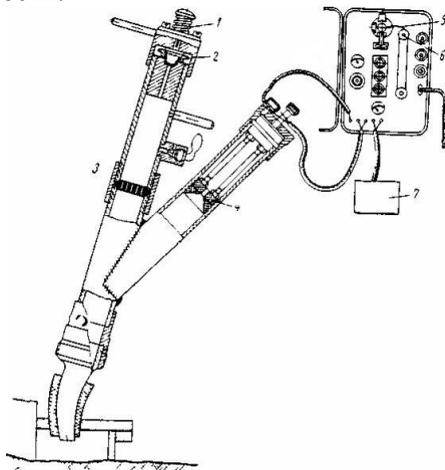


Рисунок 1 – Эхолот ЭС-50:

- 1 – ударный механизм; 2 – пороховой заряд; 3 – пламегаситель;
 4 – термофон с вольфрамовой нитью; 5 – регистратор;
 6 – лентопротяжный механизм; 7 – щелочной аккумулятор

Эхолот ЭС-50 применяется в скважинах с различными диаметрами насосных и обсадных труб при глубинах уровня до устья, не превышающих 1200 м.

Литература

1. Ривкин П.Р. Техника и технология добычи нефти и подготовки нефти на нефтепромыслах: Справочное пособие для разработчиков нефтегазовых месторождений. – Уфа: «Дизайн-ПолиграфСервис», 2008 – 496 с.
2. Гиматудинов Ш.К., Ширковский А.И. Физика нефтяного и газового пласта: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1982. – 311 с.

3. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти: Учебное пособие для вузов. – М: Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2007. – 826 с.
4. Шелкановское месторождение и разработка нефтяных скважин [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://knowledge.allbest.ru/geology/3c0b65625a2bd78b5c53a89521306d27_0.html
5. Антониади Д.Г., Савенок О.В., Шостак Н.А. Теоретические основы разработки нефтяных и газовых месторождений: Учебное пособие. – Краснодар: ООО «Просвещение - Юг», 2011. – 203 с.
6. Булатов А.И., Волощенко Е.Ю., Кусов Г.В., Савенок О.В. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин: Учебное пособие для студентов вузов. – Краснодар: ООО «Просвещение - Юг», 2011. – 603 с.
7. Савенок О.В., Борисайко Я.Ю., Яковлев А.Л. Управление продуктивностью скважин: Методические указания по изучению дисциплины «Управление продуктивностью скважин» для студентов-бакалавров всех форм обучения и МИППС по направлению 21.03.01 «Нефтегазовое дело». – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2016. – 68 с.
8. Попов В.В., Богуш И.А., Третьяк А.Я., Савенок О.В. Лаврентьев А.В. Поиски, разведка и эксплуатация месторождений нефти и газа: Учебное пособие. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2015. – 322 с.
9. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 томах. – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2012-2015. – Т. 1-4.
10. Булатов А.И., Савенок О.В. Практикум по дисциплине «Заканчивание нефтяных и газовых скважин»: в 4 томах: Учебное пособие. – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2013-2014. – Т. 1-4.
11. Климов В.В., Савенок О.В., Лешкович Н.М. Основы геофизических исследований при строительстве и эксплуатации скважин на нефтегазовых месторождениях: Учебное пособие. – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2016. – 274 с.

12. Попов В.В., Третьяк А.Я., Савенок О.В., Кусов Г.В., Швец В.В. Геофизические исследования и работы в скважинах: Учебное пособие. – Новочеркасск: «Лик», 2017. – 326 с.

13. Яковлев А.Л., Савенок О.В. Анализ эффективности применения операций волнового воздействия на месторождения Краснодарского края в области экологической безопасности // Научно-технический журнал «Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса». – М.: ВНИИОЭНГ, 2016. – № 5. – С. 34-39.

14. Яковлев А.Л., Савенок О.В. Нарушения экологической безопасности при интенсификации добычи нефти на месторождениях Краснодарского края // Научно-технический журнал «Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе». – М.: ВНИИОЭНГ, 2017. – № 1. – С. 50-54.

15. Яковлев А.Л., Березовский Д.А., Кусов Г.В. Техника и технология проведения кислотного гидравлического разрыва пласта. Сб. статей научно-информационного центра «Знание» по матер. XXI междунар. заочной науч.-практ. конф. «Развитие науки в XXI веке» (16 января 2017 года, г. Харьков). – Х.: научно-информационный центр «Знание», 2017. – Часть 2. – С. 25-40.

16. Яковлев А.Л., Панцарников Д.С. Савенок О.В. Анализ методов воздействия на призабойную зону пласта в условиях Самотлорского месторождения // Научно-технический журнал «Нефть. Газ. Новации». – Самара: Издательский Дом «Нефть. Газ. Новации», 2017. – № 2/2017. – С. 36-51.

ИССЛЕДОВАНИЕ СКВАЖИНЫ НА ПРИТОК НА ЦАРИЧАНСКОМ НЕФТЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Е.О. Петрушин*, А.С. Арутюнян**

* ЗАО «ННК» ОАО «Печоранефть»

** ФБГОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

Исследование скважин – один из основных источников получения достоверной информации, используемой не только для установления оптимальных режимов работы скважин и оборудования, но также для постоянного и повсеместного (в пределах месторождения) контроля разработки.

Исследование на приток проводилось при стационарной работе скважины на нескольких режимах. Этот метод в промышленной практике получил название *метода пробных откачек*.

В статье по результатам исследования нефтяной скважины на приток рассчитаны коэффициенты A и B в уравнении притока жидкости в скважину. Данное уравнение используется для установления режима работы скважины: для расчёта забойного давления при заданном дебите и, наоборот, для расчёта дебита для заданного забойного давления. Для расчёта выбрана скважина № 3 на Царичанском месторождении нефти в Оренбургской области. Эксплуатация ведётся механизированным способом с помощью установки УЭЦН.

Краткая геологическая характеристика зоны дренируемой скважины

Скважина № 3 находится в эксплуатации на пласт Дкт колганской толщи верхнефранского подъяруса верхнего девона. Пласт представлен песчаниками. Песчаники буровато-серые, тёмно-коричневые до чёрных, нефтенасыщенные, средней и слабой крепости, пористые (8-13 %), неравномерно известковистые, массивной и пятнисто-полосчатой текстуры из-за неравномерного нефтенасыщения, с прослоями песчаников светло-серых, серых, крепких, плотных и слабо пористых (4-9 %), тонкоплитчатых. Текстура серых песчаников определяется наличием частых нитевидных примазок глинисто-органического материала и тонких (до 5 мм) прослоев аргиллита. Тип коллектора поровый.

Коэффициент песчаности – 0,14. Коэффициент расчленённости – 7,86. Общая толщина пласта составляет 50,29 м. Эффективная нефтенасыщенная толщина – 6,43 м. Условно подсчётный уровень принят на абсолютной отметке минус 3264 м.

Коллектор характеризуется пористостью 11 % (по данным ГИС), проницаемостью 0,013 мкм², начальной нефтенасыщенностью 76 %.

По результатам исследований и расчётов плотность пластовой нефти 766,5 кг/м³, давление насыщения нефти газом при пластовой температуре 8,29 МПа, газосодержание при однократ-

ном разгазировании пластовой нефти 114,6 м³/т, динамическая вязкость пластовой нефти 1,25 мПа · с.

После дифференциального разгазирования в рабочих условиях плотность нефти 846,0 кг/м³, газовый фактор 97,9 м³/т, объёмный коэффициент 1,220, динамическая вязкость разгазированной нефти по поверхностным пробам 8,12 мПа · с.

По товарной характеристике нефть сернистая (массовое содержание серы 1,28 %), смолистая (8,36 %), парафинистая (3,41 %). Объёмный выход светлых фракций при разгонке до 300 °С – 47 %.

Мольное содержание компонентов в смеси газов, выделившихся из нефти при дифференциальном разгазировании в рабочих условиях: сероводорода нет, азота 8,93 %, метана 56,36 %, этана 15,45 %, пропана 11,42 %, высших углеводородов (пропан + высшие) 19,00 %, гелия 0,041 %. Относительная плотность газа по воздуху 0,900.

Гидродинамические исследования

Под *гидродинамическими исследованиями скважин и пластов* будем понимать совокупность различных мероприятий, направленных на измерение определённых параметров (давление, температура, дебит, время и др.) в работающих или остановленных скважинах, и их регистрацию. Зачастую при этом отбираются пробы продукции, направляемые в специальные исследовательские лаборатории.

Исследования проводятся специальными бригадами с использованием соответствующей техники и измерительных приборов.

К гидродинамическим исследованиям будем относить термодинамические и дебитометрические исследования скважин.

Цели гидродинамических, термодинамических и дебитометрических исследований скважин и пластов многочисленны, но к основным из них относятся:

1. Выделение продуктивных горизонтов с их качественной и количественной характеристиками.

2. Определение параметров призабойной зоны скважины и пласта, насыщенных флюидами:

- проницаемость системы;
- послойная и зональная неоднородность;
- глинистость, песчанистость и др.;
- насыщенность.

3. Определение по отбираемым пробам свойств насыщающих залежь флюидов:

- физические свойства (плотность, вязкость, коэффициент сжимаемости и др.);
- химический состав флюидов (нефти, газа и воды);
- давление и температура;
- давление насыщения;
- газонасыщенность и др.

4. Определение комплексных параметров, характеризующих систему «коллектор-флюид»:

- коэффициент проводимости (гидропроводности);
- коэффициент подвижности;
- коэффициент упругоёмкости;
- коэффициент пьезопроводности.

5. Получение сведений о режиме дренирования:

- однофазная или многофазная фильтрация;
- наличие газовой шапки;
- расположение ВНК и ГНК.

6. Получение сведений о темпе падения пластового давления (или о его изменении).

7. Получение информации о термодинамических явлениях в призабойной зоне скважины и проявлении эффекта Джоуля-Томсона при течении продукции из пласта в скважину.

8. Контроль процесса выработки запасов углеводородов и прогноз этого процесса во времени.

9. Получение сведений о притоке (приёмистости) скважины по толщине продуктивного горизонта (дебитометрические исследования).

10. Оценка необходимости применения искусственного воздействия на залежь в целом или на призабойную зону скважины.

11. Определение основных характеристик скважин:
- коэффициент продуктивности (приёмистости);
 - приведённый радиус скважины;
 - максимально возможный и рациональный дебиты скважины;
 - коэффициенты обобщённого уравнения притока.

12. Получение необходимой информации для выбора рационального способа эксплуатации скважин.

13. Получение необходимой информации об энергетическом состоянии разрабатываемой системы и его изменении во времени.

Различают два метода гидродинамических исследований скважин:

- 1) исследование на стационарных режимах работы;
- 2) исследование на нестационарном режиме.

Эти методы пригодны для исследования любых скважин независимо от их назначения и способа эксплуатации; изменяется только техника и технология проведения исследований.

Основным методом исследования пластов является *метод гидропрослушивания*, сущность которого заключается в прослеживании влияния изменения режима работы одной из скважин (возмущающей) на характер изменения давления в других скважинах (реагирующих). Изменение режима работы возмущающей скважины может быть достигнуто одним из следующих способов: остановка её или пуск в работу с постоянным дебитом (если скважина простаивала); изменение забойного давления (дебита) скважины.

Метод гидропрослушивания базируется на изучении особенностей распространения возмущения в пласте от возмущающей скважины до реагирующих, зависящих не только от самого возмущения, но и от параметров пласта. Точность определения параметров пласта зависит от того, происходят ли какие-либо изменения режима работы скважин, соседних с реагирующими скважинами в процессе исследования, а также от используемой измерительной аппаратуры.

Исследование скважин на стационарных режимах работы

Этот вид исследования называется *исследованием на приток (приёмистость)* и проводится методом установившихся отборов. Установившийся отбор характеризуется стационарным режимом работы скважины, т.е. постоянством во времени забойного $P_{заб}$ и устьевого $P_{уст}$ давлений и дебита скважины Q .

Сущность метода заключается в установлении режима работы скважины и ожидании его стационарности. После стабилизации во времени режима работы скважины инструментально измеряют $P_{заб}$, $P_{уст}$; дебит нефти Q_n , дебит воды Q_v , дебит газа Q_g ; количество механических примесей и т.д. Все измеренные величины регистрируются. Затем режим работы скважины изменяется, и ожидают нового стационарного режима работы системы.

Изменение режима работы зависит от способа эксплуатации:

- на фонтанной скважине изменяют диаметр штуцера на выкидном манифольде;
- на газлифтной скважине изменяют режим закачки рабочего агента – давление и (или) расход;
- на скважине, оборудованной установкой скважинного штангового насоса, изменяют длину хода и (или) число качаний, т.е. для каждого способа эксплуатации имеется собственная возможность изменения режима.

Время перехода одного стационарного режима работы скважины на другой называется *временем переходного процесса* t , оценка которого может быть произведена следующим образом:

$$t_{пер} \approx \frac{R^2}{\alpha},$$

где R – размер фильтрационной области (радиус контура питания, половина расстояния между скважинами или нечто другое), м; α – коэффициент пьезопроводности, м²/с.

