

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)

Департамент по вопросам топливно-энергетического
комплекса Краснодарского края

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Материалы седьмой международной
научной конференции
«ТТС-15»

7-9 октября 2015 года

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

Краснодар
2015

УДК 621.3

ББК 39.53

Т38

Т38 Технические и технологические системы: Материалы седьмой международной научной конференции «ТТС-15» (7–9 октября 2015 года) / ФГБОУ ВПО «КубГТУ», КВВАУЛ им.А.К. Серова; под общей редакцией Б.Х. Гайтова. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2015. – 335 с.
ISBN 978-5-91718-409-8

Сборник содержит материалы седьмой Международной научной конференции «Технические и технологические системы», проведенной в г. Краснодаре 7-9 октября 2015 года на базе Кубанского государственного технологического университета. В настоящем издании представлены результаты исследований сотрудников следующих организаций: Кубанский государственный технологический университет, Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков им. А.К. Серова, Центр энергосбережения и новых технологий Краснодарского края, Филиал Военной академии связи (г. Краснодар), Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Московский государственный университет машиностроения, Харбинский инженерный университет (Китай), Ростовский филиал Московского государственного технического университета гражданской авиации, Научно-исследовательский институт информационных технологий (г. Тверь), Краснодарский государственный университет культуры и искусств, Донской государственный технический университет Закрытое научно-производственное акционерное общество «Отделение проблем военной экономики и финансов» (г. Тверь), 579 ВП МО РФ (г. Краснодар), Управление по организации энергосбытовой деятельности Гарантирующих поставщиков СКФО и Республики Калмыкия ДЗО ОАО «Россети», (г. Пятигорск), ЗАО «ННК» ОАО «Печоранефть», ООО «Ланит-ЮГ» (г. Краснодар).

Редакционная коллегия:

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

ББК 39.53

УДК 629.7

ISBN 978-5-91718-409-8

- © Коллектив авторов, 2015
- © Кубанский государственный технологический университет, 2015
- © Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени А.К.Серова», 2015

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель оргкомитета

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

Заместители председателя оргкомитета:

Божко С.В. к.т.н., проф., зам. начальника филиала Военного учебно-научного центра ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» по учебной и научной работе (г. Краснодар, Россия);

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

Члены оргкомитета:

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

Гапоненко А.М. д.т.н., проф., КубГТУ, г.Краснодар, (г.Краснодар, Россия);

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

Кашин Я.М. к.т.н., доц., филиал Военного учебно-научного центра ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Краснодар, Россия);

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

- Маслов С.И. д.т.н., проф., Московский энергетический институт (г. Москва, Россия);
- Птах Г.К. д.т.н., проф., Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт), (г. Новочеркасск, Россия);
- Федотов Д.С. к.с.н., филиал Военного учебно-научного центра ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», (г. Краснодар, Россия);
- Чэн Пэн к.т.н., доц., Харбинский инженерный университет (г. Харбин, Китай).
- Шарифуллин С.Р. к.т.н., доц., филиал Военной академии связи (г. Краснодар, Россия).
- Секретариат:**
- Мусатов А.Н. филиал Военного учебно-научного центра ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Краснодар, Россия);
- Косолапов А.В. к.т.н., доц., Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар, Россия).

СЕКЦИЯ 1. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

СПОСОБЫ СЛОЖЕНИЯ ЭНЕРГИИ В ДВУХВХОДОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

Я.М. Кашин*(к.т.н., доц.), А.С. Князев**,
А.В. Самородов*(к.т.н., доц.), А.Я. Кашин**,
Р.С. Кравец (магистрант)*

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

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

В альтернативной энергетике сегодня по разному решается вопрос одновременного использования сразу нескольких возобновляемых источников энергии (ВИЭ), например, ветра и Солнца. Суммирование энергии от нескольких ВИЭ в одной установке энергетически выгоднее, чем суммирование энергий от нескольких установок, каждая из которых получает энергию от одного из ВИЭ [1]. Поэтому актуальным является создание таких устройств, в частности, электрических генераторов, в которых происходит суммирование энергий от нескольких ВИЭ. Подобные машины должны иметь несколько входов, каждый из которых подключается к своему источнику энергии (например, ВИЭ). В силу повсеместной доступности энергий Солнца и ветра целесообразно создавать двухвходовые электрические машины (ЭМ), т.е. такие машины, которые имеют два входа для подключения двух различных источников энергий, например, электрической энергии вырабатываемой фотоэлектрическими преобразователями под воздействием солнечного излучения и механической энергии, вырабатываемой ветровыми установками. [2, 3].

Конструкция двухвходовых машин может быть различной. Они могут быть как цилиндрическими [2, 4], так и аксиальными [3, 5], как одномерными [3, 5], так и двухмерными [2, 4].

Двухмерными называют ЭМ, у которых одновременно вращается как статор, так и ротор [1, 2, 5].

Способы решения задачи по суммированию энергий, получаемых от двух различных ВИЭ, различаются по принципу формирования результирующего сигнала и по физическому принципу сложения энергий от двух источников.

По принципу формирования результирующего сигнала следует различать два способа суммирования энергий, получаемых одновременно от двух источников:

1. Усиление энергии, получаемой от одного источника с помощью энергии, получаемой от другого источника. Один из источников, получаемая энергия от которого больше, является основным, а второй – вспомогательным. В случае использования ветра и Солнца механическую энергию, получаемую от ветра, как правило, выбирают основным видом энергии, а электрическую энергию, получаемую от Солнца – вспомогательным. Достоинством такого способа является более простая конструкция ЭМ. Недостатком – отсутствие выходного сигнала при отсутствии энергии от основного источника даже при наличии энергии от вспомогательного источника.

2. Сложение энергий, получаемых от каждого из источников по отдельности. Достоинством такого способа является наличие выходного сигнала даже при наличии энергии на входе только от одного из источников. Недостатком – более сложная конструкция ЭМ.

По физическому принципу сложения энергий от двух источников также следует различать два способа:

1. Сложение магнитных потоков, создаваемых в ЭМ в результате преобразования механической энергии, получаемой от ветра, в электрическую, и непосредственного использования электрической энергии, получаемой от фотоэлектрических преобразователей. Сложение энергий в этом случае осуществляется на основании закона суперпозиции магнитных полей, что наиболее предпочтительно, если в результате сложения энергий,

получаемых одновременно от двух источников, требуется получить результат в виде электрической энергии.

2. Увеличение угловой скорости вращения ротора относительно статора ЭМ:

а) путём вращения ротора и статора в противоположные стороны, используя для этого энергию от двух источников. Такой способ характерен только для двухмерных ЭМ.

б) путём сложения крутящих моментов, приложенных к одному валу (ротора). При этом энергия, получаемая от каждого из источников, направлена на создание своего крутящего момента. Сложение энергий в этом случае происходит на уровне механической энергии, поэтому такой способ целесообразно использовать, если в результате сложения энергий, получаемых одновременно от двух источников, требуется получить результат в виде механической энергии вращения вала. В противном случае, получение электрической энергии таким способом представляется невыгодным, так как энергия, полученная путем преобразования солнечной энергии, требует преобразования в механическую энергию вращения вала для сложения с механической энергией, получаемой от ветра. Суммарную механическую энергию вращения вала потребуются вновь преобразовать в электрическую. Каждое преобразование энергии из одного вида в другой неизбежно сопровождается потерями, поэтому такой способ сложения энергий, получаемых одновременно от двух источников, несомненно, является не самым рациональным.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 13-08-96515 p_юг_a».

Литература

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

2. Пат. 2349014 РФ – Двухмерная аксиальная электрическая машина-генератор / Гайтов Б.Х., Самородов А.В., Гайтова Т.Б., Копелевич Л.Е. Опубл. 10.03.2009, Бюл. № 7.

3. Пат. 2450411 РФ – Аксиальная двухвходовая бесконтактная электрическая машина-генератор / Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Гайтова Т.Б., Кашин А.Я., Пауков Д.В., Голощачов А.В. Оpubл. 10.05.2012, Бюл. № 13.

4. Гайтов Б.Х., Гайтова Т.Б., Кашин Я.М., Копелевич Л.Е., Самородов А.В. Нетрадиционные электромеханические преобразователи энергии в системе автономного электроснабжения. // Изв. вузов. Электромеханика. 2008. № 1. С. 21-28.

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

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДВУХМЕРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН В СИСТЕМАХ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Б.Х. Гайтов* (д.т.н., проф.), Я.М. Кашин* (к.т.н., доц.),
Л.Е. Копелевич*(к.т.н., доц.), А.С. Князев**, А.Я. Кашин**

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

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

Рассмотрим, как можно решение задачи суммирования энергий, получаемых от Солнца и ветра в двухвходовых одномерных и двухвходовых двухмерных электрических машинах-генераторах (ЭМ-Г).

В **двухвходовых одномерных** электрических машинах-генераторах (ЭМ-Г) [3, 5] вал ротора приводится во вращение от ветроустановки и является входом механической энергии. Обмотка, подключенная к фотоэлектрическим преобразователям, является входом электрической энергии и может располагаться как на статоре, так и на роторе.

Размещение входа электрической энергии, подключаемого к источнику постоянного тока, более предпочтительно на статоре, так как это позволит избежать необходимости использования как минимум одной пары подвижных контактов, реализуе-

мых чаще всего в виде щеточно-коллекторного узла, являющегося ненадежным и прихотливым в эксплуатации элементом ЭМ.

В двухвходовых одномерных ЭМ-генераторах возможно суммировать энергии, получаемые от Солнца и ветра путём сложения двух вращающихся моментов, приложенных к одному валу. Это позволяет увеличить угловую скорость вращения ротора относительно статора и, как следствие, повысить выходное напряжение генератора. Достоинством такого способа является наличие выходного сигнала даже при наличии энергии, получаемой только от солнца или только от ветра. Недостатком такого способа является нерациональная последовательность преобразования электрической энергии, получаемой от фотоэлектрических преобразователей, в механическую, а затем, суммарной механической энергии снова в электрическую, что сопровождается потерями при каждой ступени преобразования энергии из одного вида в другой.

Помимо описанного способа, суммирование энергии в двухвходовых одномерных ЭМ возможно, а скорее, целесообразно осуществлять путём сложения энергий, получаемых одновременно от Солнца и ветра, на уровне электромагнитной энергии путём сложения двух магнитных потоков. Один магнитный поток создаётся электроэнергией, получаемой путём преобразования механической энергии ветра в электрическую, а второй магнитный поток создаётся электроэнергией, получаемой непосредственно от фотоэлектрических преобразователей.

Сложение двух магнитных потоков может быть осуществлено двумя способами.

Первый способ – путём усиления основного магнитного потока вспомогательным магнитным потоком. При этом основным, как правило, является магнитный поток, формируемый энергией, получаемой от ветра, а вспомогательным – магнитный поток, формируемый энергией, получаемой от Солнца. Недостатком такого способа является отсутствие выходного сигнала при отсутствии ветра даже при наличии энергии, получаемой от Солнца.

Второй способ – сложение магнитных потоков, формируемых энергией, получаемой от Солнца или ветра, каждый из

которых может непосредственно влиять на формирование выходного напряжения генератора. Однако при использовании постоянного тока от фотоэлектрических преобразователей может потребоваться преобразование его в переменный ток, так как при отсутствии ветра неподвижной обмоткой с постоянным током невозможно создать магнитный поток, вызывающий в генераторной обмотке ЭДС. Это приведёт к усложнению конструкции электрической машины (ЭМ) или к необходимости использования различных преобразователей, что, несомненно, повлечёт за собой увеличение потерь энергии.

В **двухвходовых двухмерных** ЭМ-генераторах вал ротора так же, как и в одномерных подключается к источнику механической энергии, в рассматриваемом случае - к ветроустановке, однако при этом статор сохраняет возможность свободно вращаться относительно ротора. Эта особенность является явным преимуществом двухмерных ЭМ перед одномерными, так как даёт возможность реализации как первого, так и второго способов, суммирования энергий, получаемых от Солнца и ветра различаемых по физическому принципу.

Однако, несмотря на все преимущества двухмерных двухвходовых ЭМ-генераторов перед одномерными у них есть существенный недостаток, обусловленный возможностью статора вращаться. Независимо от места размещения входа электрической энергии постоянного тока (на статоре или на роторе) возникает необходимость в использовании как минимум одной пары подвижных контактов, реализуемых чаще всего, как уже упоминалось выше, в виде щеточно-коллекторного узла.

Этот немаловажный факт снижает надежность двухмерных двухвходовых ЭМ-генераторов и делает их более требовательными и прихотливыми в эксплуатации.

Применение описанных двухвходовых ЭМ целесообразно в системах автономного электроснабжения в районах с наиболее благоприятными условиями для использования энергии Солнца и ветра. В России некоторые из таких районов располагаются на Крайнем Севере и Дальнем Востоке и являются отдалёнными и труднодоступными. Наличие щеточно-коллектор-

ного узла значительно усложняет эксплуатацию и ремонт двухмерных ЭМ-генераторов в таких районах.

Таким образом, в случае предъявления повышенных требований к надёжности и неприхотливости при установке в системы автономного электроснабжения двухмерных ЭМ-Г целесообразно резервировать их одномерными двухвходовыми ЭМ-Г.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 13-08-96515 р_юг_а».

Литература

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

2. Пат. 2349014 РФ – Двухмерная аксиальная электрическая машина-генератор / Гайтов Б.Х., Самородов А.В., Гайтова Т.Б., Копелевич Л.Е. Опубл. 10.03.2009, Бюл. № 7.

3. Пат. 2450411 РФ – Аксиальная двухвходовая бесконтактная электрическая машина-генератор / Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Гайтова Т.Б., Кашин А.Я., Пауков Д.В., Голощатов А.В. Опубл. 10.05.2012, Бюл. № 13.

4. Гайтов Б.Х., Гайтова Т.Б., Кашин Я.М., Копелевич Л.Е., Самородов А.В. Нетрадиционные электромеханические преобразователи энергии в системе автономного электроснабжения. // Изв. вузов. Электромеханика. 2008. № 1. С. 21-28.

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

НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ СМ-ИНВЕРТОРОВ

Я.М. Кашин (к.т.н., доц.), А.А. Белов
* *ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)*

Рассмотрим направления применения электротехнических комплексов (ЭТК) на основе ступенчато-модулированных инверторов (СМ-инверторов).

В настоящий момент большинство инверторов в ЭТК работает по принципу широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Рассмотрим достоинства и недостатки ШИМ- и СМ-инверторов.

Основные достоинства ШИМ-инверторов следующие [1, 2, 3]:

1) гибкое управление величиной выходного напряжения и его частотой;

2) применение ВЧ-трансформаторов уменьшает массогабаритные размеры;

3) высокая проработанность схем работы и управления ШИМ (технология начала развиваться в шестидесятых годах XX века).

Вместе с тем, у ШИМ-инверторов имеются следующие недостатки [4, 5, 6]:

1) необходимость применения фильтров на входе и выходе;

2) двойное или тройное преобразование снижает КПД;

3) с ростом частоты переключения транзисторов растут в них потери, при уменьшении частоты происходит рост амплитуд ближайших к основной гармоник на выходе и увеличение массогабаритов ВЧ-трансформатора; для управления гармониками более высокой частоты необходимо повышать частоту ШИМ, что снова приводит к потерям в транзисторах [6];

4) сложности при использовании на больших мощностях – большой уровень ВЧ-помех.

Отметим основные достоинства СМ-инверторов:

- 1) достаточная простота схема исполнения;
- 2) меньшие потери мощности по сравнению с ШИМ [4, 6, 7];
- 3) с увеличением уровней напряжения коэффициент гармоник уменьшается [4, 5, 6, 7];
- 4) отсутствие ВЧ-помех;
- 5) отсутствие необходимости применения выходного фильтра (при количестве уровней напряжения за четверть периода больше пяти).

Вместе с тем, основными недостатками СМ-инверторов являются:

- 1) необходимость дискретности входных источников питания; при этом, чем больше уровней входного напряжения, тем выше качество выходного напряжения [4, 5];
- 2) сложности стабилизации выходного напряжения.

Последние исследования показывают, что при трех первичных источниках питания возможно стабилизировать выходное напряжение СМ-инверторов ЭТК 1) на 28,1% при коэффициенте искажения синусоидальности кривой напряжения $K_u < 12\%$; 2) на 12,81% при $K_u < 8\%$.

Таким образом, ЭТК на основе СМ-инверторов могут быть применены в направлениях решения производственных задач, где важнейшими условиями являются малые размеры, масса или высокий КПД. Например, таких как преобразование электроэнергии на автотранспорте, морских кораблях, подводных лодках, космических аппаратах.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 13-08-96515 р_юг_а».

Литература

1. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: Учебник. – Новосибирск: НГТУ, 2000. – Ч. 2 – 197 с.
2. Мыцык Г.С., Бериллов А.В., Михеев В.В. Электронные энергетические системы // Электронный образовательный ре-

курс [Электрон. ресурс] / ГОУ ВПО МЭИ(ТУ). Апрель 2011 г. - Режим доступа: <http://ecio.mpei.ac.ru/ecao/Portals/0/Zip/eesao/ees/files/%e2%96%8c%e2%95%ac%e2%95%a8%20%e2%96%8c%e2%96%8c%e2%95%a4.pdf>

8c%e2%95%ac%e2%95%a8%20%e2%96%8c%e2%96%8c%e2%95%a4.pdf

3. Бар В.И. Основы преобразовательной техники: Курс лекций. - Тольятти: ТГУ, 2002. - 108 с.

4. Соболев С.А. Оптимизация управления ступенчато-модулированным инвертором на дискретных источниках энергии: Дис. ... канд. техн. наук. Краснодар. 1998. – 143 с.

5. Заславец С.А. Развитие теории и принципы проектирования регулируемого асинхронного электропривода на базе ступенчатой модуляции: Дис. канд. техн. наук. Краснодар. 2001. – 145 с.

6. Кумаков Ю.А. Инверторы напряжения со ступенчатой модуляцией и активная фильтрация высших гармоник // Новости электротехники. – 2005. №6 (36).

7. Кашин Я.М., Белов А.А. Сравнительная характеристика широтно-импульсных модуляторов и ступенчатых модуляторов-инверторов // Информационная безопасность – актуальная проблема современности. Совершенствование образовательных технологий подготовки специалистов в области информационной безопасности: Сб. тр. IV-V Всерос. НТК, г. Геленджик 2012 г. – Краснодар: ФВАС, 2012. – С. 169 – 170.

КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ

А.А. Голованов (магистрант)

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

Жесткие требования к разработке зарядных устройств (ЗУ) приводят к необходимости выбора критериев, по которым проводится оптимизация при проектировании ЗУ. В частности, ЗУ с минимизацией времени процессов заряда в условиях помех

и возмущений. В [1] приведены критерии, по которым оценивались различные типы преобразователей энергии для ЗУ.

К основным критериям, по которым проводится оптимизация ЗУ ЕНЭ относятся:

1. Время заряда емкостного накопителя.
2. КПД.
3. Массогабаритные характеристики ЗУ.

Основные критерии могут включать в себя дополнительные критерии. К ним в первую очередь относятся: мощность, потребляемая от источника, установленная мощность автономного инвертора, установленная мощность реактивных элементов.

В условиях работы ЗУ от источника ограниченной мощности одним из основных критериев, по которым проводится оптимизация, является КПД. На коэффициент использования источника питания и КПД ЗУ влияет в первую очередь зарядный режим. В простейшем случае идеализированной моделью ЗУ может быть четырехполюсник (рис. 1).

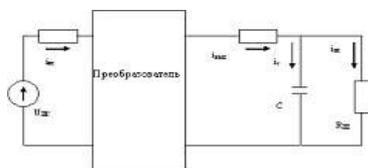


Рисунок 1 – Идеализированная модель зарядного устройства

Для исследования основных критериев оптимизации ЗУ ЕНЭ необходимо провести математическое моделирование, т.к. создание физической модели связано с существенными материальными затратами.

Основной задачей, которую позволяет решить модель, построенная на базе четырехполюсника, является определение зарядного режима, оптимального с точки зрения КПД [3].

При таком режиме суммарная энергия потерь в ЗУ во всех активных сопротивлениях модели минимальна.

Анализ показывает, что максимального КПД можно достичь при постоянстве входного и выходного токов. Таким образом, для достижения максимального КПД преобразователь в начальный отрезок времени должен запасать энергию, чтобы в конце заряда отдать запасенную энергию для поддержания тока заряда. Следовательно, четырехполосник кроме преобразователя и ЕНЭ должны содержать дополнительные реактивные элементы, запасующие энергию и поддерживающие на одном уровне в течение процесса заряда входную и выходную мощности.

Элементы, аккумулирующие часть энергии источника в начальный отрезок времени заряда, позволяют оптимизировать время заряда за счет приращения запасенной в них энергии к энергии источника в конце зарядного цикла.

Закономерности, связывающие энергетические показатели входных и выходных цепей четырехполосника, показаны на рис. 2.

Энергия, потребляемая от источника питания $U_{ис}$ соответствует прямой 1. Прямая 2 характеризует энергию, потребляемую цепью, расположенной справа от входных зажимов четырехполосника. Разность ординат прямых 1 и 2 представляет собой потери энергии на входном сопротивлении $R_{вх}$. Кривая 3 определяет изменение энергии, передаваемой в зарядный контур для случая минимальных потерь в R_3 (рис. 1).

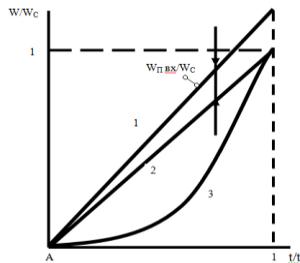


Рисунок 2 – Относительные энергетические характеристики идеализированной модели ЗУ

Как было показано в [2], получение высокого коэффициента усиления ЗУ по напряжению достигается трансформирова-

нием напряжения, т.е. ЗУ должно содержать звено переменного тока – инвертор с повышающим трансформатором, массогабаритные характеристики которого составляют значительную часть массогабаритных характеристик всего ЗУ. Для снижения веса и габаритов трансформатора необходимо повысить частоту перемагничивания его магнитопровода.

Кроме того, для снижения пульсаций входного тока и уменьшения коэффициента трансформации выходного ЗУ целесообразно составить из нескольких инверторных модулей. В работе [3] приводятся расчеты, как по выбору оптимального количества инверторных модулей, так и по выбору коэффициента его загрузки по мощности.

Очевидно, минимальное время заряда, от источника с ограниченной мощностью можно достичь при потреблении минимальной мощности с максимально возможным КПД ЗУ.

Минимизируя время заряда ЕНЭ, при однокритериальной оптимизации ЗУ необходимо ввести в ограничения массогабаритные характеристики ЗУ. Они, в свою очередь, зависят от выбранных схемных решений инвертора, количества инверторных модулей и их рабочей частоты, значительную часть веса которых составляет вес повышающего трансформатора. Таким образом, оптимальная частота инвертора определяется при условиях, когда при оптимизации вводится в ограничение либо КПД, либо массогабаритные показатели трансформатора, которые в свою очередь зависят от коэффициента загрузки трансформатора.

С учетом вышеизложенного определены следующие качественные зависимости между параметрами (критериями оптимизации) ЗУ ЕНЭ:

1. При использовании источника питания ограниченной мощности минимальное время заряда может быть получено при максимально возможном КПД, что, приводит к ухудшению массогабаритных характеристик.

2. Минимальные габариты и вес могут быть получены при снижении КПД и увеличении времени заряда.

Литература

1. Мунасыпов Р.А., Таназлы Г.И. Проектирование сложных систем заряда емкостных накопителей энергии - Уфа, «Вестник УГАТУ», 2012. Т.16, №1. С. 133-142.
2. Болотовский Ю.И., Таназлы Г.И., Вашкевич Е.И., Никитин А.В., Разработка систем заряда емкостных накопителей энергии, СПб, «Силовая Электроника», 2008 г., №4 - с. 49 - 56.
3. Булатов О.Г., Иванов В.С., Панфилов Д.И. Полупроводниковые зарядные устройства емкостных накопителей - М.: Радио и связь, 1986. – 180 с.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИОННЫХ РАСЧЕТОВ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Т.Б. Гайтова* (д.т.н., проф.), М.Н. Карташев**,
А.В. Лукошков***, В.Г. Подольный**** (магистрант),
В.В. Крайнюков **** (магистрант)

**Московский государственный университет машиностроения
(г. Москва, Россия),*

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

**** 579 ВП МО РФ (г. Краснодар, Россия)*

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

Для разработки алгоритма любого оптимизационного расчета исходным является формирование базы данных. Для этого необходимо иметь:

- значения всех коэффициентов в формулах для определения удельной стоимости суммарного количества энергии: электрической, тепловой и холода, потребляемой объектом в год [1, 2, 3].
- значения всех удельных стоимостей по соответствующим формулам. Если удельные стоимости являются функцией, то их следует представить в табличной форме;
- графики нагрузок основных потребителей, расчи-

танные по соответствующим справочникам;

- значение суммарной установленной мощности потребителей первой категории.

Затем составляется общий график нагрузки системы ДЭМ-М-Г, из которого поэтапно изымаются вначале нагрузки, питаемые только от ДЭМ (исключая синхронный генератор Г дизельной установки), а затем изымаются нагрузки, питаемые от ДЭМ с целью их последующего подключения к солнечным электрическим панелям (СЭП) и солнечным тепловым преобразователям (СТП).

После этого можно приступить к расчету. С этой целью уменьшается количество энергии, которое должна вырабатывать система ДЭМ-М-Г, соответственно уменьшая ее установленную мощность – $P_{уст\ СЭЭ}$ и передавая СЭП и СТП выработку этой энергии и, естественно, на ту же величину увеличивая их мощность. При этом для каждого шага производится расчет удельной стоимости вырабатываемой энергии. На наш взгляд, наиболее подходящим математическим приемом для этого является метод динамического программирования.

При этом следует учесть следующие обстоятельства:

- алгоритм расчета должен содержать подпрограмму варьирования установленной мощности системы ДЭМ-М-Г и СЭП, так как они выпускаются с определенным (не малым) шагом по мощности;

- СТП выполняются под заказ и могут иметь любую требуемую мощность;

- на графике нагрузки в первую очередь необходимо выбирать участки, соответствующие наибольшей солнечной освещенности, для СЭП и СТП и для тех объектов, которые в это время более всего потребляют энергию. На этих участках графика нагрузка на аккумуляторные батареи (АБ), естественно, будет минимальна;

- когда участки графика нагрузки, наиболее выгодные для прямого назначения СЭП и СТП, использованы (это те участки, где присутствует активная солнечная инсоляция и есть со-

ответствующая нагрузка), то необходимо перейти к участкам, где есть солнце, но отсутствует нагрузка и где появятся затраты на аккумулирование энергии СЭП и СТП (бойлер, насосы и АБ);

– аналогичные рассуждения и соответствующие технические решения справедливы относительно перевода нагрузки с генератора дизеля на ДЭМ в моменты интенсивного ветра, когда представляется возможность использовать энергию ветра для вращения ДЭМ вместо использования для этой цели дизель мас-сив данных по графикам нагрузки должен содержать [2, 3]:

$$I - P_{\max i}, P_{0,75i}, P_{0,50i}, P_{0,25i}.$$

$$II - W_{\Gamma\Sigma}; W_{\text{ДЭМ}i}; W_{(\Gamma+\text{ДЭМ})i}.$$

$$III - W_{\Gamma\Sigma}; W_{\text{ДЭМ}i}; W_{(\Gamma+\text{ДЭМ})i} \text{ при } P_{\max i}.$$

$$IV - W_{\Gamma\Sigma}; W_{\text{ДЭМ}i}; W_{(\Gamma+\text{ДЭМ})i} \text{ при } P_{0,75i}.$$

$$V - W_{\Gamma\Sigma}; W_{\text{ДЭМ}i}; W_{(\Gamma+\text{ДЭМ})i} \text{ при } P_{0,50i}.$$

$$VI - W_{\Gamma\Sigma}; W_{\text{ДЭМ}i}; W_{(\Gamma+\text{ДЭМ})i} \text{ при } P_{0,25i},$$

где P и W_{Γ} , $W_{\text{ДЭМ}}$, $W_{\text{ДЭМ-}\Gamma}$ – мощность системы ДЭМ-М-Г и годовая выработка электроэнергии генератором Г, двух мерной машинной ДЭМ и системой ДЭМ-Г при соответствующих нагрузке; i – порядковые номера рассчитываемых вариантов ($i = 1, 2, \dots, n$); VII - $\Delta P_{\max(i+1)}$ – рассчитываемая величина изменения мощности системы ДЭМ – М – Г, а также ДЭМ и Г по отдельности; VIII - $\Delta W_{\Gamma(i+1)}$ – рассчитываемая величина изменения годовой выработки энергии с помощью ДЭМ, Г, СЭП и СТП, $\Delta W_{\Gamma(i+1)} = \Delta W_{\Gamma(i+1)\text{СЭП}} + \Delta W_{\Gamma(i+1)\text{СТП}}$.