Следовательно, процессы, обусловленные сменой режима работы скважины, связаны с гидродинамическим перераспреде-

лением давления, протекающим со скоростью, определяемой временем переходного процесса $t_{пер}$. Переходный процесс с одного режима на другой может быть связан и с выделением в призабойной зоне скважины свободного газа (при $P_{заб} < P_{нас}$), а также с реологическими свойствами нефти. Для рассмотренных явлений время переходного процесса существенно различно – от нескольких часов до нескольких месяцев.

Таким образом, время перераспределения давления вследствие гидродинамических причин изменяется, как показала практика, от нескольких часов до нескольких суток и зависит от размеров пласта, расстояния до контура питания, коэффициента пьезопроводности, степени изменения давления и др. Как показывает анализ происходящих в системе процессов, время перераспределения давления тем больше, чем больше размеры залежи, чем дальше находится область питания, а также при условии, что в залежи имеется свободный газ или продукция обладает вязкопластичными или вязкоупругими свойствами.

Обычно в реальных условиях стационарные режимы работы скважины могут существовать только теоретически. Фактически наибольшее влияние на работу исследуемой скважины оказывают ближайшие скважины, поэтому не допускается изменение режима работы соседних скважин за несколько часов или суток до начала исследований выбранной скважины (хотя эти изменения могут происходить неконтролируемо).

Строго говоря, абсолютно установившиеся условия в реальной практике трудно представить в силу того, что залежь эксплуатируется большим количеством интерферирующих скважин, режимы работы которых также меняются по целому ряду причин. Поэтому при исследовании скважин на стационарных режимах фактически принимается гипотеза квазистационарности режимов работы.

Известно, что основные потери энергии при движении продукции к скважине имеют место в призабойной зоне. Поэтому при исследовании рассматриваемым методом мы получаем данные, касающиеся, в основном, призабойной зоны скважины (так

как процесс перераспределения давления в удалённых областях может быть очень длительным).

Таким образом, при проведении этих исследований могут быть определены характеристики только призабойной зоны скважины и процессов, протекающих в ней.

Техника и технология исследований

Технология исследования заключается в измерении забойного давления $P_{зab}$ в скважине и соответствующего этому давлению дебита Q , а также величин устьевого $P_{уст}$ и затрубного $P_{затр}$ давлений. При каждом режиме работы скважины в процессе исследования отбирается проба продукции с целью определения обводнённости, содержания механических примесей и других характеристик.

Как правило, исследование проводится на 3-5 режимах; при этом для повышения точности один из режимов должен быть с минимально возможным или нулевым дебитом.

Точность исследования зависит не только от точности измерения давлений и дебита, но и от того, насколько стабилизировался режим работы скважины.

Технология проведения исследования определяется способом эксплуатации конкретной скважины, а измерение давлений осуществляется манометрами; при этом для измерения забойного давления применяются специальные глубинные манометры, спускаемые на забой скважины на проволоке или на колонне насосно-компрессорных труб (лифтовые манометры). Для спуска глубинных приборов в скважину, эксплуатируемую фонтанным, газлифтным или насосным (когда в скважину насосное оборудование спущено на колонне НКТ) способом, используют специальное устройство на устье скважины, называемое *лубрикатором* (в этом случае спуск приборов осуществляется без остановки скважины).

Измерение давления осуществляется глубинными манометрами, среди которых наибольшее распространение получили геликсные (рис. 1) и поршневые манометры с автономной регистрацией измеряемого давления.

Не останавливаясь на преимуществах и недостатках каждого из манометров, отметим, что они должны иметь небольшой диаметр. Для специальных исследований, например через затрубное пространство применяются малогабаритные манометры, диаметр которых не превышает 22 мм.

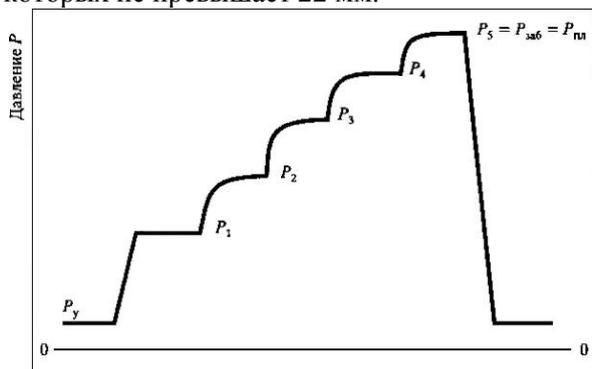


Рисунок 1 – Бланк регистрации забойного давления геликсным манометром при исследовании скважины методом пробных откачек (исследование проведено на пяти режимах)

Кроме глубинных манометров, при исследовании скважин применяются глубинные термографы, глубинные расходомеры, а также глубинные комбинированные приборы типа аппарата «Поток».

Современные механизированные установки для добычи нефти содержат в погружном агрегате встроенную постоянно действующую измерительную систему, передающую информацию на поверхность. При этом фиксируемые параметры измеряются на глубине спуска погружного агрегата, а не на забое.

Следует отметить, что при невозможности измерения забойных давлений можно проводить исследование скважины, измеряя затрубное давление и динамический уровень. Замер динамического уровня производится методом создания упругого импульса в затрубном пространстве скважины. При необходимости эти измеренные величины могут быть пересчитаны в забойные давления.

Интерпретация результатов исследования

Основной целью исследования на установившихся отборах является построение индикаторной диаграммы (индикаторной линии) скважины. *Индикаторной диаграммой скважины* называется графическая зависимость установившегося дебита от депрессии (забойного давления), т.е. $Q = f(\Delta P)$, $Q = f(P_{заб})$.

На рис. 2 представлены типичные индикаторные диаграммы, из которых видно, что индикаторные диаграммы могут быть прямолинейными (1 – рис. 2 а), выпуклыми (2) и вогнутыми (3) к оси дебитов. Форма индикаторной линии зависит от режима дренирования пласта, режима фильтрации, природы фильтрующихся флюидов, переходных неустановившихся процессов в пласте, фильтрационных сопротивлений, строения области дренирования (однородный, неоднородный, слоисто-неоднородный пласт) и др.

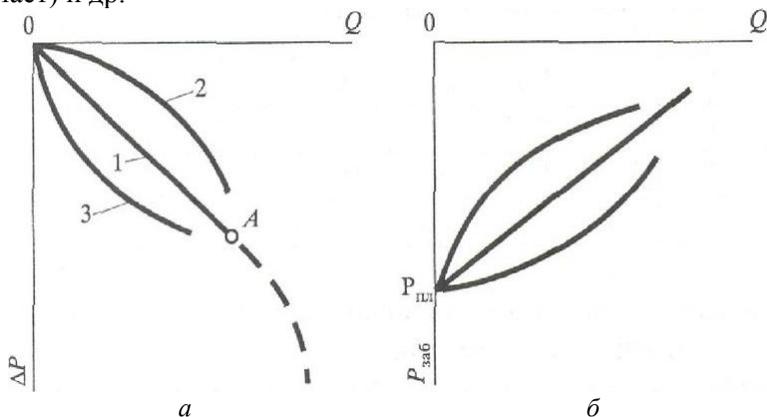


Рисунок 2 – Типичные индикаторные диаграммы скважин:
а – в координатах $Q = f(\Delta P)$; б – в координатах $Q = f(P_{заб})$

Прямолинейная индикаторная диаграмма до точки А (1 – рис. 2 а) может быть получена в том случае, когда режим дренирования есть режим вытеснения при фильтрации однофазной жидкости по закону Дарси, т.е. в этом случае справедливо уравнение Дюпюи:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot h}{\mu \cdot \ln \left(\frac{R_k}{r_c} \right)} \cdot \Delta P; \quad (1)$$

$$\Delta P = P_{nl} - P_{заб}, \quad (2)$$

где Q – дебит нефти, м³/сут.; k – коэффициент проницаемости, доли ед.; h – эффективная толщина, м; R_k – радиус контура питания, м; r_c – радиус скважины, м; ΔP – депрессия, Па; P_{nl} – пластовое давление, Па; $P_{заб}$ – забойное давление, Па.

По мере возрастания депрессии прямая может начать искривляться (после точки A), что связано с нарушением закона Дарси вследствие роста скорости фильтрации и влияния на процесс сил инерции. Искривление может быть связано и с неустановившимся процессом фильтрации (переходным процессом) в связи с появлением свободного газа.

Индикаторные диаграммы, выпуклые по отношению к оси дебитов (2 – рис. 2 а), характерны, как правило, для режимов истощения, а причины именно такой формы могут быть различными.

Индикаторные диаграммы, вогнутые по отношению к оси дебитов (3 – рис. 2 а), могут быть получены в следующих случаях:

- увеличение притока при повышении ΔP за счёт подключения ранее неработавших пропластков, трещин и т.п.;
- самоочистка призабойной зоны при увеличении депрессии и снижении фильтрационных сопротивлений, либо формирование новых трещин;
- некачественные результаты исследования (метод установившихся отборов при фактически неустановившемся режиме фильтрации); в этом случае необходимо повторить исследование.

Все индикаторные линии, приведённые на рис. 2 а, могут быть описаны уравнением следующего вида:

$$Q = k \cdot (P_{nl} - P_{заб})^n = k \cdot \Delta P^n, \quad (3)$$

где k – коэффициент пропорциональности, имеющий размерность

$\text{м}^3/(\text{сут.} \cdot \text{МПа})$, если дебит измеряется в $\text{м}^3/\text{сут.}$, а давление – в МПа; n – показатель степени, характеризующий тип и режим фильтрации.

Уравнение (3) называется *обобщённым уравнением притока флюида в скважину*. Для индикаторных диаграмм на рис. 2 а: линейной 1 – показатель степени $n = 1$; выпуклой к оси дебитов 2 – показатель степени $n < 1$; вогнутой к оси дебитов 3 – показатель степени $n > 1$.

При $n = 1$ выражение (3) запишем в виде:

$$Q = K_{np} \cdot (P_{nl} - P_{заб}), \quad (4)$$

где K_{np} – коэффициент продуктивности скважины, $\text{м}^3/(\text{сут.} \cdot \text{МПа})$.

Для прямолинейной индикаторной линии коэффициент продуктивности является важным технологическим параметром скважины. Коэффициент продуктивности постоянен в определённый промежуток времени, пока соблюдается закон Дарси. Обозначим в уравнении Дюпюи (1) через $K_{m,np}$

$$K_{m,np} = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot h}{\mu \cdot \ln \left(\frac{R_{\kappa}}{r_c} \right)} \quad (5)$$

и назовём этот параметр *теоретическим коэффициентом продуктивности скважины*, который имеет размерность $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{Па})$. Тогда уравнение Дюпюи переписется в виде:

$$Q = K_{m,np} \cdot (P_{nl} - P_{заб}). \quad (6)$$

Таким образом, из сравнения (4) и (6) вытекает, что коэффициент продуктивности данной скважины K может изменяться во времени при изменении k , h , μ и R_{κ} .

Если исследование проводится с измерением уровня жидкости в затрубном пространстве, то выражение (6) можно записать так:

$$Q = K'_{np} \cdot (H_{дин} - H_{см}), \quad (7)$$

где K'_{np} – коэффициент продуктивности скважины, измеряемый

на 1 м снижения уровня, $\text{м}^3/(\text{сут.} \cdot \text{м})$; $H_{\text{дин}}$ – динамический уровень, м; $H_{\text{ст}}$ – статический уровень, м.

Сравнение фильтрационных характеристик призабойных зон различных скважин проводят с использованием так называемого *удельного коэффициента продуктивности* $K_{\text{уд}}$, вычисляемого как коэффициент продуктивности $K_{\text{пр}}$ ($K_{\text{м.пр}}$), отнесённый к толщине пласта h :

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{пр}}}{h} = \frac{Q}{(P_{\text{пл}} - P_{\text{заб}}) \cdot h}, \quad (8)$$

при этом размерность K следующая: $\text{м}^3/(\text{сут.} \cdot \text{МПа} \cdot \text{м})$.

Таким образом, коэффициент продуктивности является интегральной характеристикой, учитывающей не только свойства флюидов и пористой среды, но и самой скважины и области питания.

Расчётная часть

Используя результаты исследования фонтанной безводной нефтяной скважины, представленные ниже, рассчитаем коэффициенты A и B и запишем уравнение притока нефти в данную скважину. Давление насыщения $P_{\text{нас}} = 8,29$ МПа.

Таблица 1

Исходные данные

Режим работы скважины	5	1	2	3	4
Дебит нефти, тонн/сут.	0	31	68	92	135
Забойное давление, МПа	20	18,5	15,8	13,7	8,5
Пластовое давление, МПа	20	20	20	20	20
Депрессия, МПа	0	1,5	4,2	6,3	11,5
$\frac{\Delta p}{Q}$	–	0,0484	0,0618	0,0685	0,0852

Уравнение притока жидкости в скважину имеет вид:

$$\Delta p = A \cdot Q + B \cdot Q^2, \quad (9)$$

где A – коэффициент, характеризующий потери на трение и

имеющий размерность, обратную размерности коэффициента продуктивности, (сут. · МПа)/т; B – коэффициент, характеризующий инерционные потери и имеющий размерность (МПа · сут.²)/т².

По результатам исследования строим индикаторную линию скважины (рис. 3).

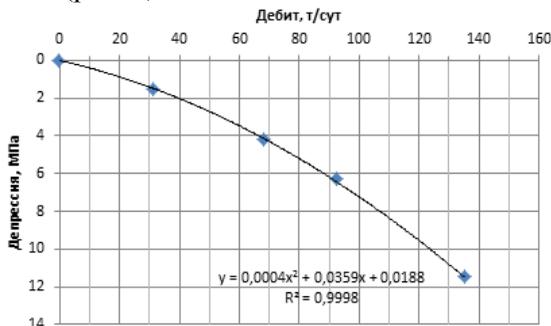


Рисунок 3 – Нелинейная индикаторная линия скважины

Индикаторная линия нелинейна и выпукла к оси дебитов. Такая индикаторная линия получается:

- в случае фильтрации однофазной жидкости, когда нарушается закон Дарси;
- в случае двухфазной фильтрации (фильтрации жидкости со свободным газом).

Сопоставляя замеренные забойные давления на различных режимах работы скважины и сравнивая их с давлением насыщения $p_{нас} = 8,29$ МПа, делаем вывод, что в процессе исследования забойные давления выше давления насыщения. Это свидетельствует о том, что фильтрация нефти в пласте однофазная (отсутствует газовая фаза в свободном состоянии).

Обрабатываем результаты исследования, используя закон фильтрации:

$$\frac{\Delta p}{Q} = A + B \cdot Q. \quad (10)$$

Рассчитываем величины $\frac{\Delta p}{Q}$:

$$\left(\frac{\Delta p}{Q}\right)_1 = \frac{1,5}{31} = 0,048 \text{ МПа} \cdot \text{сут./т};$$

$$\left(\frac{\Delta p}{Q}\right)_2 = \frac{4,2}{68} = 0,062 \text{ МПа} \cdot \text{сут./т};$$

$$\left(\frac{\Delta p}{Q}\right)_3 = \frac{6,3}{92} = 0,068 \text{ МПа} \cdot \text{сут./т};$$

$$\left(\frac{\Delta p}{Q}\right)_4 = \frac{11,5}{135} = 0,085 \text{ МПа} \cdot \text{сут./т}.$$

Строим зависимость $\frac{\Delta p}{Q} = f(Q)$ (рис. 4).

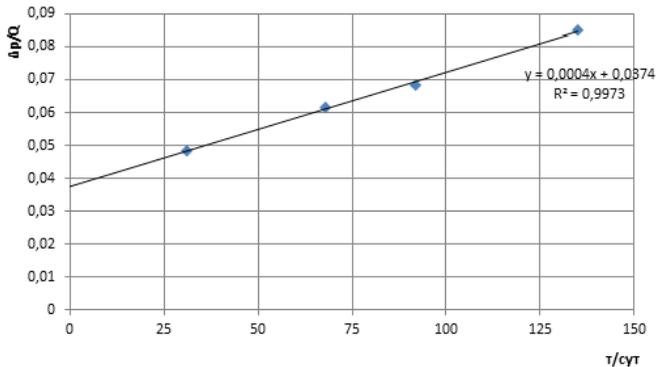


Рисунок 4 – Индикаторная линия в координатах $\frac{\Delta p}{Q} - Q$

Экстраполируя полученную прямую до пересечения с осью $\frac{\Delta p}{Q}$, находим коэффициент A :

$$A = 0,037 \text{ МПа} \cdot \text{сут./т}.$$

Коэффициент B характеризует угол наклона прямой к оси Q :

$$B = \operatorname{tg} \beta = \frac{\left(\frac{\Delta p}{Q}\right)_4 - \left(\frac{\Delta p}{Q}\right)_1}{Q_4 - Q_1}. \quad (11)$$

Выбираем на прямой две любые точки 1 и 4, находим для них $\left(\frac{\Delta p}{Q}\right)_1 = 0,048$ и $Q_1 = 31$; $\left(\frac{\Delta p}{Q}\right)_4 = 0,085$ и $Q_4 = 135$. Коэффициент B равен:

$$B = \frac{0,085 - 0,048}{135 - 31} = \frac{0,037}{104} = 3,56 \cdot 10^{-4} \text{ МПа} \cdot \text{т/сут.}^2.$$

Таким образом, уравнение притока нефти для данной скважины имеет вид

$$\Delta p = 0,037 \cdot Q + 3,56 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2. \quad (12)$$

В результате расчёта были построены индикаторные линии скважины, проанализирован характер их выпуклости и дано объяснение такому результату. Графоаналитическим методом были определены коэффициенты A и B и затем выведено уравнение притока нефти в скважину.

Литература

1. Оперативный подсчёт запасов по пластам Дкт колганской толщи и T_1 турнейского яруса Царичанского месторождения нефти по состоянию на 01.11.2007 г. – Оренбург: ЗАО «Центр наукоёмких технологий», 2007.
2. Исследование нефтяной скважины на приток [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://knowledge.allbest.ru/geology/3c0b65625a2bd69a5c43a88521216c26_0.html
3. Чуйкин Е.П., Арутюнян А.С., Савенок О.В., Петрушин Е.О. Анализ эффективности гидродинамических исследований скважин на Приобском месторождении // Строительство и ремонт скважин – 2015. Сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (21-26.09. 2015 г. / г. Анапа, Краснодарский край; ООО «Научно-производственная фирма «Нитпо». – Краснодар, 2015. – С. 62-68.

4. Петрушин Е.О., Савенок О.В., Арутюнян А.С. Анализ современных технологий интерпретации результатов гидродинамических исследований горизонтальных скважин // Горный информационно-аналитический бюл. – М.: «Горная книга», 2015. – № 10. – С. 397-405.

5. Петрушин Е.О., Савенок О.В., Арутюнян А.С. Разработка математической модели изменения давления в процессе исследования горизонтальных скважин // «Инженер-нефтяник». – М.: ООО «Ай Ди Эс Дриллинг», 2015. – № 3'2015. – С. 44-48.

6. Петрушин Е.О., Арутюнян А.С. Определение влияния геологических и технологических факторов на производительность горизонтальных скважин на примере морского нефтяного месторождения Кравцовское Д-6 // НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ (политехнический вестник). – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2015. – № 3. – С. 81-99.

7. Петрушин Е.О., Савенок О.В., Арутюнян А.С. Определение дебита пластовой жидкости с учётом отклонения оси скважины от нормали к плоскости напластования пород // «Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море». – М.: ВНИИОЭНГ, 2015. – № 11. – С. 9-13.

8. Петрушин Е.О., Савенок О.В., Арутюнян А.С. Интерпретация результатов испытания горизонтальных скважин и анализ полученных данных на примере Памятно-Сасовского нефтяного месторождения (Волгоградской области) // «Инженер-нефтяник». – М.: ООО «Ай Ди Эс Дриллинг», 2015. – № 4'2015. – С. 34-44.

9. Петрушин Е.О., Савенок О.В., Арутюнян А.С. Разработка методики определения параметров пласта по данным исследования горизонтальных скважин и оценка применимости полученных данных // «Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море». – М.: ВНИИОЭНГ, 2016. – № 1. – С. 43-47.

10. Петрушин Е.О., Савенок О.В., Арутюнян А.С. Анализ существующих методов определения параметров пласта по данным гидродинамических исследований горизонтальных скважин // «Нефтепромысловое дело». – М.: ВНИИОЭНГ, 2016. – № 4. – С. 23-28.

11. Петрушин Е.О., Савенок О.В., Арутюнян А.С. Анализ применения методики определения параметров пласта по данным исследования горизонтальных скважин, её особенности и новые возможности // «Наука и техника в газовой промышленности». – М.: ОАО «Газпром промгаз», 2016. – № 2/2016. – С. 47-58.

12. Петрушин Е.О., Арутюнян А.С., Лешкович Н.М. Диагностика газовой скважины по результатам гидродинамических исследований при установившейся фильтрации // Булатовские чтения: матер. I Междунар. научн.-прак. Конф. (31.03.2017 г.) в 5 томах: сб. статей / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2017. – Т. 2: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – С. 215-226
Режим доступа: <http://www.id-yug.com/images/id-yug/Bulatov/2017/2/PDF/2017-V2-215-226.pdf>.

13. Петрушин Е.О., Арутюнян А.С. Эффективные методы гидрогеологических исследований при разработке нефтегазовых месторождений // НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ (политехнический вестник). – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2017. – № 2. – С. 150-160.

14. Шальская С.В., Петрушин Е.О., Савенок О.В. Интерпретация результатов гидродинамических исследований: методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Интерпретация результатов гидродинамических исследований» для студентов-бакалавров всех форм обучения и МИППС направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело» (профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов добычи нефти»). – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2015. – 44 с.

15. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2012-2015. – Т. 1-4.

16. Булатов А.И., Савенок О.В. Практикум по дисциплине «Заканчивание нефтяных и газовых скважин»: Учебное пособие. – Краснодар: ООО «Издательский Дом-Юг», 2013-2014. – Т. 1-4.

17. Булатов А.И., Волощенко Е.Ю., Кусов Г.В., Савенок О.В. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин: Учебное пособие для студентов вузов. – Краснодар: ООО «Просвещение - Юг», 2011. – 603 с.

18. Савенок О.В., Арутюнян А.С., Шальская С.В. Интерпретация результатов гидродинамических исследований: учебное пособие. – Краснодар: ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2017.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМОГАЗОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СРЕДНЕ-НАЗЫМСКОМ НЕФТЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Т.В. Арутюнов*, О.В. Савенок**

* ООО «НК «Роснефть» - НТЦ»

** ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

На фоне долговременной тенденции усиления негативных процессов в развитии российской нефтедобычи – ухудшения структуры сырьевой базы, низкой эффективности технологических показателей разработки и, как следствие, снижения объёмов добычи нефти – становится всё более актуальным применение и развитие современных методов увеличения нефтеотдачи (МУН). Зарубежный опыт свидетельствует, что освоение и применение современных МУН в промышленных масштабах позволяет достигнуть увеличения нефтеотдачи до 50 % на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами. В этой связи всё более актуальным становится решение проблемы освоения возрастающей доли месторождений с трудноизвлекаемыми запасами в низкопроницаемых коллекторах и нетрадиционными нефтяными ресурсами в нефтематеринских породах баженовской свиты.

Перспективы освоения таких запасов связаны с созданным в 1971 году в СССР на стыке тепловых и газовых технологий термогазовым методом (ТГВ) увеличения нефтеотдачи.

Для его реализации впервые в мировой практике используется важная энергетическая особенность значительной части месторождений – повышенными пластовыми температурами свыше 60-70 °С. Такие температуры при закачке воздуха в результате высокой интенсивности окисления нефти гарантируют безопасное ведение процесса и обеспечивают внутрипластовую

генерацию высокоэффективного вытесняющего газового агента, обеспечивающего кардинальный прирост нефтеотдачи.

Проектная документация разработана для обеспечения проведения экспериментально-промысловых работ по опробованию термогазового воздействия на опытном участке в районе Р-210 Средне-Назымского лицензионного участка НГДУ «РИТЭК Ханты-Мансийскнефть».

Средне-Назымское нефтяное месторождение расположено в Ханты-Мансийском районе Ханты-Мансийского автономного округа Тюменской области.

В 1998 г. компания ОАО «Назымгеодобыча» приобрела право на пользование недрами Средне-Назымского лицензионного участка.

В 2006 г. Научно-производственным центром по геологии, проектированию, созданию и совершенствованию технологий разработки нефтяных месторождений компании «РИТЭК» был подготовлен проект пробной эксплуатации Средне-Назымского месторождения, который утверждён Протоколом ЦКР № 3885 от 12.12.2006 г.

Предварительные экспериментальные исследования проводились в 1980-е гг. в институтах ВНИИнефть им. А.П. Крылова и Сибирском научно-исследовательском институте нефтяной промышленности (СибНИИ НП).

В породах баженовской свиты наряду с лёгкой нефтью, занимающей пустоты, углеводороды содержатся также в связанном виде, в сапропелевом веществе – керогене, который является составной породообразующей частью баженовской свиты.

Для извлечения содержащейся в породе лёгкой нефти тепловое воздействие должно характеризоваться температурой в пласте до 300-350 °С, в то время как для извлечения углеводородов из твёрдой фазы керогена необходима более высокая температура – выше 400 °С. Применение термогазового воздействия удовлетворяет обоим упомянутым условиям.

Ранее нами были рассмотрены условия накопления и нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири [1], где сказано, что баженовская свита – уникальный нефтегазовый объект. Это

связано с высокими неоднородностями пласта, имеющими мозаичный характер низких фильтрационно-емкостных свойств, изолированностью пласта, высокой гидрофобностью и другими геологическими особенностями. Баженовская свита – это пачка (свита) горных пород, выявленных в Западной Сибири на глубинах более 2-х км. Она распространена на территории более миллиона квадратных километров, при этом имеет сравнительно небольшую толщину – 20-30 м.