При этом соответственно рассчитываются:

$$P_{\max(i+1)} = \Delta P_{\max i} - \Delta P_{\max(i+1)};$$

$$P_{0,75(i+1)} = 0.75 P_{\max(i+1)};$$

$$W_{\Gamma(i+1)} = W_{\Gamma i} - \Delta W_{\Gamma};$$

$$IX \text{ Шаги изменения } P_{\text{СЭП}i} \text{ и } W_{\Gamma\text{СЭП}i};$$

$$X \text{ Шаги изменения } P_{\text{СТП}i} \text{ и } W_{\Gamma\text{СТП}i};$$

$$XI \text{ Шаги изменения } P_{\text{ВТ}i} \text{ и } W_{\Gamma\text{ВТ}i}.$$

Следует отметить, что энергия $W_{\Gamma\text{СЭП}}$ и $W_{\Gamma\text{ВТ}}$ должны маркироваться соответственно «мах; 0,75; 0,50; 0,25», чтобы было понятно, откуда вычитать, так как СЭП, СТП и ВТ могут

замещать дизель M в разные периоды нагрузки системы. При этом следует иметь в виду, что замещение дизеля M в периоды P_{\max} позволяет уменьшить капитальные затраты на ДЭС Z_{KI} за счет возможности уменьшить его мощность $P_{ДЭС}$, а замена ДЭС в периоды малых нагрузок позволит экономить топливо и ресурс ДЭС.

В результате оптимизационного расчета по вышеприведенному методу следует ожидать получение функциональной зависимости удельной стоимости суммарного количества энергии – $C_{уд\text{ опт}}$, вырабатываемой комплексной САЭ (по рис. 8.1), с заметно выраженным экстремумом.

Наличие экстремума объясняется следующими обстоятельствами. Постепенное замещение части мощности ДЭС на ДЭМ, СЭП, СТП и ВТ в области малых нагрузок, естественного, увеличивает капитальные затраты на систему в целом, что в конечном счете приводит к существенному увеличению удельной стоимости вырабатываемой энергии – $C_{уд}$.

Дальнейшее наращивание нагрузки САЭ (за счет упомянутых выше ДЭМ, СЭП, СТП и ВТ) приводит к значительному уменьшению эксплуатационных затрат, поскольку эти составляющие производства электрической и тепловой энергии не требуют ни топлива, ни масса, а затраты на их обслуживание минимальны.

Экстремум функции $C_{уд}$ ($\Sigma P_{САЭ}$) отыскивается, как область наименьшего значения ее при широком варьировании объема вырабатываемой энергии. При правильной экономической политике эксплуатации комплексной САЭ следует обеспечивать именно эту область ее работы.

Дальнейшее наращивание объема вырабатываемой энергии приводит к повторному росту величины удельных затрат на энергию, так как эксплуатационные затраты больше не компенсируют капитальные затраты, которые стали очень большими. Следовательно, зависимость $C_{уд}$ ($\Sigma P_{СНЭ}$) снова поднимается рис вверх.

В заключение следует отметить, что при формировании массивов исходных данных по приращению мощности ДЭМ+СЭП+СТП+ВТ возможны два следующих варианта:

– на основании предварительного анализа возможных графиков нагрузок объектов, где могут быть использованы указанные выше источники энергии, определяются возможные диапазоны изменения их суммарной мощности для объектов (P_{\min} и P_{\max}) и на основании этого анализа выбирается шаг варьирования ΔP_i для ДЭМ+СЭП+СТП+ВТ без привязки этого шага к конкретным объектам. Затем наращивается Δp до $\Delta P_{i\Sigma} = P_{\max\Sigma}$, при этом шаг ΔP_i следует принимать равномерным. После определения предельного значения $P_{\max\Sigma}$, при котором $C_{уд}=\min$, эта достигнутая мощность распределяется по объектам;

– массив данных формируется по каждому объекту и шаг ΔP_i привязывается к каждому объекту. Для этого необходимо сформировать таблицу значений мощности P_i каждого такого шага расчета, так как они будут разные, в отличие от предыдущего варианта.

Представляется более перспективным первый вариант с точки зрения его большей общности подхода и точности получаемых результатов.

Литература

1. Гайтова Т.Б., Чэн Пэн. Оптимизация структуры системы нетрадиционной энергетики //Сб. тр. II межвуз. науч.-техн. конф. – ЭМПЭ-03. Т. 1. – Краснодар, 2003. – С. 149-154.
2. Гайтова Т.Б., Чэн Пэн. Разработка алгоритма оптимизационных расчетов системы нетрадиционной энергетики //Сб. тр. II межвуз. науч.-техн. конф. – ЭМПЭ-03. Т.1. – Краснодар, 2003.– С. 149–154.
3. Гайтова Т.Б., Кашин Я.М. Нетрадиционные электротехнические комплексы (теория, расчет, конструкции). Монография. – Краснодар, КВАИ, 2004. – 403 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ДВУХВХОДОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Т.Б. Гайтова* (д.т.н., проф.), А.В. Голощапов** (магистрант),
Д.И. Головлев* (магистрант), А.В. Тонконогов** (магистрант),

**Московский государственный университет машиностроения
(г. Москва, Россия),*

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

База данных для проведения оптимизационных расчетов состава и структуры системы автономного электроснабжения (САЭ) формируется на основе анализ режимов функционирования (АРФ) объекта, выполненного выше.

АРФ включает в себя анализ индивидуальных и групповых потребителей, на основании которого производится синтез индивидуальных и групповых графиков электрической и тепловой нагрузок и синтез режимов потребления этих видов энергии в течение суток.

Значительным этапом АРФ является интегральный график нагрузки на двухвходовую электрическую машину (ДЭМ) и генератор (Г), при работе либо совместно, либо порознь (в зависимости от уровня нагрузки), а также графики общего потребления тепловой и электрической энергии.

Анализ электрической и тепловой нагрузок является основой для выполнения оптимизационных расчетов САЭ на базе ДЭМ. Этот анализ показывает, что перевод потребителей тепловой энергии на энергообеспечение от неосновного силового источника – ДЭМ и Г позволит уменьшить их суммарную установленную мощность, а следовательно, капитальные и эксплуатационные затраты на него. Однако при этом ухудшится график электрической нагрузки для системы ДЭМ-М-Г (М – мотор), если не отыскать способ «среза пики нагрузки» между 9–12 и 19–23 часами. Последнее легко может быть реализовано с помощью солнечного электрического преобразователя СЭП (в дневное время) и с помощью ветротурбины (ВТ) или аккумуляторной батареи (АБ) в вечернее и ночное время.

Перевод большей части электрической и тепловой нагрузок с системы ДЭМ-М-Г на другие источники может обеспечить снижение установленной мощности этой системы до 30–50%, но никогда не позволит полностью отказаться от нее.

Соотношение установленной мощности оборудования в САЭ может быть определено путем постепенного замещения установленной мощности синхронного генератора Г и ДЭМ, исходя из графика нагрузки системы ДЭМ-Г, (при котором все потребители обеспечиваются энергией от этой системы) подсистемами СЭП и СТП (солнечной тепловой преобразователя).

При этом расчет стоимости приведенного $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ энергии для каждого шага замещения покажет, для какого шага эта стоимости будет минимальной.

Как известно, основным критерием сравнения вариантов является удельная стоимость суммарного количества энергии: электрической, тепловой и холода, потребляемой объектом в год [1, 2, 3]

$$C_{\text{год}} = \frac{\Sigma Z_K \frac{1}{T_o} + \Sigma Z_{\text{э}} + \Delta t \frac{1}{T_o}}{W_G}, \quad (1)$$

где ΣZ_K – общие капитальные затраты за год, \$; T_o – заданный минимальный срок окупаемости (обычно $T_o = 3$ года); $\Sigma Z_{\text{э}}$ – общие эксплуатационные затраты за год, \$; Δt – дисконтируемая сумма через t лет, \$; W_G – суммарное количество энергии, потребляемое объектом в год (определяется по графику нагрузки), $\text{кВт} \cdot \text{ч}$.

В свою очередь общие капитальные затраты ΣZ_K по (1) определяются, как сумма составляющих отдельных капитальных затрат на создание САЭ

$$\Sigma Z_K = Z_{K1} + Z_{K2} + Z_{K3} + Z_{K4} + Z_{K5}, \quad (2)$$

где Z_{K1} – капитальные затраты в год на систему ДЭС (дизель + генератор + ДЭМ, \$; Z_{K2} – капитальные затраты в год на СЭП,

$\$$; Z_{K3} – капитальные затраты в год на СТП и систему утилизации тепла, $\$$; Z_{K4} – капитальные затраты в год на ветротурбину (ВТ), $\$$; Z_{K5} – капитальные затраты в год на систему холода (ТХ и ХМ), $\$$.

Составляющие общих капитальных затрат по (2) равны: капитальные затраты на систему ДЭС – ДЭМ в год

$$Z_{K1} = (Z_{куДЭС} P_{ДЭС} + Z_{куДЭМ} P_{ДЭМ}) K_{ДЭС+ДЭМ}, \quad (3)$$

где $Z_{куДЭС}$, $Z_{куДЭМ}$ – удельные капитальные затраты на ДЭС и ДЭМ, $\$/кВт$; при этом величина $Z_{куДЭС}$ является функцией от $P_{ДЭС}$, т.е. $Z_{куДЭС} = f(P_{ДЭС})$ (рис. 8.2); $P_{ДЭС}$, $P_{ДЭМ}$ – установленные мощности ДЭС и ДЭМ, кВт; $K_{ДЭС+ДЭМ}$ – коэффициент удорожания на создание системы ДЭС – ДЭМ.

Капитальные затраты на систему СЭП – АБ – И В

$$Z_{K2} = (Z_{куСЭП} P_{СЭП} + Z_{куАБ} Q_{АБ} + Z_{куИ} P_{И} + Z_{куВ} P_{В}) K_{СЭП}, \quad (4)$$

где $Z_{куСЭП}$, $Z_{куАБ}$, $Z_{куИ}$, $Z_{куВ}$ – удельные капитальные затраты на СЭП, АБ, И – инвертор и В – выпрямитель, $\$/кВт$; $P_{СЭП}$, $Q_{АБ}$, $P_{И}$, $P_{В}$ – установленные мощности СЭП, АБ, инвертора, выпрямителя, $\$/кВт$; $K_{СЭП}$ – коэффициент удорожания на создание системы СЭП.

Капитальные затраты на систему обеспечения тепла

$$Z_{K3} = (Z_{куСТП} P_{СТП} + Z_{куТА} P_{ТА}) K_{СТП}, \quad (5)$$

где $Z_{куСТП}$, $Z_{куТА}$ – удельные капитальные затраты на СТП и ТА, $\$/кВт$; $P_{СТП}$, $P_{ТА}$ – установленные мощности СТП и ТА, кВт; $K_{СТП}$ – коэффициент удорожания на создание системы СТП, включая стоимость системы утилизации тепла (СУТ) (рис. 8.1).

Капитальные затраты на ветротурбину

$$Z_{K4} = Z_{\text{куВТ}} P_{\text{ВТ}} K_{\text{ВТ}}, \quad (6)$$

где $Z_{\text{куВТ}}$ – удельные капитальные затраты на ветротурбину – ВТ, \$/кВт; $P_{\text{ВТ}}$ – установленная мощность ВТ, кВт; $K_{\text{ВТ}}$ – коэффициент удорожания на создание системы ВТ, обеспечивающей вращение ДЭМ.

Капитальные затраты на систему холодообеспечения

$$Z_{K5} = (Z_{\text{куТ-Х}} P_{\text{Т-Х}} + Z_{\text{куХМ}} P_{\text{ХМ}}) K_{\text{Т-Х-ХМ}}, \quad (7)$$

где $Z_{\text{куТ-Х}}$, $Z_{\text{куХМ}}$ – удельные капитальные затраты на преобразователь тепло-холод (Т – Х) и холодильную машину (ХМ), \$/кВт; $P_{\text{Т-Х}}$, $P_{\text{ХМ}}$ – установленные мощности преобразователя Т-Х и ХМ, кВт; $K_{\text{Т-Х-ХМ}}$ – коэффициент удорожания на создание системы Т-Х-ХМ.

Литература

1. Гайтова Т.Б., Чэн Пэн. Оптимизация структуры системы нетрадиционной энергетики //Сб. тр. II межвуз. науч.-техн. конф. – ЭМПЭ-03. Т. 1. – Краснодар, 2003. – С. 149-154.
2. Гайтова Т.Б., Чэн Пэн. Разработка алгоритма оптимизационных расчетов системы нетрадиционной энергетики //Сб. тр. II межвуз. науч.-техн. конф. – ЭМПЭ-03. Т.1. – Краснодар, 2003.– С. 149–154.
3. Гайтова Т.Б., Кашин Я.М. Нетрадиционные электротехнические комплексы (теория, расчет, конструкции). Монография. – Краснодар, КВАИ, 2004.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСХОДЫ В СИСТЕМАХ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Б.Х. Гайтов* (д.т.н., проф.), В.А. Науменко**

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

**Центр энергосбережения и новых технологий Краснодарского края
(г. Краснодар, Россия)

Общие эксплуатационные затраты $\Sigma Z_{\text{э}}$ в год по (1) определяются как сумма составляющих отдельных эксплуатационных затрат на создание САЭ

$$\Sigma Z_{\text{э}} = Z_{\text{э}1} + Z_{\text{э}2} + Z_{\text{э}3} + Z_{\text{э}4} + Z_{\text{э}5}, \quad (1)$$

где $Z_{\text{э}1}, \dots, Z_{\text{э}5}$ – эксплуатационные затраты на систему ДЭС – ДЭМ, СЭП, СТП, ВТ, ТХ-ХМ соответственно, \$.

При расчете этих затрат следует отметить, что эксплуатационные затраты на систему ДЭС-ДЭМ сводятся (в основном) к эксплуатации дизеля всей силовой установки. Тогда получаем

$$Z_{\text{э}1} = Z_{\text{эТ}} + Z_{\text{эМ}} + Z_{\text{эОР}} + Z_{\text{эОП}}, \quad (2)$$

где $Z_{\text{эТ}}$, $Z_{\text{эМ}}$, $Z_{\text{эОР}}$, $Z_{\text{эОП}}$ – затраты на топливо, масло, обслуживание и ремонт, на обслуживающий персонал в год соответственно.

$$Z_{\text{эТ}} = G_{\text{Т}} C_{\text{УТ}}, \quad (3)$$

где $G_{\text{Т}}$ – расход топлива в год, кг; $C_{\text{УТ}}$ – стоимость 1 кг топлива, \$/кг

В свою очередь расход топлива определяется выражением

$$G_{\text{Т}} = W_{\text{г}} \frac{K_{\text{П}}}{\eta_{\text{г}} \cdot C_{\text{Т}}}, \quad (4)$$

где $W_{\text{г}}$ – энергия, выработанная системой ДЭС – ДЭМ; $K_{\text{П}}$ – переводной коэффициент в ккал; $\eta_{\text{г}}$ – КПД дизеля; ($\eta_{\text{г}} = 0,35$ – без утилизации тепла и $\eta_{\text{г}} = 0,80$ – с утилизацией тепла); $C_{\text{Т}}$ –

теплоемкость топлива (для дизельного топлива $C_T = 11000$ ккал/кг).

Затраты на масло в год по (2)

$$Z_{ЭМ} = G_M C_{VM} = K_M G_T C_{VM}, \quad (5)$$

где K_M – процент затрат масла в долях от расхода топлива (при использовании солярки он составляет (1–3%), при использовании газа – (0,5–1,0)%; G_M – расход масла в год, кг; C_{VM} – стоимость 1 кг масла, \$/кг.

Затраты на обслуживание и ремонт в год

$$Z_{ЭОР} = Z_K C_{ОР}, \quad (6)$$

где Z_K – капитальные затраты в год на систему ДЭС-ДЭМ, \$; $C_{ОР}$ – коэффициент удельных затрат на обслуживание и ремонт в год, обычно $C_{ОР} = 0,05$, т.е. 5%.

Затраты на обслуживающий персонал в год

$$Z_{ЭОП} = K_{ОП} Z_{ОП} = K_{ОПТ} Z_{КТ} + K_{она} Z_{она}, \quad (7)$$

где $K_{ОП}$ – обобщенный коэффициент удельных затрат на обслуживающий персонал; $K_{ОПТ}$ – коэффициент удельных затрат на персонал, обслуживающий тепломеханическую часть системы ДЭС-ДЭМ, $K_{ОПТ} = 0,1$; $K_{она}$ – коэффициент удельных затрат на персонал, обслуживающий автоматику системы, $K_{она} = 0,05$; $Z_{ОП}$ – общие капитальные затраты на систему ДЭС – ДЭМ, \$; $Z_{она}$ – капитальные затраты на автоматику системы, \$.

Эксплуатационные затраты на СЭП (ФЭП, АБ, И, В) по (1) равны

$$Z_{Э2} = Z_{ЭФЭП} + Z_{ЭАБ} + Z_{ЭИ} + Z_{ЭВ}, \quad (8)$$

где $Z_{\text{ФЭП}}, Z_{\text{АБ}}, Z_{\text{И}}, Z_{\text{В}}$ – эксплуатационные затраты за год на ФЭП, АБ, И, В, на обслуживание и ремонт, а также на обслуживающий персонал соответственно.

Годовые эксплуатационные затраты на ФЭП

$$Z_{\text{ЭФЭП}} = Z_{\text{ЭУФЭП}} P_{\text{ФЭП}} C_{\text{ЭУФЭП}}, \quad (9)$$

где $Z_{\text{ЭУФЭП}}$ – удельные эксплуатационные затраты на ФЭП, \$/кВт; $P_{\text{ФЭП}}$ – суммарная установленная мощность ФЭП, кВт; $C_{\text{ЭУФЭП}}$ – коэффициент удельных затрат на эксплуатацию ФЭП, $C_{\text{ЭУФЭП}}=0,01$.

Годовые эксплуатационные затраты на АБ

$$Z_{\text{ЭАБ}} = Z_{\text{ЭУАБ}} Q_{\text{АБ}} C_{\text{ЭУАБ}}, \quad (10)$$

где $Z_{\text{ЭУАБ}}$ – удельные эксплуатационные затраты на АБ, \$/ А · ч; $Q_{\text{АБ}}$ – суммарная установленная емкость аккумуляторной батареи, А · ч; $C_{\text{ЭУАБ}}$ – коэффициент удельных затрат на эксплуатацию АБ, $C_{\text{ЭУАБ}} = 0,05$.

Годовые эксплуатационные затраты на инвертор

$$Z_{\text{ЭИ}} = Z_{\text{ЭИ}} P_{\text{И}} C_{\text{ЭУИ}}, \quad (11)$$

где $Z_{\text{ЭИ}}$ – удельные эксплуатационные затраты на инвертор, \$/кВт; $P_{\text{И}}$ – установленная мощность инвертора, \$ кВт; $C_{\text{ЭУИ}}$ – коэффициент удельных затрат на эксплуатацию инвертора, $C_{\text{ЭУИ}}=0,01$.

Годовые эксплуатационные затраты на выпрямитель

$$Z_{\text{ЭВ}} = Z_{\text{ЭВ}} P_{\text{В}} C_{\text{ЭУВ}}, \quad (12)$$

где $Z_{\text{ЭВ}}$ – удельные эксплуатационные затраты на выпрямитель, \$/кВт; $P_{\text{В}}$ – установленная мощность выпрямителя, кВт; $C_{\text{ЭУВ}}$

– коэффициент удельных затрат на эксплуатацию выпрямителя, $C_{\text{ЭВВ}} = 0,01$.

Годовые эксплуатационные затраты на СТП совместно с системой утилизации тепла (СУТ) и тепловым аккумулятором (ТА)

$$Z_{\text{ЭЗ}} = Z_{\text{ЭСТП}} + Z_{\text{ЭТА}} + Z_{\text{ЭСУТ}}, \quad (13)$$

где $Z_{\text{ЭСТП}}, Z_{\text{ЭТА}}, Z_{\text{ЭСУТ}}$ – годовые эксплуатационные затраты на СТП, ТА и СУТ устройств по обеспечению тепловой энергией, \$.

Подставив значения составляющих $Z_{\text{ЭЗ}}$, получим

$$Z_{\text{ЭЗ}} = (Z_{\text{ЭУСТП}}P_{\text{СТП}} + Z_{\text{ЭУТА}}P_{\text{ТА}} + Z_{\text{ЭУСУТ}}P_{\text{СУТ}})C_{\text{ЭУЗ}}, \quad (14)$$

где $Z_{\text{ЭУСТП}}, Z_{\text{ЭУТА}}, Z_{\text{ЭУСУТ}}$ – удельные эксплуатационные затраты на СТП, ТА и СУТ соответственно, \$/кВт; $P_{\text{СТП}}, P_{\text{ТА}}, P_{\text{СУТ}}$ – установленные мощности СТП, ТА и СУТ соответственно, кВт; $C_{\text{ЭУЗ}}$ – обобщенный коэффициент удельных затрат на эксплуатацию теплообеспечивающих объектов САЭ, $C_{\text{ЭУЗ}}=0,01$.

Годовые эксплуатационные затраты по (1) на ветротурбину (ВТ)

$$Z_{\text{Э4}} = Z_{\text{ЭУВТ}}P_{\text{ВТ}}C_{\text{ЭУВТ}}, \quad (15)$$

где $Z_{\text{ЭУВТ}}, P_{\text{ВТ}}$ и $C_{\text{ЭУВТ}}$ – удельные эксплуатационные затраты, установленная мощность и коэффициент удельных затрат на эксплуатацию ВТ, $C_{\text{ЭУВТ}} = 0,1$.

Годовые эксплуатационные затраты по (1) на систему холодообеспечения ТХ – ХМ

$$Z_{\text{Э5}} = (Z_{\text{ЭУТ-Х}}P_{\text{Т-Х}} + Z_{\text{ЭУХМ}}P_{\text{ХМ}})C_{\text{ЭУХО}}, \quad (16)$$

где $Z_{\text{ЭУТ-Х}}, Z_{\text{ЭУХМ}}$ – удельные эксплуатационные затраты на преобразователь «тепло-холод» (Т-Х) и холодильную машину (ХМ), соответственно, \$/кВт; $P_{\text{Т-Х}}, P_{\text{ХМ}}$ – установленные мощности преобразователя Т-Х и ХМ, кВт; $C_{\text{ЭУХО}}$ – коэффициент

удельных затрат на эксплуатацию холодообеспечивающих устройств Т-Х и ХМ, $C_{\text{ЭУХО}} = 0,01$.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 13-08-96515 р_юг_а».

ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ РАСЧЕТАХ

Б.Х. Гайтов* (д.т.н., проф.), В.А. Наumenко**

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

***Центр энергосбережения и новых технологий Краснодарского края (г. Краснодар, Россия)*

Суммарное количество энергии W_G , потребляемое объектом в год по (8.8) определяется по графику нагрузки, $\text{kВт} \cdot \text{ч}$

$$W_G = N_G \int_0^{24} P(t) dt, \quad (1)$$

где N_G – количество дней работы САЭ в году; $P(t)$ – график нагрузки САЭ во времени.

При наличии сезонных изменений имеем

$$W_G = \sum_{n1}^{ni} N_G \int_0^{24} P(t) dt. \quad (2)$$

Особо следует остановиться на Δ -дисконте. В финансовой практике часто приходится сталкиваться с задачей, обратной определению наращенной суммы: т.е. – какую сумму $\Delta 0$ надо иметь в начальный период $t=0$, чтобы через t лет она превратилась в Δt при ставке сложного процента E . Т.е. по заданной сумме Δt , которую следует уплатить через некоторое время t , необходимо определить сумму полученной ссуды $\Delta 0$. В этом случае говорят, что сумма Δt дисконтируется.

Формула дисконтирования по сложным ставками, как в нашем случае, имеет вид

$$\Delta 0 = \frac{\Delta t}{(1 + E)^t} = \Delta t(1 + E)^{-t}, \quad (3)$$

где $(1 + E)$ – дисконтирующий множитель за t лет.

Величину $\Delta 0$, полученную дисконтированием Δt , называют текущей, современной, приведенной величиной Δt . Она характеризует ту исходную (базовую) сумму, на которую начисление дает величину Δt .

Приведение затрат, результатов и эффектов к базисному моменту времени удобно производить путем их умножения на коэффициент дисконтирования α_t , определяемого для постоянной нормы дисконтирования

$$\alpha_t = \frac{1}{(1 + E)^t} = (1 + E)^{-t}. \quad (4)$$

$$\text{Тогда } \Delta t = \Delta 0(1 + E)^t = \Delta 0 \frac{1}{\alpha_t}. \quad (5)$$

В условиях рыночной экономики норма дисконтирования определяется, исходя из депозитного процента по вкладам (в постоянных ценах) и имеет несколько большие значения за счет инфляции и возможного риска инвестиционных вложений. Если принять норму дисконтирования ниже депозитного процента, то инвесторы предпочтут вкладывать деньги в банк, а не в производство.

При слишком неоправданно высокой норме дисконтирования возникает перетекание денег в инвестиции, повышенный спрос на них и, как следствие, повышение их цены, т.е. банковского процента.

Приведенная выше оценка нормы дисконтирования справедлива (в рыночной экономике) для собственного капитала. В случае заемного капитала нормы дисконтирования определяются процентной ставкой, условиями процентных выплат и погашения по займам.

Следует отметить, что при разработке вышеприведенного алгоритма оптимизации структуры комплексной САЭ были приняты следующие допущения:

- на первом этапе не учитывалась неравномерность графика нагрузки и силовая часть системы ДЭМ-М-Г выбиралась по пику нагрузки, продолжающемся в сумме только несколько часов в сутки, что приводит к некоторому увеличению удельного расхода топлива на дизель при недогрузках, т.е. когда $P < P_N$; обычно оптимальный (наименьший) расход топлива, указанный в паспорте ДЭС, соответствует нагрузке 75% от P_N (где P_N – номинальная мощность);

- не учитывалась также неравномерность электро- и теплоснабжения от СЭП, что сказывается на завышении капитальных затрат на СЭП и СТП, выбираемых нами по максимуму нагрузки.

В разработанном алгоритме заложены следующие ограничения:

- снижение мощности системы ДЭМ-М-Г возможно только до уровня мощности потребителей первой категории, чтобы они всегда были обеспечены электроэнергией. Это ограничение частично можно компенсировать за счет некоторого удорожания распределительной сети и обеспечения автоматической коммутации фидеров, что будет разгружать систему при дефиците мощности путем отключения потребителей третьей (в необходимых случаях – и второй) категорий;

- не учитывались затраты на резервный источник, считая, что обслуживание силовой части системы ДЭМ-М-Г выполняется без ее остановки, а на период ремонтных работ используется передвижная ДЭС.

Указанными допущениями и ограничениями можно пренебречь при предварительных оптимизационных расчетах и при условии, что графики нагрузки не будут резко переменными.

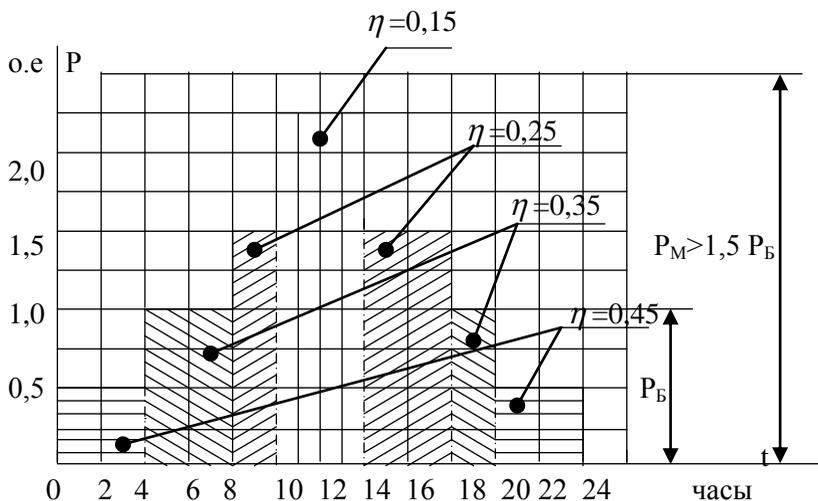


Рисунок 1 – Зависимость расхода топлива дизеля (КПД дизеля η_g) на типичном графике нагрузки САЭ

На рис. 2 представлена зависимость КПД дизеля от величины нагрузки на валу, из которого следует, что максимальное значение КПД ($\eta = 0,35$) приходится на нагрузку $P = 0,75P_N$, а для других нагрузок, включая номинальную, величина КПД существенно ниже, особенно при перегрузках.