Уникальной особенностью «баженовки», определяющей её промышленную ценность, является высокая насыщенность нефтью. К тому же она отличается высоким качеством (типа марки Brent) – лёгкая, малосернистая и без других вредных примесей, поэтому требует меньше затрат на первичную и глубокую переработку. На больших глубинах, где распространены баженины, высокие температуры (100-130 °С и больше) и высокое давление. Это повышает опасность аварий и даже пожаров, но и дебит скважин здесь будет больше.

Запасы нефти в пластах баженовской свиты только по Западной Сибири превышают 140 млрд. т. В любой точке на площади 1,3 млн. км² баженовской свиты можно получить нефть. Причём баженовские скважины обеспечат высокие дебиты, и уже зафиксирован максимальный дебит, который составил 6 тыс. м³ в сутки.

Изучению литологических особенностей баженовской свиты уделяется значительное внимание на протяжении нескольких десятилетий. Последние исследования и современные методы обработки результатов позволили уточнить специфику состава пород баженовских отложений в конкретных разрезах и в площадном аспекте.

По данным совместного анализа материалов ГИС и кернавого материала, в пределах баженовской свиты на исследуемой территории прослеживаются три цикла осадконакопления, в пределах каждого из которых наблюдается снизу вверх смена карбонатных пород на кремнистые. Литологически продуктивная часть комплекса представлена переслаиванием кремнисто-глинистых пород, опок и чёрных глинистых известняков. Каждый из пластов Ю₀ и ЮК₁ состоит из нескольких карбонатных пропла-

стков, количество которых не остаётся фиксированным от скважины к скважине. С одной стороны, наблюдаются процессы цементации карбонатным и кремнистым веществом трещин и вмещающих глинистых пород, пиритизация ракушняковых прослоев (рис. 1). С другой стороны, отмечается наличие интенсивных процессов выщелачивания неустойчивых минералов, приводящее к образованию каверн и пор. Отмечены процессы доломитизации карбонатных пород, также способствующие увеличению их порового пространства.



Рисунок 1 – Фотографии керна разреза баженовской свиты

Большое значение имеют современные тектонические движения (формирующие современный рельеф участка), создающие высокие давления и температуры в рассматриваемых породах. Современные аномально высокие пластовые давления в баженовской свите дополнительно способствуют дальнейшему расстрескиванию карбонатных пород при отжиме в них жидких углеводородов.

Особенность баженовского коллектора состоит в том, что его фильтрационные свойства полностью определяются трещиноватостью, часть из них имеют сложное строение: наряду с обычными трещиноватыми пропластками, содержащими микро- и мезомасштабные трещины, имеющие ориентацию от горизонтальной до сложной пространственной. Коллектор включает отдельные макротрещины, пронизывающие его пропластки (рис. 2).

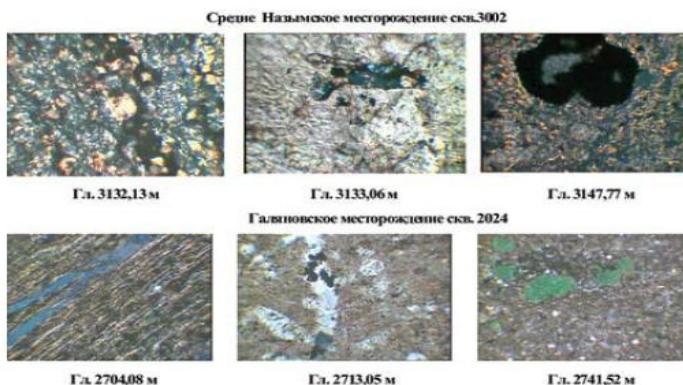


Рисунок 2 – Фотографии шлифов баженовской свиты Средне-Назымского и Галяновского месторождений

Дополнительно коллектор может также включать пространственные зоны (области) трещиноватости. Эти зоны могут быть развиты по всей или только по части толщины баженовской свиты, причём их характерные размеры по латерали могут варьировать от нескольких десятков/сотен метров до нескольких сотен метров/километров, а трещиноватость в них может быть многомасштабной, включающей трещины микро-, мезо- и макроуровня. При этом наиболее крупные трещины (мезо- и макротрещины) субвертикальны, что должно породить выраженную анизотропию проницаемости трещиноватых зон.

Характер развития коллекторов по площади месторождения весьма сложный. Как показал опыт исследований на Ем-Егорьевской площади, наиболее продуктивные зоны контролируются в основном четырьмя факторами, включающими структурообразование, разрывную тектонику, литологию и гидротермаль-

ную проработку. Предполагается, что возможность образования вторичных коллекторов зависит от литологических особенностей отдельных прослоев. Тип коллекторов оценивается как порово-кавернозно-трещинный.

Оценивая свойства баженовской свиты с точки зрения нефтегазоносности, можно отметить следующее:

- баженовская свита обладает высоким нефтегазоматеринским потенциалом и содержит значительный объем углеводородов;
- миграция углеводородов из баженовской свиты в окружающие породы, скорее всего, нашла локальный характер и была связана с наличием зон повышенной трещиноватости;
- большая часть нефтегазоперспективных ресурсов сохранилась *in situ*, т.е. осталась в баженитах;
- низкие коллекторские свойства, особенно проницаемость пород, представляют основное препятствие для промышленного освоения нефтегазового потенциала баженовской свиты;
- необходимо разрабатывать новые методы и технологии для промышленного освоения ресурсов углеводородов баженовской свиты, основанные на поддержании пластового давления и улучшении коллекторских свойств баженовских пород.

Применение технологии термогазового воздействия

Анализ и обобщение мирового и отечественного опыта воспроизводства сырьевой базы нефтедобычи показывает, что приоритетным направлением прироста запасов нефти в настоящее время становятся современные методы увеличения нефтеотдачи (МУН), особенно интегрированные технологии, сочетающие в себе комбинацию различных методов (тепловых, газовых и физико-химических).

Именно такой подход к их развитию и промышленному применению может обеспечить синергетический эффект в освоении новых и разрабатываемых нефтяных месторождений, существенный рост извлекаемых запасов и объемов добычи нефти без дополнительных затрат на геологоразведочные работы, а также экономии капитальных вложений на обустройство новых месторождений и развитие инфраструктуры.

В этой связи актуально решение проблемы освоения всё возрастающей доли трудноизвлекаемых запасов нефти на разрабатываемых и обустроенных месторождениях России.

Большие перспективы в решении этой проблемы связаны с применением термогазового воздействия (ТГВ), впервые предложенного в 1971 г. в институте «ВНИИнефть». Имеется целый ряд публикаций и докладов, в которых достаточно подробно рассмотрены основные представления о технологии ТГВ. В этой связи ниже отмечены только основные особенности технологии и даны некоторые новые обобщения.

Анализ результатов этих исследований позволил обосновать необходимость разработки месторождений баженовской свиты на основе интеграции теплового, газового и гидравлического воздействия.

Описание метода термогазового воздействия

Термогазовое воздействие – это воздействие на нефтяной пласт, при котором нефть, содержащаяся в баженовской свите, приобретает подвижность за счёт нагрева и смешивания с продуктами окислительных внутрипластовых процессов (рис. 3). Начались промышленные испытания технологии термогазового воздействия на залежь баженовской свиты Средне-Назымского месторождения.

Принципиальные особенности технологии термогазового воздействия:

- закачка воздуха и его трансформация в эффективные вытесняющие агенты (углекислый газ, лёгкие углеводороды) за счёт внутрипластовых окислительных и термодинамических процессов;
- использование природной энергетики пласта – повышенной пластовой температуры (свыше 60-70 °С) для самопроизвольного инициирования внутрипластовых окислительных процессов и формирования высокоэффективного вытесняющего агента.

Данный метод позволяет вовлечь в эффективную разработку трудноизвлекаемые запасы нефти баженовской свиты Западной Сибири, которые при существующем уровне техники и технологии не относятся к категории промышленных запасов.

Результаты работ по проекту ориентированы на перевод их в категорию промышленных запасов углеводородного сырья.

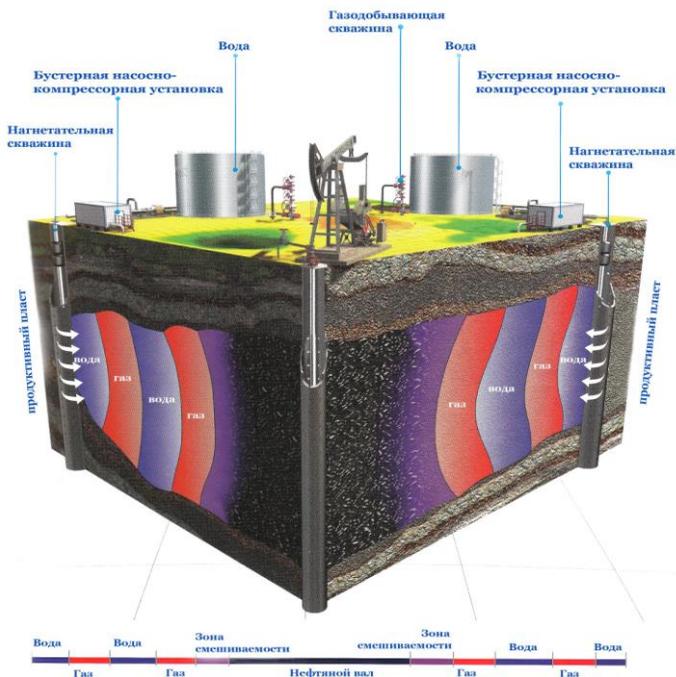


Рисунок 3 – Схема работы термогазового метода

Существенной отличительной особенностью внутрипластовых окислительных процессов в породах баженовской свиты является то, что в качестве топлива при реализации этих процессов будет преимущественно использоваться кероген, который содержится во всех литотипах пород баженовской свиты. Преимущественное использование керогена в качестве топлива во внутрипластовых окислительных процессах объясняется его меньшей подвижностью по сравнению с лёгкой нефтью. Поэтому содержание керогена в прогретой зоне будет, как правило, больше, чем содержание лёгкой нефти, ибо она из этой зоны эффективно вытесняется смешивающимися агентами, формируемыми в результате внутрипластовых окислительных процессов. А эти процессы

в основном и будут происходить в прогретых зонах. Очевидно, что использование в качестве топлива керогена существенно сократит затраты лёгких нефтей на процессы окисления и горения.

Метод термогазового воздействия основан на закачке в пласт широко доступных и дешёвых рабочих агентов (воздуха и воды) и использует важную энергетическую особенность месторождений Западной Сибири, характеризующихся не только высоким пластовым давлением, но и повышенными пластовыми температурами (свыше 65 °С). Такие температуры при закачке воздуха в результате высокой скорости процесса расходования кислорода воздуха на окисление нефти гарантируют безопасное ведение процесса и обеспечивают внутрипластовую генерацию высокоэффективного вытесняющего газового агента, содержащего в основном азот, диоксид углерода, лёгкие фракции нефти. Такой состав вытесняющего агента обеспечивает смешивающееся вытеснение лёгкой нефти и прирост нефтеотдачи скважин.

Выбор участка для проведения опытных экспериментально-промысловых работ основан на том, что в зоне скважины № Р-210 сформирован элемент эксплуатационной сетки скважин, позволяющий осуществить реализацию термогазового метода и контроль за его результатами.

Подача сжатого воздуха и технической воды осуществляется в нагнетательную скважину № Р-210. Добывающими скважинами являются скважины №№ 3003, 3005, 3007, 3008 и 3009, расположенные на лицензионном участке куста № 3. Скважина № Р-210 также расположена на лицензионном участке куста № 3.

Все сооружения, расположенные на кустовой площадке, в соответствии с «Техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений» (№ 384-ФЗ от 30.12.2009 г.) относятся к повышенному уровню ответственности.

Результатом работы установки следует ожидать увеличение дебита добывающих скважин на площадке куста № 3. По результатам лабораторных исследований нефть характеризуется как лёгкая с плотностью до 0,834 г/см³, малосернистая (содержание серы 0,47 %), газосодержание 120 м³/т, объёмный коэффициент 1,29.

Преимущества метода термогазового воздействия заключаются в следующем.

- в породах баженовской свиты в качестве топлива при реализации внутрипластовых окислительных процессов будет преимущественно использоваться кероген, содержащийся во всех литотипах пород баженовской свиты, преимущественное использование которого в качестве топлива во внутрипластовых окислительных процессах объясняется его меньшей подвижностью по сравнению с лёгкой нефтью;
- относительная простота реализации;
- нулевая стоимость используемого газового агента (природный газ, CO₂, азот, применяемые в проектах «газового заводнения»), необходимо либо вырабатывать, либо транспортировать к месту закачки, что стоит определённых денег, тогда как воздух бесплатен и всегда рядом в неограниченных количествах);
- возможность применения технологии на объектах с весьма низкопроницаемыми (10^{-3} мкм² и менее) и низкопористыми (менее 15 %) коллекторами;
- возможность применения на объектах с водочувствительными коллекторами, не пригодными для заводнения.

Значимость термогазового воздействия в науке

Метод термогазового воздействия на месторождения лёгкой нефти создан на стыке тепловых и газовых методов увеличения нефтеотдачи и интенсификации нефтедобычи. Этот метод, несмотря на то, что он базируется на физико-химических процессах, сходных с теми, что лежат в основе термических и газовых методов, в том числе и метода внутрипластового горения, создан на принципиально новых физических основах, отличающихся от реализуемых в известных методах.