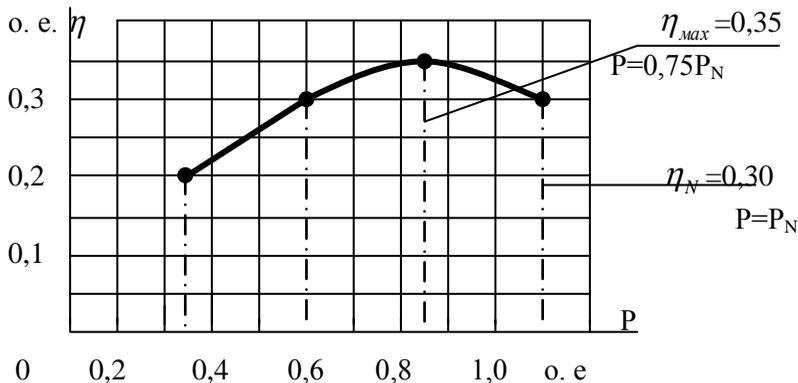


Рисунок 2 – Зависимость КПД дизеля от величины нагрузки на валу

С учетом зависимости $\eta = \varphi(P)$ по рис. 2 получены зависимости КПД для всех приведенных на рис. 1 нагрузках на дизель, откуда видно, на каких уровнях нагрузки целесообразнее эксплуатировать дизель.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 13-08-96515 р_юг_а».

Литература

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

ВОПРОСЫ ИСПЫТАНИЙ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

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

Испытания и измерения в электроустановках проводятся перед приемкой их в эксплуатацию и в сроки, определяемые периодичностью профилактических испытаний, а также при капитальном и текущем ремонтах электрооборудования.

Нормы и периодичность испытаний электрооборудования и аппаратов электроустановок приведены в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ гл.1.8), ГОСТ Р 50571.16-99, Правилах технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП. Пр.3; п. 3.1).

Однако, для кабельных линий (КЛ) из сшитого полиэтилена приведенные нормы и сроки испытаний не подходят, ввиду особенностей распределения электрических зарядов в сшитом полиэтилене, которые рассмотрим ниже.

Целью испытаний КЛ является определение наличия необходимого запаса электрической прочности изоляции путем воздействия на нее повышенным напряжением в течение определенного времени.

С начала 1970-х годов кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (российское обозначение – СПЭ, английское – XLPE, немецкое – VPE, шведское – PEX) заменяют кабели с бумажной изоляцией среднего и высокого напряжения.

Преимущества кабелей СПЭ:

- высокие диэлектрические свойства;
- широкий диапазон рабочих температур;
- большой запас термической стойкости;
- малая гигроскопичность;
- хорошие механические свойства и малый вес;
- экологическая безопасность
- более высокая надежность в эксплуатации;
- меньшие эксплуатационные расходы на КЛ;
- низкие диэлектрические потери (потери 0,001);
- высокая стойкость к повреждениям;
- большая пропускная способность за счет увеличения допустимой температуры нагрева жил: длительной (90 °С вместо 70 °С), при перегрузке (130 °С вместо 90 °С);
- более высокий ток термической устойчивости при коротком замыкании (250 °С вместо 200 °С).

О потерях в экране кабеля СПЭ

При эксплуатации однофазных кабелей существенной проблемой является наличие токов в экранах кабелей, которые по своим значениям близки к токам, протекающим в жилах. Высокий уровень напряжения жил кабеля приводит к необходимости использования в конструкции кабеля металлического экрана. Основным назначением экрана является обеспечение равномерности электрического поля, воздействующего на изоляцию кабеля, что достигается только в случае заземления экрана. Если по условиям ограничения напряжения на экране обязательно его заземление в нескольких точках, то для снижения токов в экранах при трехфазной группе однофазных кабелей может быть применена транспозиция экранов.

Транспозицию необходимо производить именно для экранов, а не для самих кабелей, как это делается на ВЛ с неизолированными проводами. Транспозиция на КЛ производится с

использованием «транспозиционных коробок», при этом положение самих кабелей относительно друг друга не меняется

Способ заземления экранов кабелей влияет:

- на величину тока в экране в нормальных и аварийных режимах и при неправильном заземлении экрана может привести к повреждению кабеля;
- на электрические потери в кабеле (в металлическом экране), а значит на его тепловой режим и пропускную способность;
- на величину напряжения на экране в нормальных и аварийных режимах, т.е. на надежность работы кабеля и безопасность его обслуживания;
- на основные электрические параметры кабеля (активное и индуктивное сопротивления).

Электрические испытания кабелей СПЭ

Распределение постоянного напряжения по толщине электрической изоляции кабелей из сшитого полиэтилена и пропитанной бумаги принципиально разное.

За счет образования объемных зарядов у электродов на внутренней и наружной поверхностях изоляции из сшитого полиэтилена образуется локальная концентрация электрического поля, которая может привести к разрушениям в виде скользящих разрядов и пробоем, в первую очередь кабельных муфт, являющихся более слабыми в электрическом отношении элементами КЛ. Это неоднократно наблюдались при испытаниях КЛ на номинальное напряжение 10 – 35 кВ постоянным (выпрямленным) напряжением по нормам, предусмотренным в ПУЭ для кабелей с пропитанной бумажной изоляцией, где величина испытательного напряжения составляет $10,3 U_0$.

После прокладки и монтажа кабелей рекомендуется проводить следующие испытания КЛ:

- Постоянным напряжением $4U_0$ кВ в течение 15 мин или переменным номинальным напряжением 10(6) кВ в течение 24 час.
- Частотой 0,1 Гц, 15 мин: КЛ – 10 кВ напряжением 30 кВ; КЛ-35 кВ напряжением 105 кВ.

- Оболочка кабеля после прокладки должна быть испытана постоянным напряжением 10 кВ, приложенным между металлическим экраном и заземлением в течение 10 мин.

- В международных стандартах МЭК 60502-2, HD 620S1 для кабелей среднего напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена рекомендуется испытание КЛ проводить переменным напряжением пониженной частоты 0,1 Гц.

- В качестве альтернативы допускается проводить испытания КЛ постоянным напряжением величиной $4 U_0$ в течение 15 минут (п. 20.2.2 МЭК 60502-2) с характерным примечанием: **“испытание напряжением постоянного тока может повредить испытываемую систему изоляции”**.

Таким образом, неправомерно переносить нормы испытаний КЛ постоянным напряжением для кабелей с пропитанной бумажкой изоляцией, на кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена. Для последних воздействие испытательного постоянного напряжения величиной до $10 U_0$ является **разрушающим**.

В табл. 1 приведены нормы испытаний кабелей СПЭ, рекомендуемые заводами изготовителями: «Иркутсккабель», «Кольчугинкабель», «Камкабель» и Московская кабельная сеть. Как видно из табл. 1 наблюдается различие в нормах испытаний кабелей СПЭ, что говорит об отсутствии в России единого подхода.

Таблица 1

Ун. кВ кабеля	f _{исп} Гц	U _{исп} ,кВ (t _{исп} ,мин)			
6 кВ	0,1 Гц	-	3U ₀ (30мин)	-	12кВ (30мин)
10 кВ	0,1 Гц	30кВ (15мин)	3U ₀ (30мин)	30кВ (15мин)	18кВ (30мин)
35 кВ	0,1 Гц	105кВ (15мин)	3U ₀ (30мин)	105кВ (15мин)	60кВ (30мин)
6 кВ	0	4U ₀ (15мин)	-	4U ₀ (15мин)	-
10 кВ	0	4U ₀ (15мин)	-	4U ₀ (15мин)	-
35 кВ	0	4U ₀ (15мин)	-	4U ₀ (15мин)	-

6 кВ	50	U ₀ (24час)	U ₀ (24час)	U ₀ (24час)	-
10 кВ	50	U ₀ (24час)	U ₀ (24час)	U ₀ (24час)	-
35 кВ	50	U ₀ (24час)	U ₀ (24час)	U ₀ (24час)	-
Оболочка	0	10кВ (10мин)	10кВ (10мин)	10кВ (10мин)	5кВ (10мин) 5кВ (5мин)

На наш взгляд, наиболее оптимальными являются нормы, приведенные в инструкции Московской кабельной сети: «VII – Б – 1 Инструкция по испытаниям КЛ, оборудования РУ, защитных средств и ОМП на КЛ» утверждена 27.10. 2006г.

Также можно руководствоваться утвержденными отраслевыми стандартами (HD 620S1, VDE 0276-620,-621, -1001).

КЛ испытываются при вводе в эксплуатацию и после ремонта. Вычисление испытательного напряжения рекомендуется производить по формуле:

$$U_{исп} = 3 \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}}$$

После проведенных вычислений, получим значения испытательного напряжения: для кабелей 6 кВ - U_{исп} = 10,4 кВ; для кабелей 10 кВ - U_{исп} = 17,3 кВ; для кабелей 35 кВ - U_{исп} = 60,6 кВ.

«Инструкция VII – Б – 1» рекомендует следующие испытательные напряжения для кабелей СПЭ:

- КЛ с U_n = 6кВ испытывается напряжением 12кВ частотой 0,1Гц или 10,5 кВ частотой 50Гц 30 мин (после ремонта 20мин);
- КЛ с U_n = 10кВ испытывается напряжением 18кВ частотой 0,1 Гц или 17,5 кВ частотой 50 Гц 30 мин (после ремонта 20мин);
- Оболочка испытывается постоянным напряжением 5кВ 10мин или 5 кВ 5 мин, ток утечки – 200 мкА.

КЛ испытываются при вводе в эксплуатацию и после ремонта.

При проведении испытаний сверхнизкой частотой синусоидальной формы, необходимо производить пересчет амплитудного значения напряжения U(кВ)_{амп.} в действующее (эффективное) U(кВ)_{эфф.}

$$U(\text{кВ})_{\text{эфф}} = U(\text{кВ})_{\text{амп}} / \sqrt{2}.$$

Для наглядности результаты представлены в табл.2.

Система НВА-60 позволяет эффективно испытывать кабели с СПЭ изоляции до 35кВ напряжением с ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМОЙ СИГНАЛА на сверхнизкой частоте 0,1Гц.

Таблица 2

Наименование испытательной установки	Значение $U(\text{кВ})_{\text{амп}}$	Значение $U(\text{кВ})_{\text{эфф}}$
НВА -90	90/1,41	63,63961031
НВА -60	60/1,41	42,42640687
НВА -30	30/1,41	21,21320344

Неразрушающие методы диагностики силовых КЛ напряжением до 35 кВ, используемые за рубежом:

- метод измерения и локализации ЧР в изоляции;
- метод измерения и анализа возвратного напряжения;
- метод измерения тока релаксации в изоляции СПЭ;
- метод измерения диэлектрических характеристик изоляции кабелей;
- измерение $\text{tg}\delta$ на частоте 0,1 Гц;
- метод импульсной рефлектометрии для предварительной локализации низкоомных повреждений в силовых КЛ и импульсно-дуговой метод для предварительной локализации высокоомных повреждения в КЛ (с использованием рефлектометров и устройств стабилизации дуги);
- метод контроля целостности оболочки силовых кабелей и определения места неисправности в ней.

Диагностика оболочки кабеля проводится перед подключением, затем через 3 года после подключения, а дальше через каждые 4 года эксплуатации. Все элементы кабельной муфты проходят на заводе испытания повышенным напряжением. В частности, полупроводящие термоусаживаемые трубки испытываются переменным напряжением: 40 кВ для муфт 10 кВ; 80 кВ для муфт 20 кВ и 115 кВ для муфт 35 кВ. В настоящее время надежность муфт при их правильном монтаже выше, чем надежность самого кабеля, при этом надежность муфт можно

увеличить. Как правило, пробой в муфтах происходит из-за неграмотно проведенного монтажа

Система для проведения испытаний на сверхнизких частотах должна удовлетворять следующим требованиям:

- частота повторения должна быть такой низкой, чтобы мощность, высвобождаемая в любом ЧР была настолько мала, чтобы не вызывать дальнейшей эрозии и, как следствие, не приводить к росту давления газа.
- смена полярности с одной стороны должна происходить достаточно медленно, чтобы исключить любые переходные процессы, вызываемые бегущими волнами, с другой стороны, она должна быть достаточно быстрой, чтобы сохранить любой пространственный заряд в ЧР, откуда он нарастает в направлении противоположного электрода.

Система, удовлетворяющая этим требованиям, должна генерировать колебания частотой 0,1 Гц со сменой полярности в течение полуволны 50 Гц

Особенности методики испытаний на установках напряжением частотой 0,1 Гц.

Испытательная установка подает в кабель напряжение частотой 0,1 Гц. Испытание производится напряжением, равным $3 U_0$, согласно утвержденным стандартам (HD 620S1, VDE 0276-620,-621, -1001).

С помощью применения напряжения косинусо-прямоугольной формы дефектные места в кабелях с ПЭ, ПВХ изоляцией быстро приводятся в состояние пробоя, без ненужной дополнительной нагрузки на кабельную изоляцию.

Основной причиной увеличения уровня частичных разрядов при эксплуатации кабелей с изоляцией из СПЭ является рост водных триингов в изоляции.

В процессе старения (деструкции) сшитого полиэтилена его эксплуатационные характеристики снижаются. Основная причина этого – водные триинги – повреждения полимера, развивающиеся на технологических дефектах изоляции при совместном действии электрического поля и влаги, диффундирующей из окружающей среды.

Вместе с влагой в изоляцию проникают агрессивные вещества. Они разрушают полимерные цепи, приводя к образованию микрополостей, которые в свою очередь служат резервуарами для накопления влаги. Под воздействием электрического поля полярные молекулы воды образуют древовидные структуры, направленные вдоль силовых линий электрического поля, - водные триинги.