Новый метод основан на закачке в пласт широко доступных, а следовательно, и дешёвых рабочих агентов, и впервые в мировой практике использует важную энергетическую особенность значительной части месторождений (особенно Западной Сибири), которые характеризуются не только высоким пластовым давлением, но и повышенными пластовыми температурами. Такие температуры при закачке воздуха в результате высокой

скорости процесса расходования кислорода воздуха на окисление нефти гарантируют безопасное ведение процесса и обеспечивают внутрипластовую генерацию высокоэффективного вытесняющего газового агента, содержащего в основном азот, диоксид углерода, лёгкие фракции нефти. Такой состав вытесняющего агента обеспечивает смешивающееся вытеснение лёгкой нефти, а значит, и потенциал кардинального прироста нефтеотдачи, особенно при разработке месторождений с трудноизвлекаемыми запасами.

Принципиальная особенность термогазового воздействия на породы баженовской свиты заключается в том, что его применение обеспечивает:

- эффективное извлечение нефти из дренируемых зон за счёт трансформации закачиваемой в пласт кислородсодержащей смеси в смешивающийся с нефтью вытесняющий агент в результате самопроизвольных внутрипластовых окислительных процессов;

- извлечение нефти из содержащегося в дренируемых зонах керогена за счёт термического крекинга и пиролиза;

- извлечение нефти из недренируемых зон (матрицы) вследствие возрастания её изначально низких фильтрационно-емкостных свойств за счёт их прогрева теплом, поступающим из дренируемых зон в результате формирования в них управляемого теплового воздействия.

В результате проведённой оценки установлен ориентировочный потенциал прироста извлекаемых запасов нефти за счёт освоения и развития предложенного инновационного технико-технологического комплекса, а также его составных компонентов. Прирост может составить:

- на месторождениях баженовской свиты – 35-50 млрд. т;
- на месторождениях с низкопроницаемыми коллекторами – 5-6 млрд. т;
- на месторождениях высоковязкой нефти – 1,7-2,0 млрд. т.

Литература

1. Арутюнов Т.В. Условия накопления и нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири. Современные тенденции развития науки и технологий: Сб. научн. тр. по матер. III Меж-

дунар. научн.-практ. конф. (30.06.2015 г.): в 6 ч. / Под общ. ред. Е.П. Ткачёвой. – Белгород: ИП Ткачёва Е.П., 2015. – Ч. IV. – С. 117-126.

2. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Исследование сланцевых пород и природы сланцевой нефтеносности баженовской свиты и формации Баккен // НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ (политехнический вестник). – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2015. – № 1. – С. 28-46.

3. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Особенности строения месторождений сланцевых отложений / Проблемы геологии и освоения недр: Труды XIX Международного симпозиума им. академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвящённого 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией (6-10.04.2015 г.). – Томск: Изд-во Томского политехн.о ун-та, 2015. – Том II. – С. 385-387.

4. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Анализ характеристик геологического строения и коллекторских свойств сланцевых отложений // «Нефть. Газ. Новации». – ООО «Редакция журнала «Нефть. Газ. Новации», 2015. – № 4/2015. – С. 72-76.

5. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Жизненный цикл инновационного продукта – сланцевого газа // Новые технологии – нефтегазовому региону. Матер. Всерос. с междунар. участием научн.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных (19-20.05.2015 г.). Т. 1. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – С. 49-52.

6. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Prospettive di shale gas Russa (Перспективы применения сланцевого газа в России) // Italian Science Review. 2015; 5(26). P. 138-145.

7. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Моделирование глинистых пород с колломорфным кремнезёмом // «Инженер-нефтяник». – М.: Издательство ООО «Ай Ди Эс Дриллинг», 2015. – № 2'2015. – С. 18-21.

8. Арутюнов Т.В. Сланцевый газ как перспективный вид ископаемого топлива // НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ (политехнический вестник). – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2015. – № 2. – С. 27-35.

9. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Экологические проблемы при разработке месторождений сланцевых углеводородов // «За-

щита окружающей среды в нефтегазовом комплексе». – М.: ВНИИОЭНГ, 2015. – № 9. – С. 39-42.

10. Арутюнов Т.В., Савенок О.В., Кошелев А.Т. Разработка методологии приготовления образцов глинисто-кремнистых пород с учётом факторов неоднородности и неопределённости // «Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море». – М.: ВНИИОЭНГ, 2015. – № 10. – С. 25-28.

11. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Технология добычи сланцевого газа и влияние на экологию // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XX Междунар. симпозиума им. академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвящённого 120-летию со дня основания Томского политехнического университета (4-8.04.2016 г.). – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2016. – Т. II. – С. 68-70.

12. Арутюнов Т.В., Савенок О.В., Шляховой Д.С. Постановка задачи экспериментальных исследований глинисто-кремнистых сланцевых пород // «Наука и техника в газовой промышленности». – М.: ОАО «Газпром промгаз», 2016. – № 2/2016. – С. 3-10.

13. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Экспериментальные исследования глинисто-кремнистых сланцевых пород с точки зрения способности создания новых поверхностей // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – М.: ЗАО «Издательство «Нефтяное хозяйство», 2016. – № 2. – С. 38-41.

14. Арутюнов Т.В., Савенок О.В., Шляховой Д.С. Теоретическое исследование процесса формирования искусственных образцов глинисто-кремнистых сланцевых пород // «Инженер-нефтяник». – М.: ООО «Ай Ди Эс Дриллинг», 2016. – № 3'2016. – С. 34-39

15. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Характеристика пород-коллекторов сланцевого газа Технические и технологические системы: Матер. VIII междунар. научн. конф. «ТТС-16» (24-26.112016 г.) / ФГБОУ ВО «КубГТУ», КВВАУЛ им. А.К. Серова; Под общ. ред. Б.Х. Гайтова. – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2016. – С. 253-261.

16. Арутюнов Т.В. Горючие сланцы как местный вид топлива // Матер. VIII междунар. научн. конф. «ТТС-16» (24-

26.112016 г.) / ФГБОУ ВО «КубГТУ», КВВАУЛ им. А.К. Серова; Под общ. ред. Б.Х. Гайтова. – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2016. – С. 261-266.

17. Арутюнов Т.В. Что такое сланцевый газ // НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ (политехнический вестник). – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2016. – № 4. – С. 19-37.

18. Булатов А.И., Волощенко Е.Ю., Кусов Г.В., Савенок О.В. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин: Учебное пособие для студентов вузов. – Краснодар: ООО «Промсвещение - Юг», 2011. – 603 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ФРАКЦИИ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА ОПОШНЯНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А.С. Магомадов (д.т.н., проф.), Э.К. Вайниловский**, В.В. Герасимова**

**ФБГОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)*

*** ГБПОУ КК Краснодарский колледж электронного приборостроения (г. Краснодар, Россия)*

Изучение теплофизических свойств газовых конденсатов и их фракций в жидкой фазе при различных параметрах состояния имеет как существенно практический, так и теоретический интерес. Известно, что до настоящего времени нет общепризнанной теории жидкого состояния веществ. Поэтому методы прогнозирования коэффициента теплопроводности жидкостей являются в основном эмпирическими [1]. Таким образом, наиболее надежными данными о теплофизических свойствах о газовых конденсатах и их фракциях являются опытные данные.

С этой целью были отобраны одиннадцать фракций газового конденсата Опошнянского месторождения [2]. Физико-химические свойства исследуемых фракций приведены ниже в табл. 1.

Была создана экспериментальная установка, позволяющая измерять коэффициент теплопроводности жидкостей в интервале температур от -50 °С до 200 °С и давлениях до 100 МПа. В

основу методики измерения был взят метод нагретой нити. Он зарекомендовал себя как наиболее точный в подобных измерениях. Методика была подробно описана в [3].

Таблица 1
Физико-химические свойства фракций газового конденсата Олошьянского месторождения

Темпер. выкипания фракций, °С	Выход фр., % вс.	M	n _D ²⁰	ρ ₄ ²⁰	γ ₂₀ , см ² /с	ρ _{жс} , МПа	T _{жс} , К	Групповой УВ состав, %		
								X _н	X _н	X _а
НК-95	5,9	92,7	1,4083	0,7212	0,641	3,358	522,7693	48,3	43,0	8,7
95-122	9,4	107,3	1,4362	0,7709	0,732	3,112	586,4459	30,3	47,8	21,9
122-150	9,1	121,5	1,4497	0,7925	0,884	3,041	619,0604	38,3	29,7	32,0
150-175	8,3	130,0	1,4554	0,8097	1,562	2,858	667,5981	55,0	13,0	32,0
175-200	11,7	143,0	1,4659	0,8320	2,238	2,633	708,9853	58,3	9,7	32,0
200-225	7,4	160,0	1,4781	0,8483	2,958	2,648	741,9685	50,1	15,3	34,6
225-250	7,5	176,2	1,4880	0,8607	4,862	2,432	742,1639	47,1	13,3	39,6
250-275	6,8	198,8	1,4895	0,8624	6,681	2,300	772,8430	56,1	11,9	31,4
275-300	4,8	221,3	1,4875	0,8599	13,380	2,195	785,5413	40,0	46,4	23,6
300-325	10,9	–	1,4840*	0,8342*	6,767*	2,145	813,9535	–	–	–
325-КК	–	–	1,4672*	0,8402*	7,594*	2,014	827,4870	–	–	–

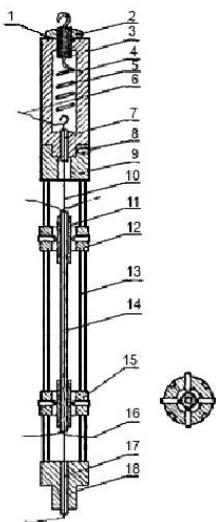


Рисунок 1

Основным элементом установки для измерения коэффициента теплопроводности жидкостей является измерительная ячейка (рис.1).

Измерительная ячейка представляет собой тонкостенный никелевый капилляр, являющийся наружным термометром сопротивления, по оси которого натянута платиновая нить, служащая одновременно нагревателем и внутренним термометром сопротивления.

В качестве нагревателя и внутреннего термометра сопротивления использовали нить, изготовленную из платины марки «Победа».

Применение никелевого термометра сопротивления было обусловлено следующими причинами:

- температурный коэффициент сопротивления никеля в 1,5-2 раза больше температурного коэффициента наиболее часто применяемого в качестве термометрического материала - платины;
- никель химически стоек в воздухе (и в большинстве окислительных сред), вследствие чего показания одного и того же термометра хорошо воспроизводятся;
- никелевый термометр сопротивления может быть использован для измерения температур до 350°C (при температуре 368°C никель имеет точку магнитного превращения, что изменяет его свойства).

Никелевый капилляр, отобранный из большого числа капилляров серии, проверяли на прямолинейность и эллиптичность на микроскопе УИМ-21. Отклонение от прямолинейности не превышало 0,01 мм. Наружный диаметр измеряли через каждые 10 мм по длине двух взаимно перпендикулярных плоскостей. Эллиптичность не превышала 0,005 мм.

Определение внутреннего диаметра никелевого капилляра производили по всей длине измерительного участка с шагом 10 мм при прямом и обратном перемещении ртути в капиллярах.

На концы капилляра для электроизоляции от каркаса и уменьшения торцевых потерь тепла были надеты тонкостенные стеклянные трубочки 11.

Для обеспечения возможности центрирования ячейки был изготовлен специальный каркас, состоящий из латунных втулок 9, 12, 15 и 18, имеющих по четыре взаимно перпендикулярных отверстия под винты М2. Винты во втулках 12 и 15 служат для центровки нити по оси капилляра, а винты втулки 9 - для крепления к каркасу ячейки рамки для пружины 5, изготовленной из вольфрамовой проволоки диаметром 0,15 мм. В пазы втулок были впаяны предварительно отожженные стальные спицы 13.

При сборке измерительной ячейки платиновая нить 10 с одной стороны запаивалась в стеклянный капилляр 17 с внутренним диаметром 0,1 мм, который крепился в гнезде втулки 18. Для равномерного натяжения платиновой нити другой конец ее припаивался к вольфрамовой пружине. Свободный конец пружины для изоляции закреплялся в стеклянных капиллярах 1, расположенных в винте 3, который вворачивался в рамку 4. Рамка крепилась к каркасу с помощью четырех винтов 8. Изоляция нити от каркаса и рамки осуществлялась с помощью стеклянного капилляра 7. Нить натягивалась грузом весом 10 г, который подвешивался к крючку пружины и ячейка выдерживалась в вертикальном положении определенное время. После чего винт 1 выворачивался до упора и груз снимался.

После сборки ячейки с помощью установочных винтов на микроскопе УИМ-21 производили центровку никелевого капилляра 14 относительно платиновой нити. Эксцентриситет нити проверяли по наружному диаметру капилляра. Замеры производили в двух взаимно перпендикулярных плоскостях при прямом и обратном ходе стола микроскопа, при этом вводилась поправка на кривизну капилляра. Средний эксцентриситет нити составил 0,03 мм.

После градуировки наружного и внутреннего термометров сопротивления в реперных точках ячейка устанавливалась в ав-

токлав, который для устранения градиента температуры по высоте помещался в массивный медный блок. Термостатирование проводилось в термостате типа ТС-24, где в качестве термостатирующей жидкости при высоких температурах использовалось веретенное масло, а при низких – гидролизный спирт. Охлаждение спирта до низких температур осуществлялось жидким азотом, подаваемым из сосуда Дьюара. Температура в термостате поддерживалась регулятором с погрешностью $\pm 0,05$ °С. При этом колебания температуры в автоклаве, за счет тепловой инерции системы «медный блок-воздушный зазор-автоклав» не превышали $\pm 0,005$ °С.

Все электрические измерения осуществлялись при помощи полуавтоматического низкоомного потенциометра постоянного тока типа Р-348 класса точности 0,002 и полуавтоматического высокоомного потенциометра постоянного тока типа Р-309 класса точности 0,005. Давление в автоклаве создавалось и измерялось с помощью грузопоршневого манометра типа МП-2500 класса точности 0,05.

В качестве примера на рис. 2 приведены графики зависимости коэффициента теплопроводности фракции 122-155 °С от температуры при различных давлениях. В общем случае представленные политермы имеют слегка криволинейный характер, выпуклый в сторону шкалы температуры.

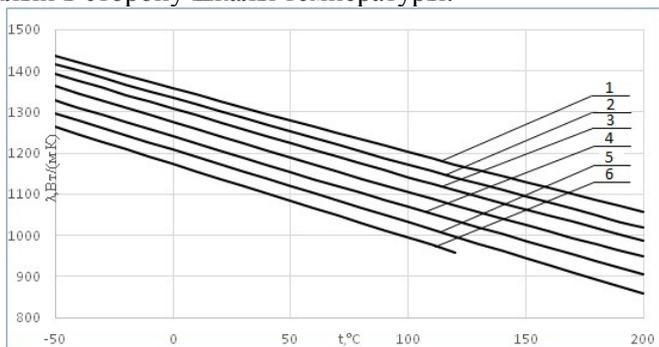


Рисунок 2 – Зависимость теплопроводности фракции газового конденсата Опошнянского месторождения от температуры при давлениях (МПа): 1 – 0,098; 2 - 9,8; 3 – 19,6; 4 – 29,4; 5 – 39,2; 6 – 49,0

Качественно аналогичный характер зависимости от температуры и давления носят коэффициенты теплопроводности и других исследуемых фракций.

Расчёты показывают, что средняя относительная погрешность измерения коэффициента теплопроводности исследуемых углеводородов составляет $\pm 1\%$.

Литература

1. Григорьев Б.А., Богатов Г.Ф., Герасимов А.А. Теплофизические свойства нефти, нефтепродуктов, газовых конденсатов и их фракций / Под ред. Б.А. Григорьева. – М.: МЭИ, 1999.

2. Бухович Е.В., Магомадов А.С. Изучение изобарной теплоёмкости газовых конденсатов с целью разработки и совершенствования аппаратов, использующих тепло. Электронный научный журнал КубГАУ. 2012. № 77. <http://ej.kubagro.ru/2012/03/pdf/60.pdf>

3. Магомадов А.С. Теплофизические свойства высоковязких нефтей: Монография. – Краснодар: КубГУ, 2000.

МОДЕРНИЗАЦИЯ НАРУЖНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ С ЦЕЛЬЮ ВНУТРЕННЕЙ ЗАЩИТЫ ШЛЕЙФОВ СКВАЖИН

*И.О. Орлова, Е.Н. Даценко, Н.Н. Авакимян, И.В. Орлов
ФБГОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)*

Экономические потери, связанные с коррозией металлов, определяются не только стоимостью прокорродировавшего металла, но и стоимостью ремонтных работ, убытками за счет временного прекращения функционирования инженерных систем, затратами на предотвращение аварий, в некоторых случаях абсолютно недопустимых с точки зрения экологической безопасности. Оценки затрат, связанных с коррозией, приводят к выводу, что общие годовые расходы на борьбу с последствиями коррозии составляют 1,5-2 % валового национального продукта. Часть этих затрат неизбежна, так как нереально полностью исключить все коррозионные разрушения. Тем не менее, можно

значительно сократить коррозионные потери за счет лучшего использования на практике существующих методов защиты от коррозии.

Надежность и сроки службы нефтегазопромысловых систем определяются эффективностью защиты металлических поверхностей труб и оборудования от коррозионного разрушения. Активная защита, включая катодную, протекторную и электрохимическую, успешно применяется для наружных металлических поверхностей [1].

Данные эксплуатации трубопроводов в ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь», ООО «УралОйл» и ЗАО «Пермьнефтегазпереработка» указывают на высокую эффективность применения активных методов защиты коммуникаций. Количество отказов трубопроводов с активной защитой и незащищенных находятся в соотношении 1:4 [2]. В настоящее время 30 % трубопроводов на объектах ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь» не имеют электрохимзащиты. В среднем около 19 % отказов связано с проявлением коррозии в местах отсутствия электрохимзащиты.

В 2006 г. на производственной базе филиала «Уфа-газ» проведены стендовые испытания антикоррозионного модуля на замкнутом участке трубопровода по оценке эффективности защиты материала труб от внутренней коррозии [3]. Под действием сформированного гальванического источника (железомагниевый элемент) происходит электролиз воды эмульгированной в нефти. За счёт электрохимических реакций (кроме катодной поляризации защищаемого оборудования) обеспечиваются условия для образования защитной плёнки магнетита. Результаты исследований показывают, что использование электрохимических методов снижения скорости внутренней коррозии в течение 36 ч позволило снизить её на 12-15 %.

Следовательно, целесообразна модернизация применяемой на месторождениях наружной электрохимической защиты с целью внутренней защиты шлейфов скважин.

Из анализа коррозионной ситуации на группе месторождений Краснодарского края известно, что наиболее подвержены

щелевой коррозии участки с резким изменением вектора скорости (отводы на входе и выходе из УПШС). Поэтому можно применить на данных участках катодную защиту от внутренней коррозии, аналогично внешней.

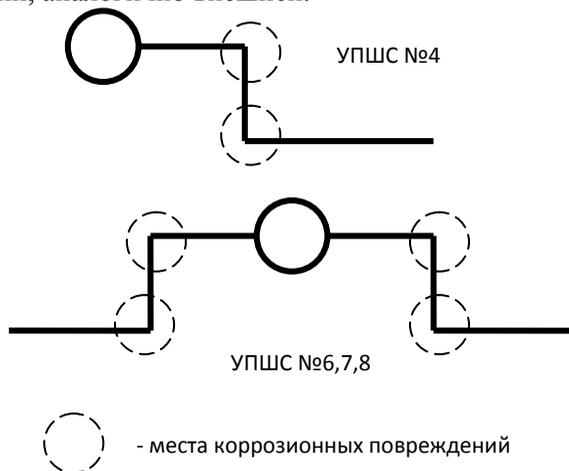
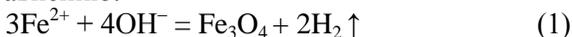


Рисунок 1 –Участки коррозионных повреждений

Устройство защиты от щелевой коррозии внутренней поверхности шлейфов, содержащих водонефтегазопесчаные смеси в местах изгиба шлейфа и изменения вектора скорости смеси, состоит из неразрушаемого проводящего электрода, помещенного в поток смеси и заземленного (рис. 2).

Ток от положительного полюса станции катодной защиты внешней поверхности шлейфа скважины проходит от заземления через изолятор к аноду (неразрушаемому электроду) и далее через водонефтегазопесчаную смесь проходит к защищаемой внутренней поверхности шлейфа. Если вблизи этой поверхности имеются ионы Fe^{2+} , возникающие вследствие процессов коррозии различных механизмов, то протекает электрохимическая реакция по уравнению:



и образование защитной пленки магнетита.

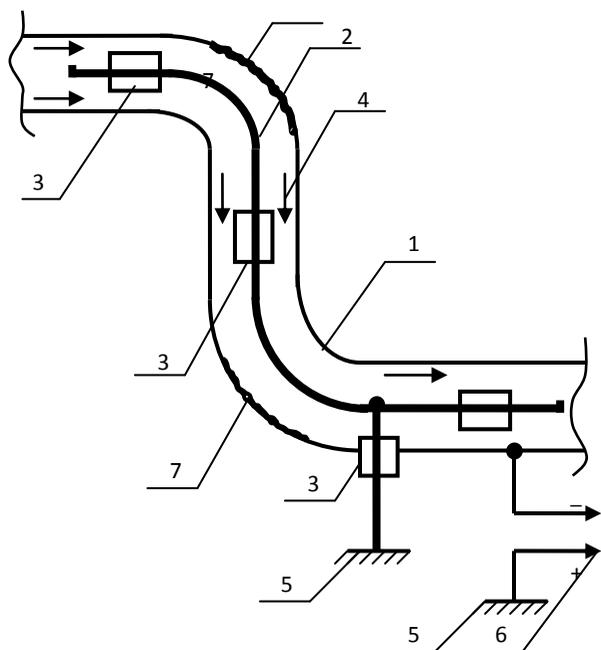


Рисунок 2 – Схема устройства катодной защиты внутренней поверхности шлейфа от щелевой коррозии при движении водонефтегазопесчаные смеси: 1 – шлейф; 2 – внутренний неразрушаемый электрод (анод); 3 – изолятор; 4 – поток водонефтегазопесчанной смеси; 5 – заземление; 6 – к станции катодной защиты внешней поверхности шлейфа; 7 – участок, подвергшийся щелевой коррозии

Рассмотрим участок трубы, подвергшийся щелевой и равномерной коррозии (рис. 3).

Экспериментально установлено, что коррозия в искривленных потоках смеси протекает в виде местных, локальных проявлений, в которых процесс коррозии протекает с большой скоростью ($\sim 10 \frac{\text{мм}}{\text{год}}$) на малой площади ($\sim 1 \text{ см}^2$). Электропроводность перехода «смесь-металл» на этом участке велика.

На значительно большей площади коррозия протекает с малой скоростью ($\sim 0,2$ мм/год), а электропроводность корродированного участка незначительна (участок 2). Электропроводность перехода «смесь-металл» на участке 1 значительно больше, чем на участке 2. Поэтому защищающий ток проходит от смеси к металлу трубы шлейфа скважины в основном через поверхность быстро корродирующего участка (щели) и здесь нет необходимости увеличивать поверхность анода для достижения эффекта катодной защиты. Смесь содержит в своем составе песок, который инициирует возникновение локальных коррозионных повреждений на начальном этапе эксплуатации трубопровода.

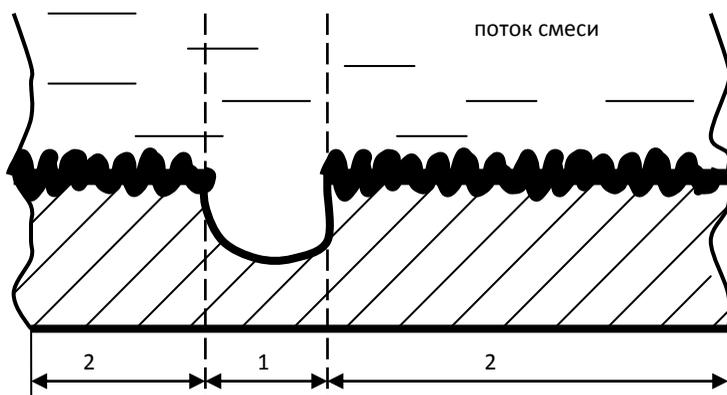


Рисунок 3 – Внутренняя поверхность трубы, подвергшаяся коррозии:
участок 1 – щелевая коррозия;
участок 2 – равномерная коррозия

Для увеличения срока службы необходимо использовать анод, не корродирующий в резко окислительной среде, окружающей его тонким слоем (например PbO_2 , графит и др.).

Применение данной схемы защиты внутренней поверхности шлейфа скважин в местах искривления потока показало снижение скорости протекания щелевой коррозии и ее интенсивности более чем в 2 раза.

Литература

1. Мустафин Ф.М. и др. Промысловые трубопроводы и оборудование. М.: Недра, 2004. – 662 с.

2. Кузнецов В.А., Гребнев В.Д., Галиханов М.Р. О роли электрохимзащиты трубопроводов от коррозии. Вестник Пермского национ. исследов. политехн. ун-та. Геология, нефтегазовое и горное дело. 2006. – Вып. № 1.

3. Пат. РФ на изобретение № 2339868. 17.07.2006 г. Опубл. 27.11.2008 г., Бюл. № 33. Устройство защиты нефтепромысловых трубопроводов от внутренней коррозии / А.И. Подъяпольский, А.Р. Эпштейн, Д.С. Худяков, А.А. Самородов, В.В. Болотов, Ю.Г. Паламарчук.