Различают два вида триингов: «бант» (зарождаются в объеме изоляции, заполненном водой, или на включениях инородных материалов) и «веер», развиваются с поверхности электропроводящих экранов (рис. 1).

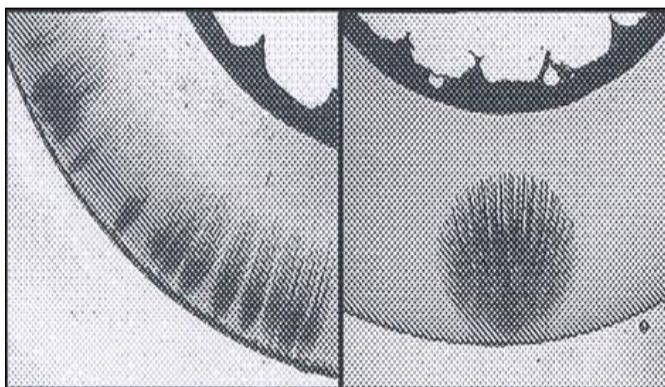


Рисунок 1 - Триинги типа «бант» и «дельта»

Электрическая прочность изоляции в области триингов существенно снижается, что повышает напряженность на неповрежденной части изоляции и ускоряет процесс роста триинга.

Исследования электрической прочности, выполненные на кабелях среднего напряжения с пероксидной и силановой сшивкой в исходном состоянии и после старения во влажной среде при напряженности 4,0 кВ/мм в течение 2000 ч показали, что электрическая прочность пероксидноштитой изоляции кабелей после старения снизилась практически в два раза, а кабелей силаносшитых – лишь на 12%. В пероксидноштитой изоляции после старения зафиксированы триинги типа «бант» и «дельта». В силаносшиваемой изоляции триинги не обнаружены.

Экспериментальные результаты показывают, что длина водных трингов в образцах с силаносшиваемым полиэтиленом (SXLPE) меньше, чем в образцах пероксидносшиваемого полиэтилена (XLPE). Влагосодержание в пероксидносшитом полиэтилене - $0,118 \pm 0,024\%$, а в силаносшитом - $0,043 \pm 0,020\%$.

В настоящее время существуют две концепции снижения негативного влияния водных трингов на изоляции.

Согласно первой концепции в полиэтилен вводятся специальные химические добавки, в итоге получается трингостойкий сшитый полиэтилен – ТСПЭ;

В соответствии со второй концепцией создаются макромолекулы, в состав которых, помимо этилена, входит более 5% других химических соединений, в итоге получается сополимерный сшитый полиэтилен – ССПЭ (механическая смесь полиэтилена низкой плотности, сополимера – этилена и этилакрилата или бутилакрилата и антиоксиданта, снижающего скорость окислительных процессов).

Доказано, что испытания высоким постоянным напряжением уменьшают срок эксплуатации кабелей и значительно увеличивают рост водных трингов.

ВЫВОДЫ:

- испытания кабеля напряжением на сверхнизкой частоте и сверхмалым током защищают кабель от повреждения во время испытаний.
- для кабелей с изоляцией СПЭ это особенно важно, так как испытания кабеля с такой изоляцией постоянным током влекут за собой поляризацию молекул полиэтилена, что в свою очередь приводит к появлению дефектов в изоляции кабеля, которые значительно снижают срок эксплуатации.
- главными особенностями испытательных установок являются: сверхнизкая частота испытательного напряжения, равная 0.1 Гц и сверхмалый испытательный ток.

На рис.2 приведена испытательная установка отечественного производства АИСТ-50/70 СНЧ, позволяющая проводить испытания кабелей с бумажно-масляной изоляцией 6 кВ, 10 кВ выпрямленным напряжением и кабелей с изоляцией СПЭ

6, 10 и 35 кВ синусоидальным напряжением на сверхнизкой частоте 0,01 .. 0,1 Гц, уровни напряжения 2,8 ... 65 кВ.



Рисунок 2 – Аппарат испытательный АИСТ-50/70 СНЧ

Литература

1. Кириллов Г.А., Варенов А.Б., Кашин Я.М., Ракло А.В., Руденко В.Г.// Эксплуатация электрооборудования. Теория и практика. Монография.// под общей редакцией Г.А.Кириллова // ВУНЦ ВВС «ВВА», КубГТУ, Издательство «Парабеллум», Краснодар, 2013.
2. ГОСТ Р.2012г. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на напряжение от 6 до 35 кВ. Общие технические условия. Госстандарт, М.; 2013.

СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Г.А. Кириллов (к.т.н., доц.), Я.М. Кашин (к.т.н., доц.),
А.Б. Варенов (к.т.н., доц.), А.И. Гайдамашко
*Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков
им. А.К. Серова (г. Краснодар, Россия)*

Силовые трансформаторы являются одними из основных элементов электрических сетей и систем. Предупреждение аварий трансформаторов должны обеспечивать системы непрерывного контроля (мониторинга) работы трансформаторов, использующие комплекс датчиков, регистрирующих различные пара-

метры трансформаторов, по изменению которых можно определить развивающиеся при работе дефекты.

Система мониторинга контролирует состояние основных узлов трансформатора и режимы его работы.

Главной целью применения системы мониторинга является выявление на ранней стадии развития опасных дефектов непосредственно во время работы, контролю и индикации признаков, предшествующих появлению электрической дуги и своевременному отключению трансформатора для предотвращения взрывов и пожаров.

В настоящее время известны несколько типов систем мониторинга, отличающихся количеством датчиков, соответствующим программным обеспечением и, следовательно, функциональностью системы.

Рассмотрим наиболее распространенные системы, аппараты и приборы непрерывного контроля основных параметров трансформаторов.

Система мониторинга на базе «АИСС ЭНТЭК»

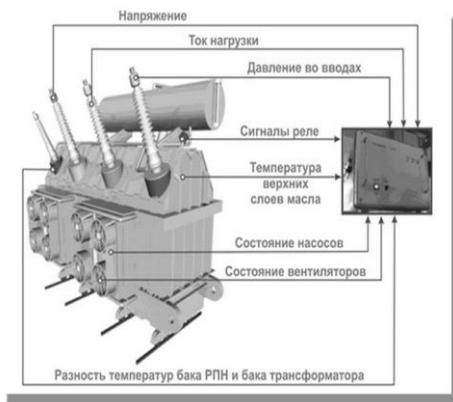


Рисунок 1 – Состав и размещение оборудования стационарной системы мониторинга «АИСС ЭНТЭК»

Система мониторинга и диагностики силовых трансформаторов на базе «АИСС ЭНТЭК» и оборудования «ОВЕН» предназначена для непрерывного контроля и анализа техниче-

ского состояния трансформаторов, диагностики и предупреждения на ранней стадии возможных аварийных ситуаций, дистанционный контроль и управление [1, 2].

В состав датчиков контроля входят датчики (рис.1): температуры верхних и нижних слоев масла, воздуха; вибрации; напряжения и тока; контроля изоляции (токов проводимости и ЧР); содержание газа и влаги в масле; давления масла во вводах; контроля состояния РПН и др.

Система ультразвуковой диагностики изоляции высоковольтного оборудования «ДЛ»

Система «ДЛ» предназначена для ультразвуковой локализации разрядов в изоляции силовых и измерительных трансформаторов, в концевых и соединительных муфтах КЛ и другом электрооборудовании под рабочим напряжением [3].

Сопровождающий ЧР ультразвуковой сигнал воспринимается приемником, установленном на корпусе, и преобразуется в электрический сигнал. Амплитуда сигнала оценивается по индикатору, затем сигнал запоминается и замедленно воспроизводится через наушники.

Основная особенность системы в том, что обнаруженный ультразвуковой сигнал можно записать, замедлить и услышать. При этом с помощью слуха обнаруживаются сигналы, которые на осциллографе не видны. Аналогичные сигналы в оборудовании можно обнаружить даже на фоне помех: вибростука, шума маслонасосов, вентиляторов и т.п.

Система контроля состояния изоляции по характеристикам частичных разрядов «СКИ-2»

Система предназначена для контроля состояния высоковольтного оборудования с элегазовой, масляной и твердотельной изоляцией, в т.ч. КРУЭ, силовых и измерительных трансформаторов, вводов, кабелей и т.д. под рабочим напряжением в реальных условиях. Система позволяет обнаруживать дефекты изоляции на самой ранней стадии их развития, определять тип дефекта, его положение и степень опасности [4].

Принцип работы – измерение электрических, акустических и электромагнитных сигналов от ЧР, возникающих при появлении дефекта в изоляции контролируемого оборудования.

«СКИ-2» – это компьютерная система сбора и обработки информации, поступающей от электрических, акустических и электромагнитных датчиков ЧР, размещенных на объекте.

Наличие трех каналов регистрации сигналов ЧР (электрического, электромагнитного и акустического) обеспечивает надежное обнаружение дефектов изоляции и их локализацию.

Программное обеспечение позволяет использовать разнообразные способы представления получаемой информации, в том числе амплитудно-фазовые диаграммы и трехмерные графики, наиболее полно отражающие амплитудно-фазовое распределение сигналов ЧР и с записью информации.

Комплекс для измерения ЧР «ДКЧР-2»

Комплекс «ДКЧР-2» предназначен для контроля разрядной активности в работающих трансформаторах [5].

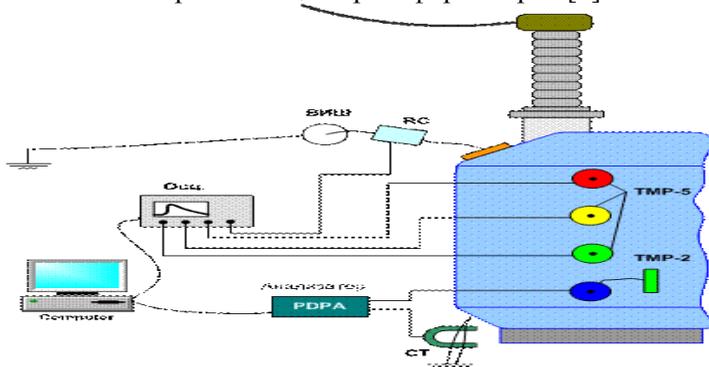


Рисунок 2 – Измерительный комплекс ДКЧР-2

Возможности технологии контроля с «ДКЧР-2»:

- по полученным данным возможно определение характера протекания электроразрядного явления (ЧР в изоляции, искрения, дуговые процессы);

- по сопоставлению сигналов из различных точек установки датчиков возможно определение аппарата с повышенной электропроводной активностью.

В состав измерительного комплекса для оперативной диагностики входит комплекс измерения ЧР «ДКЧР-2» и тепловизор «ТН-7102WX NEC» (рис.2). Для проведения измерений применяются датчики измерения тока ЧР, измерения магнитного поля от тока, измерения характеристик ЧР, измерения разности потенциалов на заземленных токоведущих элементах, измерения напряжения от ЧР

Схема измерений представлена на рис. 2. После установки датчиков производятся замеры разрядной активности по контрольным точкам по распределениям $n(Q)$ и выполняется локация зон разрядов по анализу осциллограмм.

Система мониторинга трансформаторов « TDM-3F»

Система «TDM-3F» предназначена для регистрации и сбора информации в режиме непрерывного контроля и анализа технического состояния силовых трансформаторов [6]. Позволяет формировать комплексное заключение о состоянии трансформатора.

Для проведения оперативной оценки общего технического состояния трансформатора при помощи системы мониторинга марки «TDM-3F» анализируется состояние следующих подсистем и элементов трансформатора:

1. Контроль технического состояния масляных вводов. путем измерения токов проводимости, расчет $\tan\delta$ и S_x .
2. Контроль изменения геометрии обмоток трансформатора при помощи оперативного расчета параметра Z_k .
3. Контроль состояния РПН.
4. Контроль температурных режимов работы.
5. Регистрация перенапряжений и импульсных токовых воздействий на обмотки, контроль работы защитных реле.
6. Контроль параметров состояния трансформатора, определяемых другими диагностическими системами. На основании ряда частных диагнозов выполняется интегральная оценка состояния трансформатора, прогнозирования развития состоя-

ния и возможность анализа трендов развития дефектов и определение остаточного ресурса.

Прибор AR-700 - регистрация частичных разрядов и локация зоны дефектов в изоляции оборудования

Прибор "AR-700" предназначен для регистрации и анализа ЧР в изоляции высоковольтного оборудования при помощи акустических датчиков в режиме мониторинга [1].

Наличие в приборе четырех акустических каналов регистрации ЧР и одного электрического высокочастотного датчика типа RFCT, позволяет выявить факт наличия проблем в изоляции и оценить их уровень, провести локацию места возникновения разрядов на работающем оборудовании. Информация с датчиков просматривается на графическом экране или/и записывается в память.

Прибор контроля ЧР в изоляции R-400

Прибор R-400 предназначен для периодического контроля состояния высоковольтной изоляции по ЧР в условиях эксплуатации при помощи емкостных, индуктивных или трансформаторных датчиков в маслонаполненных вводах, трансформаторах, электродвигателях, ячейках КРУ, КЛ [1].

Для повышения информативности проведения измерений и принятия диагностических решений в R-400 реализованы следующие способы защиты от помех:

- методы регистрации импульсов от ЧР с использованием фазовых и амплитудных окон;
- использование аппаратных методов селекции входных импульсов по форме, длительности импульса и паузы, которые были рассмотрены выше.

Помехозащищенность регистрации ЧР существенно повышает наличие в приборе дополнительного шумового канала.

R-1600 - диагностический монитор состояния изоляции трансформаторов под рабочим напряжением

Система R-1600 предназначена для оперативного контроля состояния изоляции силовых трансформаторов под рабочим напряжением. Она может работать автономно, выполняя функции системы мониторинга технического состояния или являться дополнением к системам мониторинга режимов работы трансформаторов [1].

При помощи R-1600 состояние изоляции работающего трансформатора контролируется следующими методами:

- контроль величины S_x и $\text{tg}\delta$ вводов;
- выявление температурных зависимостей изменения параметров S_x и $\text{tg}\delta$ вводов;
- регистрация и анализ ЧР в трансформаторе;
- контроль изменения геометрии обмоток по Z_k .