СЕКЦИЯ 5.
ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОЙ
И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
НА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА
ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ РАЗБАЛАНСИРОВАННОСТИ
СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЯ

Е.В. Кочарян, Е.Д. Скиба, И.В. Карпец
ФБГОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

Средняя температура теплоносителя в системе, где не была произведена балансировка (или система разбалансировалась ввиду существенных отложений в трубопроводах и радиаторах), как правило не соответствует проектной. В холодную погоду в части помещений будет слишком жарко, в другой - слишком холодно. Потребители будут жаловаться на слишком низкую температуру и теплоснабжающая компания будет повышать температуру подаваемого в здание теплоносителя (если это возможно). Если повысить температуру возможности нет, то потребители будут самостоятельно дополнительно отапливать помещения за счет использования электрообогревателей. При этом люди в квартирах с повышенной подачей тепловой энергии, будут вынуждены открывать окна. Наличие 1-2 мм отложений снижает эффективность работы отопительных приборов на 10-20 % [1].

Расчет потребности в тепловой энергии для зданий может быть проведен по формуле:

$$Q = q_h \cdot V \cdot (t_b - t_{po}), \quad (1)$$

где q_h – удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, Вт/м³·°C; V – отапливаемый объем здания, м³; t_b – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °C; t_{po} – средняя температура наружного воздуха, °C.

Таким образом, относительный перерасход тепловой энергии на отопление вследствие разбалансировки может быть определен как

$$n = (t_{в2} - t_{р0}) / (t_{в1} - t_{р0}). \quad (2)$$

1) В случае, если теплоснабжающая организация повышает температуру подаваемого теплоносителя годовая разница в затратах тепловой энергии определяется по формуле, Гкал:

$$\Delta Q = Q \cdot z \cdot (n-1) \cdot f, \quad (3)$$

где z – продолжительность отопительного периода, суток; n – относительный прирост необходимого количества подаваемой тепловой энергии; f – доля квартир с повышенным теплопотреблением.

Годовая экономия в денежном выражении, тыс. руб.:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta Q \cdot T_T, \quad (4)$$

где T_T – тариф на тепловую энергию, руб/Гкал.

2) В случае если жильцы компенсируют недостачу тепловой энергии за счет включения электрообогревательных приборов, то дополнительный расход электроэнергии может быть рассчитан по формуле, кВт·час:

$$\Delta E = \Delta Q \cdot 0,1486 / 344,5.$$

Годовая экономия в денежном выражении, тыс. руб.:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta E \cdot T_3, \quad (5)$$

где T_3 – тариф на электрическую энергию, руб/кВт·час.

Примерный расчет для жилого дома:

Отапливаемый объем здания V – 139727 м³.

Удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий q_h – 0,289 Вт/м³·°С;

Расчетная температура внутреннего воздуха здания, $t_{в1}$ – плюс 20 °С;

Фактическая температура внутреннего воздуха в перегретых помещениях здания, $t_{в2}$ – плюс 22 °С;

Средняя температура наружного воздуха, $t_{р0}$ – минус 2,2 °С.

Продолжительность отопительного периода, z – 205 суток;

Доля квартир с повышенным теплопотреблением, f – 0,4.

Тариф на тепловую энергию, T_T – 2101 руб/Гкал.

Тариф на электроэнергию T_3 – 5,38 руб/кВт·час.

Расчет

$$Q = q_h \cdot V \cdot (t_{в} - t_{по}) = 896460 \text{ Вт} = 0,77 \text{ Гкал/ч}$$

$$n = (t_{в2} - t_{по}) / (t_{в1} - t_{по}) = 1,09$$

$$\Delta Q = Q \cdot z \cdot (n-1) \cdot f = 0,77 \cdot 205 \cdot 24 \cdot (1,09-1) \cdot 0,4 = 136,4 \text{ Гкал/год}$$

$$\Delta E = \Delta Q \cdot 0,1486 / 0,3445 = 58836 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

$$1) \quad \Delta \mathcal{E} = \Delta Q \cdot T_{\tau} = 136,4 \cdot 2101 = 286576 \text{ руб./год}$$

$$2) \quad \Delta \mathcal{E} = \Delta E \cdot T_{\tau} = 58836 \cdot 5,38 = 316538 \text{ руб./год}$$

Таким образом, годовая экономия за счет восстановления сбалансированной системы отопления составит 286576 руб./год при потреблении тепловой энергии (316538 руб./год при использовании в качестве альтернативы электрической энергии) для указанных условий.

Литература

1. Практическое пособие по выбору и разработке энерго-сберегающих проектов / Под общ. ред. О.Л. Данилова, П.А. Костюченко, 2006. – 668 с.

2. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*.

3. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.

4. Постановление Госкомстата РФ от 23.06.1999 N 46 "Об утверждении «Методологических положений по расчету топливно-Энергетического баланса Российской Федерации в соответствии с международной практикой».

ПОКРЫТИЕ ПИКОВЫХ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК ГТУ-ТЭЦ, ВЫПОЛНЕННОЙ ПО СХЕМЕ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ

В.В. Шапошников (к.т.н.), Б.В. Бирюков (к.т.н., доц.),

А.А. Соболев (магистрант).

ФГБОУ ВО «Кюанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

В настоящее время комбинированная выработка тепловой и электрической энергии является важнейшим моментом в строении и решении задач энерго- и ресурсосберегающей отрас-

ли, а теплофикация является наивыгоднейшим способом совместного получения тепловой и электрической энергии.

Тепловую и электрическую энергию получают на ТЭЦ, использующих паротурбинное и газотурбинное оборудование с относительно невысоким КПД.

За последние годы также наблюдается увеличение потребности в тепловой и электрической энергии (более 20 %), при этом обслуживание потребителей продолжается изнашивающимся оборудованием. Вследствие вышеуказанной проблемы целесообразно искать способы покрытия пиковых потребительских нагрузок, и одним из способов является применение параллельной камеры сгорания, благодаря которой наблюдается значительный прирост к полезной мощности, что особенно важно в часы максимума потребления тепловой энергии.

Одним из методов регулирования нагрузки газотурбинных установок является применение параллельной камеры сгорания [1]. Благодаря увеличению массового расхода рабочего тела в газовой турбине, росту средней температуры подвода теплоты наблюдается значительный прирост полезной мощности, что особенно актуально при покрытии пиковых нагрузок.

Объектом внедрения является ТЭЦ, расположенная на территории горно-туристического центра ПАО «Газпром» (ГТЦ), г. Сочи, п. Эсто-Садок, где работает собственная теплоэлектроцентраль, установленной мощностью 10,8 МВт (3 ГТУ с котлами-утилизаторами УТ52 и 2 пиковых котла Vissmann). ТЭЦ обеспечивает электроэнергией эксплуатируемые объекты ГТЦ, а также объекты строящиеся (в том числе олимпийские). Теплоэнергия вырабатывается путем утилизации температур уходящих газов после ГТУ. Схема ГТУ-ТЭЦ с двухступенчатым сжатием воздуха в компрессорах, параллельной камерой сгорания и водогрейным котлом-утилизатором приведена на рис. 1. Для унификации в ней использована нумерация согласно обобщенной схеме ГТУ [2].

Для определения теплотехнических показателей был выполнен расчет характеристик ГТУ с использованием данных из

паспорта турбины OPRA: массовый расход сжимаемого в воздушном компрессоре воздуха – 9,88 кг/с; внутренний КПД компрессора – 0,87; внутренний КПД турбины – 0,87; механический КПД – 0,98; КПД электрогенератора – 0,98. Эффективный КПД базовой установки составил 27,8%, а полезная мощность ГТУ 1,803 МВт при давлении сжатого в компрессоре воздуха 1,25 МПа и температуре газов на входе в турбину $T_3 = 1250,15$ К [3].

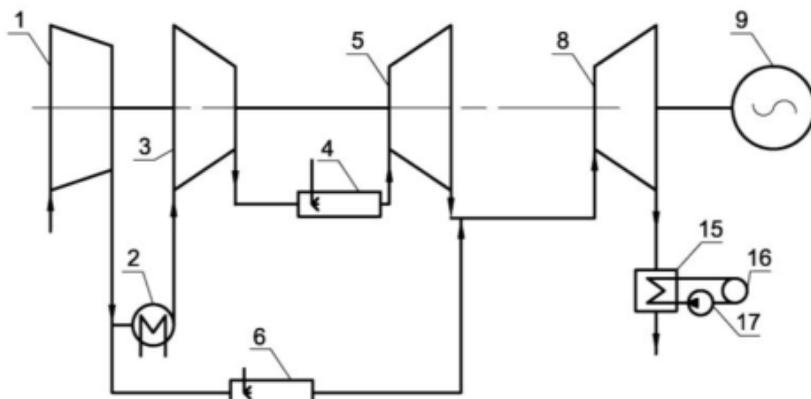


Рисунок 1 – Схема ГТУ-ТЭЦ с двухступенчатым сжатием воздуха в компрессорах, параллельной камерой сгорания и водогрейным котлом-утилизатором:

1 – компрессор низкого давления, 2 – охладитель воздуха; 3 – компрессор высокого давления, 4 – камера сгорания №1, 5 – турбина высокого давления; 6 – камера сгорания № 2, 8 – турбина низкого давления; 9 – электрогенератор, 15 – водогрейный котел-утилизатор, 16 –потребитель тепла, 17 – сетевой электронасос.

Оптимизация параметров исследуемых схем производилась с помощью программы для ЭВМ «Система автоматизированного расчета ГТУ и ПГУ смешения» [4, 5]. Экстремальное значение КПД в зависимости от давления на выходе из компрессора далеко не выходит за пределы реально существующих установок. В исследовании предельной величиной этого параметра выбрано 1,9 МПа – с учетом общей тенденции к росту начальных параметров.

В табл. 1 приведены параметры исследуемой схемы в зависимости от давления на выходе из воздушного компрессора. Расчеты показали, что максимальное значение КПД достигается при давлении парогазовой смеси на входе в турбину высокого давления 1,9 МПа и составляет 29,36 %. Электрическая мощность ГТУ при этом составила $N_{гту} = 2,481$ МВт, расход топлива $B_{тэс} = 0,24$ кг/с.

Таблица 1

Характеристики исследуемой ГТУ-ТЭЦ при различных
давлениях на выходе из КВД

P_2 МПа	$N_{кв}$ МВт	$Q_{вкв}$ МВт	$N_{гту}$ МВт	B кг/с	КПД %	КИТ %
1,1	3,05	4,56	2,67	0,29	25,9	70,2
1,2	3,14	4,24	2,66	0,29	26,6	69,0
1,3	3,23	3,95	2,64	0,28	27,2	67,8
1,4	3,31	3,69	2,62	0,27	27,7	66,6
1,5	3,38	3,45	2,59	0,26	28,1	65,5
1,6	3,45	3,24	2,57	0,26	28,5	64,4
1,7	3,51	3,04	2,54	0,25	28,8	63,3
1,8	3,57	2,86	2,51	0,25	29,1	62,2
1,9	3,62	2,69	2,48	0,24	29,4	61,2

На рис. 2 и 3 приведены зависимости КПД и КИТ, полезной мощности установки и мощности водогрейного котла-утилизатора от температуры продуктов сгорания на выходе из камеры сгорания № 2 соответственно.

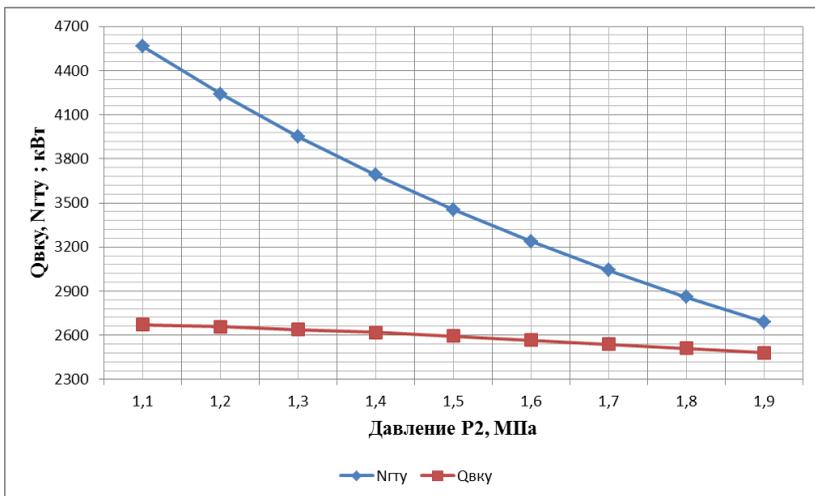


Рисунок 2 – Зависимость полезной мощности ГТУ-ТЭЦ и тепловой мощности ВКУ от степени сжатия

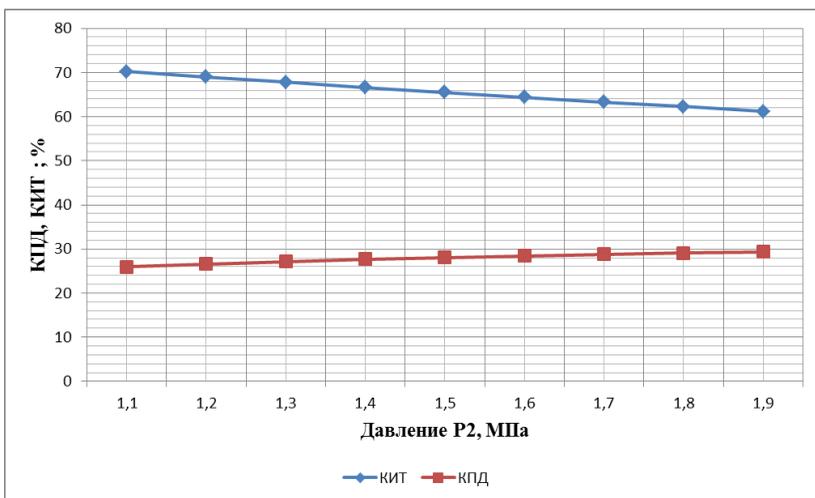


Рисунок 3 – Зависимость эффективного КПД и КИТ ГТУ-ТЭЦ от степени сжатия

Выводы:

1. Применение ГТУ-ТЭЦ с двухступенчатым сжатием воздуха в компрессорах, параллельной камерой сгорания и водогрейным котлом-утилизатором позволяет получать большую электрическую мощность, а также тепловую мощность котла-утилизатора при сохранении приемлемых значений КПД и КИТ.

2. Регулировка и форсирование мощности ГТУ-ТЭЦ с двухступенчатым сжатием воздуха в компрессорах, параллельной камерой сгорания и водогрейным котлом-утилизатором осуществляется за счет изменения нагрузки дополнительной камеры сгорания, а именно увеличения массового расхода теплоносителя и роста средней температуры подвода теплоты в цикле.

Литература

1. Пат. РФ на полезную модель № 138054. Оpubл. 27.02.14, Бюл. № 6. Газотурбинная установка / Б.В. Бирюков, В.В. Шапошников (РФ).

2. Бирюков, Б.В. Математическая модель обобщенной схемы ГТУ для исследования параллельного подвода теплоты и впрыска водяного пара / Б.В. Бирюков, В.В. Шапошников // Промышленная энергетика. – 2015. – №2. – С. 29-33.

3. Ольховский, Г.Г. Газотурбинные и парогазовые установки в России / Г.Г. Ольховский // Теплоэнергетика. – 1999. – №1. – С.2-9.

4. Свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015613955. Оpubл. 31.02.15 г.. Система автоматизированного расчета ГТУ и ПГУ смешения / В.В. Шапошников, Б.В. Бирюков.

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.

Алфавитный указатель авторов

- Авакимян Н.Н.* – 235
Арутюнов Т.В. – 217
Арутюнян А.С. – 182, 199
Афанасьев В.Л. – 141, 144, 147, 150, 157
Бац В.А. – 17
Белов А.А. – 133, 136, 139
Бирюков Б.В. – 243
Борзунов А.П. – 131
Буканов С.С. – 131
Варенов А.Б. – 17, 45
Вайниловский Э.К. – 230
Габидулин В.Э. – 43, 45
Гаврилов А.Л. – 117
Гаврилов А.О. – 126
Гайтов Б.Х. – 5, 31, 60
Герасимова В.В. – 230
Гильманов Р.Р. – 52
Голова В.В. – 76
Гунай Ф.Р. – 112
Даценко Е.Н. – 235
Добробаба Ю.П. – 153, 171
Дунайцев А.И. – 178
Ермолаев А.А. – 43, 45
Животиков В.В. – 161
Заводцев И.В. – 86
Зангиев Т.Т. – 112
Иванов С.В. – 161
Иванов И.И. – 121
Карандей В.Ю. – 141, 147, 150, 157
Карандей Ю.Ю. – 141, 144, 157
Карпец И.В. – 241
Савенок О.В. – 217
Карташев М.Н. – 5, 43, 45
Кашин А.Я. – 60
Кашин Я.М. – 17, 63, 136, 139
Катунцев С.Л. – 117
Квочкин В.В. – 144, 150
Ким В.А. – 31, 35, 39
Кириллов Г.А. – 17, 43
Киселев С.П. – 5
Кишко В.Н. – 147
Козлов Р.Н. – 100
Копелевич Л.Е. – 31, 35, 39
Косолапов А.В. – 56
Кочарян Е.В. – 241
Кошкин Г.А. – 153, 171
Кривченков В.И. – 80
Лыков Н.Ю. – 121
Лысенко А.И. – 86
Ляхненко С.В. – 175
Магомадов А.С. – 230
Марченко С.И. – 76
Модина М.А. – 20, 27
Орехов Д.Н. – 117
Орлов И.В. – 235
Орлова И.О. – 235
Папулов В.Д. – 178
Пауков Д.В. – 52
Петрушин Е.О. – 182, 199
Половинчук Н.Я. – 116
Понаморов А.В. – 126
Пономарев Е.С. – 52
Попов С.А. – 76, 80
Прохоренко Н.Я. – 153, 171
Христофоров М.С. – 11, 63, 72

Самаркин В.Г. – 131
Самородов А.В. – 63, 72, 133
Середа П.В. – 60
Скиба Е.Д. – 241
Соболь А.А. – 243
Соколовский С.П. – 117
Ставило А.Ю. – 133, 136
Суворов В.С. – 5, 139
Тимченко Т.В. – 90, 94
Тугушева З.Я. – 112

Умрихин Д.О. – 72
Чижигов В.И. – 90, 94
Чихачев Е.А. – 56
Чучин М.И. – 90, 94
Шапошников В.В. – 243
Шарифуллин С.Р. – 121
Шаршак А.А. – 39, 72
Шевелев С.С. – 76
Шкода В.В. – 20, 27, 136
Якишин А.А. – 107

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Энергосберегающие технологии и электрооборудование	5
Гайтов Б.Х., Карташев М.Н., Киселев С.П., Суворов В.С. Особенности математического моделирования параллельными структурами трехмерного температурного поля аксиальных трансформаторов и регуляторов.....	5
Христофоров М.С. Анализ конструкций преобразователей световой энергии солнца и кинетической энергии ветра в электроэнергию	11
Кашин Я.М., Кириллов Г.А., Варенов А.Б., Бац В.А. Перспективное устройство для определения места повреждения кабеля	17
Шкода В.В., Модина М.А. Перспективные конструкции топливных насосов для воздушных и морских судов	20
Модина М.А., Шкода В.В. Технологии изготовления магнитопроводов аксиальных генераторов и трансформаторов для морских и воздушных судов	27
Гайтов Б.Х., Копелевич Л.Е., Ким В.А. Энергосберегающая установка для сепарирования нефти	31
Копелевич Л.Е., Христофоров М.С., Ким В.А. Характеристики электротехнического комплекса на базе ветро-солнечного генератора	35
Копелевич Л.Е., Ким В.А., Шаршак А.А. Математическая модель установки для сепарирования нефти	39
Кириллов Г.А., Ермолаев А.А., Габидулин В.Э., Карташев М.Н. Перспективный способ определения места повреждения кабеля	43

Варенов А.Б., Карташев М.Н., Ермолаев А.А., Габидулин В.Э. Перспективные аксиальные электромагнитные устройства для систем электроснабжения летательных аппаратов	45
Пауков Д.В., Пономарев Е.С., Гильманов Р.Р. Математическое моделирование аксиальных генераторов постоянного тока для систем электроснабжения воздушных судов	52
Косолапов А.В., Чихачев Е.А. Особенности выбора электрооборудования для цеха металлопластиковых изделий	56
Гайтов Б.Х., Кашин А.Я., Середа П.В. Технико-экономические вопросы использования возобновляемых источников энергии	60
Самородов А.В., Кашин Я.М., Христофоров М.С. Способы синхронизации ветро-солнечного генератора ..	63
Самородов А.В., Христофоров М.С., Умрихин Д.О., Шаршак А.А. Расчет синхронного генератора с постоянными магнитами для ветроэнергетической установки	72
Попов С.А., Марченко С.И., Голова В.В., Шевелев С.С. Электромашинный ветро-солнечный преобразователь	76
Попов С.А., Кривченков В.И. Адаптивный наблюдатель сопротивления ротора асинхронного двигателя	80
Секция 2. Компьютерные технологии и безопасность информации в технических и технологических системах	86
Лысенко А.И., Заводцев И.В. Контроль функционирования аппаратных модулей ПЭВМ для защиты от аппаратных закладок	86

Тимченко Т.В., Чижиков В.И., Чучин М.И. Туманные решения облачных проблем	90
Тимченко Т.В., Чижиков В.И., Чучин М.И. Облачные технологии и энергопотребление	94
Козлов Р.Н. Математическая модель двухкаскадного кодового контроля оперативного запоминающего устройства средств защиты информации робототехнических комплексов военного назначения	100
Якшин А.А. Анализ влияния ошибок оптического распознавания штриховых кодов на работу входящего участка служебного делопроизводства	107
Зангиев Т.Т., Гунай Ф.Р., Тугушева З.Я. Кластерный анализ электронных СМИ в условиях информационных противоборств	112
Гаврилов А.Л., Катунцев С.Л., Орехов Д.Н., Соколовский С.П. Результаты анализа способов компрометации средств защиты информации.....	117
Иванов И.И., Лыков Н.Ю., Шарифуллин С.Р. Результаты экспериментов по управлению демаскирующими признаками виртуальных частных сетей.....	121
Секция 3. Информационные и инновационные технологии в учебном процессе и НИР	126
Гаврилов А.О., Понаморов А.В. Разрешение элементов групповой воздушной цели при различных построениях боевых порядков и характере пилотирования самолётов при их групповом применении	126
Борзунов А.П., Самаркин В.Г., Буканов С.С. Устройство мобильной защиты органов зрения от ионизирующего излучения	131

Белов А.А., Ставило А.Ю., Самородов А.В. Разработка последовательности выбора выпрямительной системы для оборудования электросвязи	133
Кашин Я.М., Белов А.А., Ставило А.Ю., Шкода В.В. Расчет емкости аккумуляторной батареи для выпрямительной системы электроснабжения оборудования электросвязи	136
Кашин Я.М., Белов А.А., Суворов В.С. Разработка последовательности выбора электропитающих установок для оборудования электросвязи	139
Карандей В.Ю., Афанасьев В.Л., Карандей Ю.Ю. Улучшенная система электропривода буровой установки	141
Афанасьев В.Л., Квочкин В.В., Карандей Ю.Ю. Программа расчета модели магнитной системы статора каскадного электрического привода цилиндрической конструкции	144
Афанасьев В.Л., Карандей В.Ю., Кишко В.Н. Расчет модели магнитной системы статора каскадного электрического привода аксиальной конструкции	147
Карандей В.Ю., Квочкин В.В., Афанасьев В.Л. Расчет модели магнитной системы статора каскадного электрического привода цилиндрической конструкции	150
Добробаба Ю.П., Прохоренко Н.Я., Кошкин Г.А. Оптимальное по быстродействию управление небольшими перемещениями исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления	153
Карандей В.Ю., Афанасьев В.Л., Карандей Ю.Ю. Расчет электромагнитных параметров системы электропривода буровой установки	157

Половинчук Н.Я., Животиков В.В., Иванов С.В. Контур наведения летательного аппарата с алгоритмом оптимального оценивания навигационной информации	161
Добробаба Ю.П., Прохоренко Н.Я., Кошкин Г.А. Синтез астатической второго порядка системы автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода постоянного тока с улучшенными характеристиками	171
Ляхненко С.В. Роль электронной библиотеки в образовательном процессе	175
Папулов В.Д., Дунайцев А.И. К вопросу о необходимости формирования системы электронного документооборота в авиационных частях	178
Секция 4. Науки о Земле	182
Петрушин Е.О., Арутюнян А.С. Способы воздействия на призабойные зоны скважин в целях увеличения их продуктивности на Шелкановском месторождении	182
Петрушин Е.О., Арутюнян А.С. Исследование скважины на приток на Царичанском нефтяном месторождении	199
Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Анализ применения технологии термогазового воздействия на Средне-назымском нефтяном месторождении	217
Магомадов А.С., Вайниловский Э.К., Герасимова В.В. Исследование коэффициента теплопроводности фракции газового конденсата Опошнянского месторождения	230
Орлова И.О., Даченко Е.Н., Авакимян Н.Н., Орлов И.В. Модернизация наружной электрохимической защиты с целью внутренней защиты шлейфов скважин .	235

Секция 5. Энерго- и ресурсосбережение при производстве тепловой и электрической энергии на теплоэнергетических установках	241
Кочарян Е.В., Скиба Е.Д., Карпец И.В. Методика расчета экономического эффекта за счет снижения разбалансированности системы теплоснабжения здания ...	241
Шапошников В.В., Бирюков Б.В., Соболев А.А. Покрытие пиковых тепловых нагрузок ГТУ-ТЭЦ выполненной по схеме с параллельной камерой сгорания	243

Научное издание

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Материалы IX международной
научной конференции
«ТТС-17»
22–24 ноября 2017 года

В материалах конференции сохранены стиль и орфография авторов.

Подписано в печать 14.11.2017 г.

Бумага офсетная

Печ. л. 15,7

Усл. печ. л. 14,6

Уч.-изд. л. 13,1

Формат 60×84 ¹/₁₆

Трафаретная печать

Изд. № 861

Тираж 100 экз.

Заказ № 1795

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>