Для практической реализации этих методов диагностики используются специально разработанные расчетные алгоритмы. Они реализованы во внутреннем микропроцессоре прибора и работают в автоматическом режиме. Источником информации для расчетов являются: датчики DB-1 для токов проводимости вводов, набор датчиков для регистрации ЧР, включая датчик короны KS-60, датчики температуры, влажности, тока и т. д.

R-2100 - Прибор регистрации частичных разрядов

Прибор R-2100 является современным микропроцессорным устройством, позволяющим контролировать состояние изоляции по уровню ЧР [1]. Прибор марки R-2100 имеет 12 измерительных каналов для замера ЧР, 1 шумовой и 1 референсный канал. Все каналы изолированы, имеют идентичные токовые цепи, имеют защиту от помех и фильтрацию верхних частот.

R-2100 получает данные о ЧР в виде трехмерного фазораспределенного сигнала – импульс ЧР рассчитывается как функция амплитуды импульса и фазы 50 Гц.

Прибор также регистрирует до 3-х рефлектограмм для каждого канала, с разным порогом срабатывания по уровню амплитуды ЧР. Данные могут храниться в памяти прибора в виде трехмерных матриц и/или в виде интегрального множества из-

влеченного из этих матриц. Если по каналу производился запуск рефлектомера, то к замеру дописываются рефлектограммы. Погрешность определения места ЧР в кабеле: ± 2 м.

Система анализа частичных разрядов акустическая «СТЭЛЛ-301А»

Система «СТЭЛЛ-301А» предназначена для регистрации акустических сигналов от ЧР различного электрооборудования высокого напряжения [7]:

- силовых трансформаторов и вводов;
- кабелей и муфт с любой изоляцией;
- элементов распределительных устройств.

Принцип действия системы «СТЭЛЛ-301А» основан на регистрации сигналов ЧР, сопровождающих дефекты изоляции оборудования высокого напряжения. ЧР регистрируются акустическими датчиками, устанавливаемыми на оборудовании.

Электрические сигналы с акустических датчиков анализируются в устройстве сбора и обработки информации по программе, установленной в переносном компьютере. На экране компьютера отображается временная и спектральная формы сигналов с акустических датчиков (параллельно по четырем каналам), с указанием всех основных параметров сигналов и их спектров.

По отображаемым сигналам и их параметрам можно сделать вывод о наличии сигналов ЧР, степени их опасности, и выдать соответствующие рекомендации.

Для определения местоположения дефекта изоляции трансформатора осуществляют последовательную установку датчика с магнитным креплением по поверхности трансформатора. Таким образом, определяются точки с максимальным акустическим сигналом. Для определения места дефекта по глубине используется специальное устройство установки четырех датчиков (антенн), которое размещается на баке трансформатора в точках максимального акустического сигнала, и запускается специальная программа автоматического вычисления координат расположения дефекта изоляции.

Метод измерения ЧР позволяет проводить диагностику кабельной линии (КЛ) напряжением, равным $(1 - 1,5)U_{\text{раб}}$. Поэтому метод измерения ЧР относится к неразрушающим методам контроля. Метод измерения ЧР, позволяет не только определить уровень ЧР в кабельной линии, но и определить их местонахождение [7].

Сущность такого метода измерения ЧР заключается в следующем. В момент появления ЧР в КЛ возникает два коротких импульсных сигнала, длительности которых десятки-сотни наносекунд. Эти импульсы распространяются к разным концам линии. Измеряя импульсы, достигшие начала кабеля, можно определить расстояние до места их возникновения и уровень.

Ниже приведен краткий перечень и возможности применения некоторых других приборов для мониторинга ЧР [1]:

1. Прибор ЧР PD-TM500A. Стационарная Он-Лайн диагностическая система, осуществляющая постоянный мониторинг ЧР при совместном использовании высокочастотного датчика тока и акустического датчика в трансформаторах.

2. Прибор ЧР PD-TP500A. Мобильная Он-Лайн диагностическая система, осуществляющая периодический мониторинг ЧР при совместном использовании высокочастотного датчика тока и акустического датчика в трансформаторах, элегазовых выключателях, электродвигателях, муфтах и кабелях.

3. Прибор ЧР MAT400A. Стационарная Он-Лайн диагностическая система, осуществляющая постоянный мониторинг ЧР с помощью акустических датчиков в трансформаторах, элегазовых выключателях, кабелях и муфтах.

4. Прибор ЧР PD-RD300A. Стационарная Он-Лайн - диагностическая система, осуществляющая постоянный мониторинг ЧР с помощью антенны в выключателях.

5. Прибор ЧР PD-MCC G400A. Стационарная Он-Лайн диагностическая система, осуществляющая постоянный мониторинг ЧР с помощью высокочастотного датчика тока в электродвигателях, элегазовых выключателях, кабелях и муфтах.

6. Прибор ЧР PD-MIMS. Стационарная Он-Лайн диагностическая система, осуществляющая постоянный мониторинг

ЧР с помощью емкостных датчиков в генераторах, электродвигателях, кабелях и муфтах.

7. Прибор ЧР iGMS-P8A. Мобильная Он-Лайн диагностическая система, осуществляющая периодический мониторинг ЧР с помощью радиочастотных датчиков в элегазовых выключателях и концевых кабельных муфтах.

8. Прибор ЧР PD-iGMS-M20A. Стационарная Он-Лайн диагностическая система, осуществляющая постоянный мониторинг ЧР с помощью радиочастотного датчика в элегазовых выключателях и концевых кабельных муфтах.

Таким образом, анализируемый состав современных систем и приборов позволяет сделать вывод о том, что для контроля технического состояния трансформаторов имеется достаточно большая и современная техническая база.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 13-08-96515 p_юг_a».

Литература

1. Кириллов Г.А., Варенов А.Б., Кашин Я.М., Ракло А.В., Руденко В.Г. // Эксплуатация электрооборудования. Теория и практика. Монография.// под общей редакцией Г.А.Кириллова // ВУНЦ ВВС «ВВА», КубГТУ, Издательство «Парабеллум», Краснодар, 2013.

2. Чичёв С.И., Глинкин Е.И. Диагностика силовых трансформаторов 110 кВ и выше в региональных сетевых компаниях / Тамбов: ГТУ, 2009.

3. Система ультразвуковой диагностики изоляции высоковольтного оборудования «ДЛ». Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ТО и ИЭ, 2005.

4. Система контроля состояния высоковольтной изоляции оборудования под рабочим напряжением по характеристикам частичных разрядов «СКИ-2». Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ТО и ИЭ, 2009.

5. Комплекс для измерения частичных разрядов типа «ДКЧР-2». Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ТО и ИЭ, 2006.

6. «TDM-3F». Система диагностического мониторинга основных подсистем силовых трансформаторов. Техническое описание и инструкция по эксплуатации, 2008.

7. Система анализа частичных разрядов акустическая «СТЭЛЛ-301А» / Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ТО и ИЭ. Брянск, 2009.

РАСЧЕТ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХВХОДОВОГО ГЕНЕРАТОРА

Б.Х. Гайтов* (д.т.н., проф.), Л.Е. Копелевич*(к.т.н., доц.),
А.В. Самородов* (к.т.н., доц.), А.Я. Кашин**,
А.С. Схашок*(студент), В.С. Суворов*(студент)

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

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

Двухвходовая электрическая машина-генератор (ДЭМ-Г) представляет собой сложное электромеханическое устройство.

Особенностью данной машины является то, что она имеет два входа: механический и электрический. На механический вход подается вращающий момент от внешнего источника энергии, например, ветра, приводного двигателя и др. На электрический вход подается электрическая энергия постоянного тока, например, световая энергия Солнца, преобразованная фотоэлектрическим преобразователем в электрическую энергию постоянного тока.

На рис. 1, 2 представлены конструкция ДЭМ-Г [1, 2] и электрическая схема ДЭМ-Г. ДЭМ-Г содержит (рис. 1): корпус 1, постоянный многополюсный магнит 2 индуктора подвозбудителя, магнитопровод 3 с обмоткой 4 якоря подвозбудителя, однофазной обмоткой 5 возбуждения возбудителя и дополнительной обмоткой 6 возбуждения возбудителя; внутренний аксиальный магнитопровод 7 с многофазной обмоткой 8 якоря возбудителя и однофазной обмоткой возбуждения 9 основного генератора, аксиальный магнитопровод 10 с многофазной обмоткой 11

якоря основного генератора, вал 12, закрепленный в подшипниковых узлах 13 и 14 и жестко связанный с постоянным многополюсным магнитом 2 индуктора подвозбудителя посредством диска 15 и с внутренним аксиальным магнитопроводом 7 посредством диска 16, девятифазных выпрямителей 17 и 18.

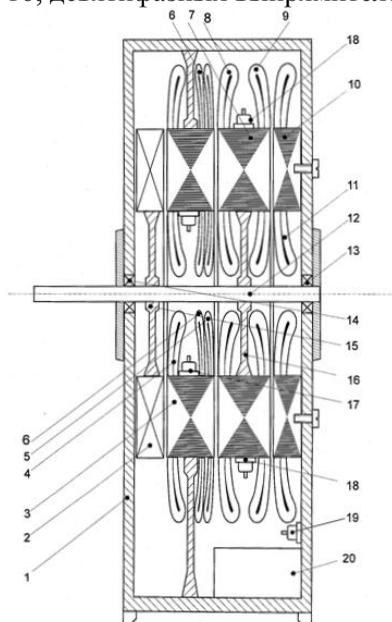


Рисунок 1 – Конструкция двухвходового генератора

Позиции отдельных элементов электрической схемы (рис. 2) соответствуют аналогичным позициям конструкции ДЭМ-Г (рис. 1).

Для оценки параметров и выходных характеристик ДЭМ-Г необходимо рассчитать и построить регулировочные характеристики машины. Математическая модель, на основании которой выполнены расчеты, приведена в [3, 4, 5].

Для расчета характеристик были использованы среды «Mathcad», «MATLAB». Расчет характеристик в двух средах позволяет избежать неточностей и получить, в результате, ха-

рактеристики, более приближенные к характеристикам, полученным в результате проведения физического эксперимента.

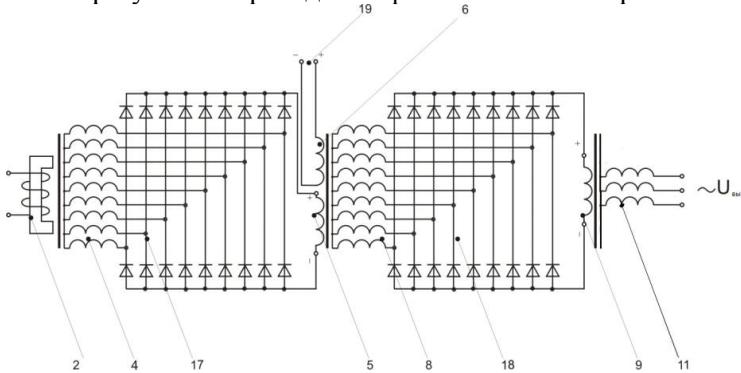


Рисунок 2 - Электрическая схема ДЭМ-Г

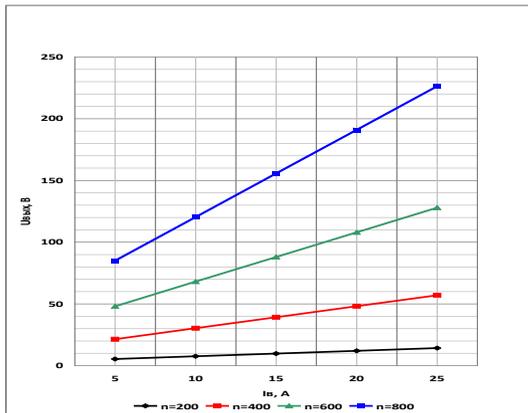


Рисунок 3 – Регулировочные характеристики ДЭМ-Г. Зависимость амплитудного значения выходного напряжения от тока возбуждения

По результатам проведенного математического эксперимента с использованием сред «Mathcad», «MATLAB» были получены регулировочные характеристики ДЭМ-Г (рис. 3, 4, 5). На рис. 4, 5, 6 приняты следующие обозначения: $U_{вх}$ – выходное напряжение ДЭМ-Г, $I_{в}$ – ток возбуждения многополюсного

магнита, U_c – напряжение солнечной батареи, V – скорость ветра.

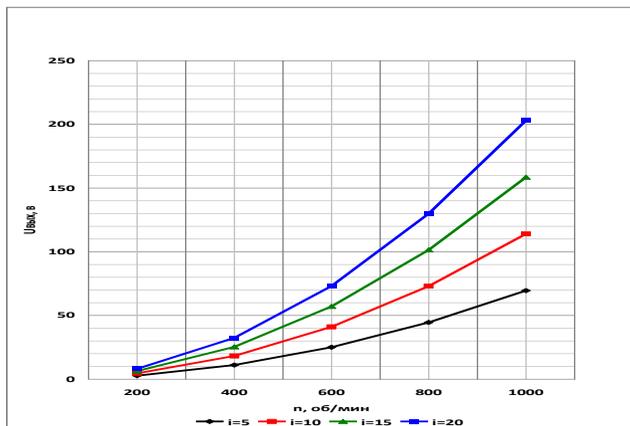


Рисунок 4 – Регулировочные характеристики ДЭМ-Г.
Зависимость амплитудного значение выходного напряжения от частоты вращения вала

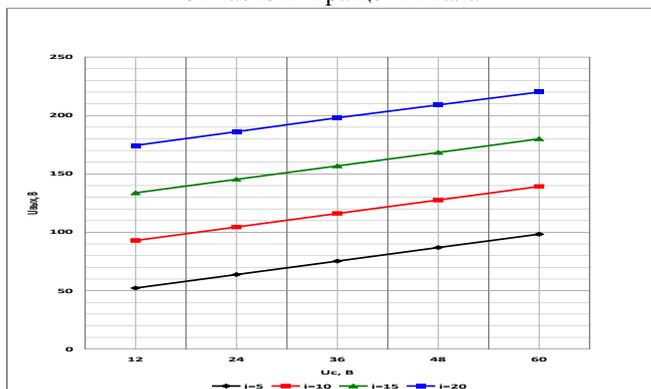


Рисунок 5 – Регулировочные характеристики ДЭМ-Г.
Зависимость амплитудного значение выходного напряжения от напряжения солнечной батареи

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 13-08-96515 р_юг_а».

Литература

1. Пат. 2450411 РФ – Аксиальная двухвходовая бесконтактная электрическая машина-генератор / Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Гайтова Т.Б., Кашин А.Я., Пауков Д.В., Голощاپов А.В. Опубл. 10.05.2012, Бюл. № 13
2. Гайтов Б.Х. Нетрадиционные электромеханические преобразователи энергии в системе автономного электроснабжения / Гайтов Б.Х., Гайтова Т.Б., Кашин Я.М., Копелевич Л.Е., Самородов А.В. // Изв. вузов. Электромеханика. 2008. № 1. С. 21-28.
3. Гайтов Б.Х., Разработка математической модели электромагнитных и электромеханических переходных процессов в аксиальных многофазных генераторных установках / Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Копелевич Л.Е., Кашин А.Я., Голованов А.А., Копелевич М.Л. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. №02(76). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/02/pdf/84.pdf>, 0,625 у.п.л.
4. Самородов А.В. 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) №1, 2015, с.95-100.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХВХОДОВОГО ГЕНЕРАТОРА

Б.Х. Гайтов* (д.т.н., проф.), Л.Е. Копелевич*(к.т.н., доц.),

Я.М. Кашин* (к.т.н., доц.), А.Я. Кашин**,

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

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

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

В альтернативной энергетике сегодня по-разному решается вопрос одновременного использования сразу нескольких возобновляемых источников энергии (ВИЭ), например, ветра и Солнца. Суммирование энергии от нескольких ВИЭ в одной установке энергетически выгоднее, чем суммирование энергий от нескольких установок, каждая из которых получает энергию от одного из ВИЭ [1, 2]. Поэтому актуальным является создание таких устройств, в частности, электрических генераторов, в которых происходит суммирование энергий от нескольких ВИЭ. Подобные машины должны иметь несколько входов, каждый из которых подключается к своему источнику энергии (например, ВИЭ). В силу повсеместной доступности энергий Солнца и ветра целесообразно создавать двухвходовые электрические машины (ЭМ), т.е. такие машины, которые имеют два входа для подключения двух различных источников энергий, например, электрической энергии вырабатываемой фотоэлектрическими преобразователями под воздействием солнечного излучения и механической энергии, вырабатываемой ветровыми установками. [2, 3].

Известная по [1, 2] двухмерная электрическая машина (ДЭМ-Г) – генератор «получает» энергию с механического входа (ветер) и с электрического входа (солнечные батареи).

При разработке конструкции и расчете параметров машины необходимо учитывать динамические характеристики машины, которые обусловлены наличием переходных процессов. Переходные процессы (как электромагнитные, так и электромеханические) возникают в ДЭМ-Г при изменении скорости ветра и, как следствие, скорости вращения вала машины, при

изменении освещенности солнечных батарей и, как следствие степени дополнительного подмагничивания машины.

Функция изменения скорости ветра $V=f(t)$ приведена на рис. 1.

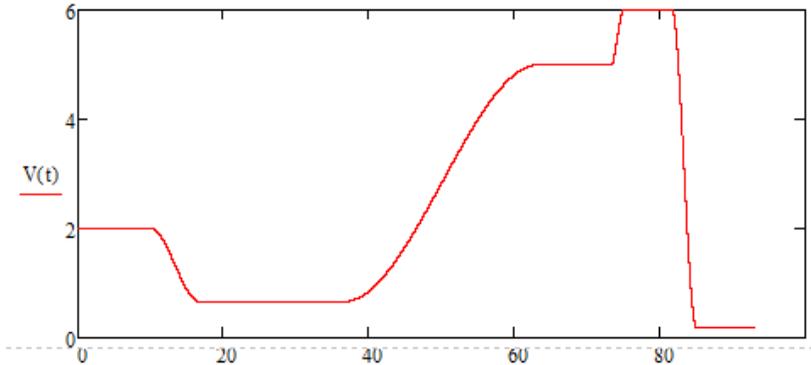


Рисунок 1 – Зависимость скорости ветра от времени.

Так как скорость (сила) ветра влияет на частоту вращения вала ДЭМ-Г (и, соответственно, на частоту индуцируемых в обмотках машин ЭДС) и на амплитуды индуцируемых в обмотках машин ЭДС, то при моделировании применялась формула для расчета ЭДС обмоток:

$$e_i(t) = K_{1i} * V(t) * \sin(\omega_p(t) * t);$$

$$\omega_p(t) = V(t) * K_{2i}.$$

где $e_i(t)$ – ЭДС i -й обмотки; $V(t)$ – скорость ветра; $\omega_p(t)$ – угловая частота вращения ротора; K_{1i}, K_{2i} – коэффициенты, учитывающие конструкционные особенности ветрового колеса и параметры обмоток машины.

На рис. 2 представлена кривая изменения ЭДС первичной обмотки возбуждения, а на рис. 3 – изменение указанной ЭДС с разбивкой на небольшие интервалы времени.

На рис. 4, 5 приведены кривые изменения выходного напряжения машины-генератора при изменении скорости ветра и уровня освещенности солнечных батарей.

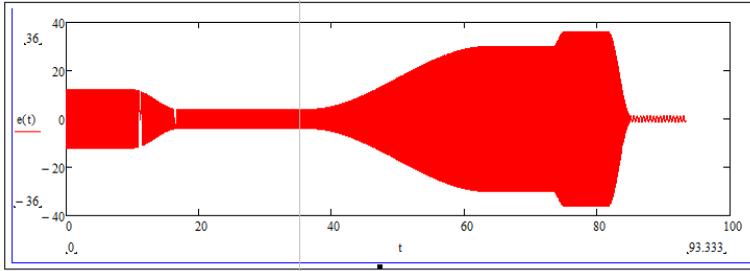


Рисунок 2 – Зависимость ЭДС обмотки возбуждения от времени

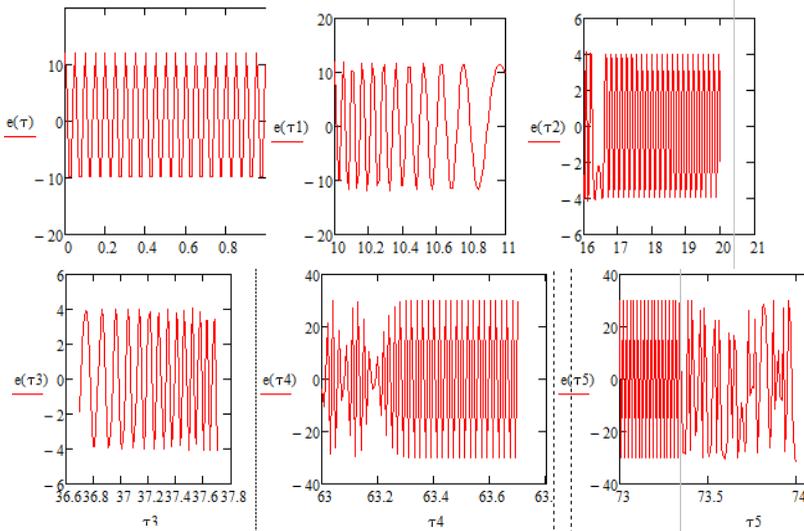


Рисунок 3 – Зависимость ЭДС обмотки возбуждения от времени с разбивкой на небольшие интервалы времени.

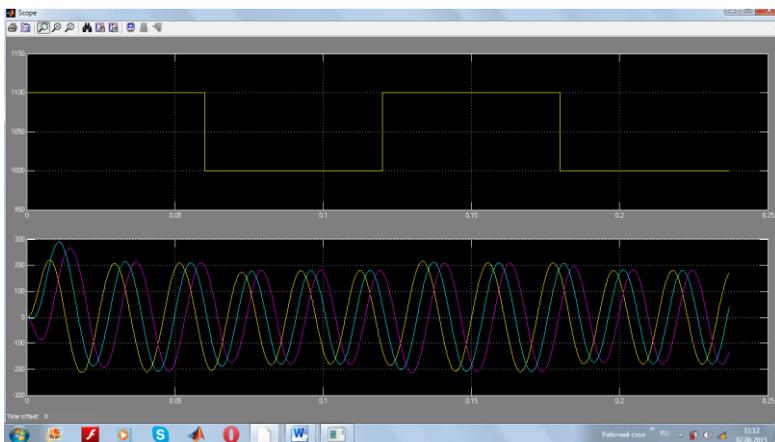


Рисунок 4 – Зависимость изменения выходного напряжения машины-генератора при изменении скорости ветра

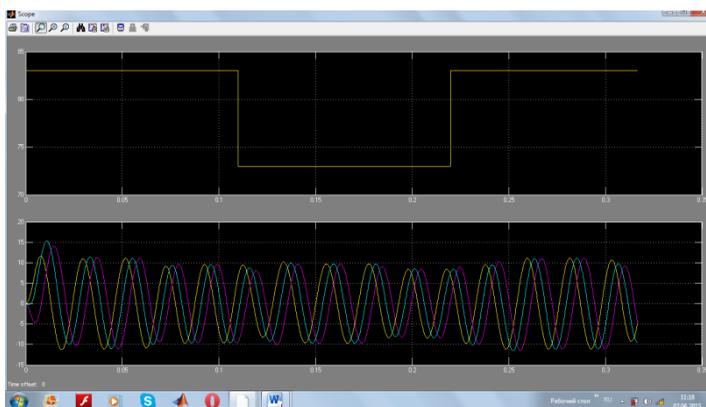


Рисунок 5 – Зависимость изменения выходного напряжения машины-генератора при изменении освещенности солнечной батареи

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 13-08-96515 р_юг_а».

Литература

1. Пат. 2349014 РФ – Двухмерная аксиальная электрическая машина-генератор / Гайтов Б.Х., Самородов А.В., Гайтова Т.Б., Копелевич Л.Е. Опубл. 10.03.2009, Бюл. № 7.
2. Гайтов Б.Х. Нетрадиционные электромеханические преобразователи энергии в системе автономного электроснабжения / Гайтов Б.Х., Гайтова Т.Б., Кашин Я.М., Копелевич Л.Е., Самородов А.В. // Изв. вузов. Электромеханика. 2008. № 1. С. 21-28.
3. Гайтов Б.Х., Разработка математической модели электромагнитных и электромеханических переходных процессов в аксиальных многофазных генераторных установках / Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Копелевич Л.Е., Кашин А.Я., Голованов А.А., Копелевич М.Л. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. - Краснодар: КубГАУ, 2012. №02(76). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/02/pdf/84.pdf>, 0,625 у.п.л.
4. Гайтов Б.Х. Моделирование и расчет температурного поля специальных электрических для систем автономного электроснабжения / Гайтов Б.Х., Копелевич Л.Е., Самородов А.В., Иванюк В.А. // Изв. вузов. Электромеханика. 2006. № 5. С. 24-27.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ САМОТОРМОЗЯЩИХСЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СО СМЕЩАЮЩИМСЯ РОТОРОМ

С.А. Попов (к.т.н., доцент), В.С. Спичак (аспирант)
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

Электротехническая промышленность является основным поставщиком продукции для машиностроения, что требует от нее создания двигателей, в том числе и с тормозом, позволяющих обеспечить с наименьшими затратами быстрый и точный останов электропривода.

Конструктивно электропривод (ЭП) с тормозным устройством, в зависимости от назначения делится на: 1. ЭП, имеющий отдельно расположенный от двигателя тормоз постоянного или переменного тока; 2. ЭП, имеющий электродвигатель с пристроенным к его подшипниковому щиту электромагнитным тормозом постоянного или переменного тока; 3. ЭП, имеющий электродвигатель со встроенным тормозом.

Одной из перспективных конструкций является конструкция электропривода со встроенным тормозом, содержащая самотормозящийся асинхронный двигатель (САД). Из литературы известно большое количество конструктивных исполнений САД, однако наиболее компактной и имеющей минимальную себестоимость изготовления является группа САД со смещающимся ротором. Основным конструктивным признаком данной группы является наличие только одного аксиально смещающегося рабочего ротора. Рассмотрим конструктивные схемы САД со смещающимся ротором и проведем их сравнительный анализ.

1. САД с коническим смещающимся ротором

В этих электродвигателях расточки статора и ротора выполнены в виде конуса [1].

Достоинства: высокий тормозной момент, простота и компактность конструкции, быстрое действие, надежность работы тормозной системы. Недостатками САД с конусным ротором являются сложная технология изготовления, невозможность создания единых серий электродвигателей на базе электродвигателей общепромышленного исполнения.

2. САД с осемагнитно-асимметричным ротором

Компактный САД получается при выполнении ротора цилиндрическим, имеющим осевую магнитную асимметрию, причем статор такого двигателя имеет стандартное исполнение [2, 3].

Положительными качествами САД со смещающимся осемагнитно-асимметричным ротором являются надежность работы, быстрое действие, возможность создания единых серий на базе электродвигателей общепромышленного исполнения, компактность и простота конструкции, безотходная технология

изготовления осемагнитно-асимметричного ротора. Недостаток – требуется дополнительное оборудование с конусной расточкой для создания монотонного изменения осевой магнитной асимметрии ротора.

3. САД со смещающимся ротором, состоящим из пакетов магнитного и немагнитного материала

В этой конструкции САД используется эффект, заключающийся в стремлении ротора электродвигателя расположиться в «магнитной середине» по отношению к статору [1]. С этой целью в выключенном состоянии САД магнитные и немагнитные пакеты статора распределены со смещением относительно аналогичных пакетов ротора.

Положительными качествами являются простота конструкции и технологии изготовления. Недостатками этого двигателя являются повышенный расход активных и конструктивных материалов, низкие энергетические показатели, увеличенные габариты двигателя.

4. САД со смещающимся ротором, имеющим проточки

В этой конструкции для получения осевого растормаживающего усилия в цилиндрических или конических пакетах статоров и роторов делаются круговые проточки-канавки [1].

Достоинства данного типа САД – надежность и простота конструкции. Недостатками САД со смещающимся ротором, имеющим проточки, являются усложненная технология изготовления и увеличенный расход активных и конструктивных материалов.

5. САД со смещающимся ротором и дополнительным якорем

В этом типе САД основным элементом, создающим осевое усилие, является якорь, втягиваемый внутрь статора, а дополнительным – рабочий ротор, который стремится расположиться в магнитной середине [1].

Достоинство САД со смещающимся ротором и дополнительным якорем – достаточно высокое значение тормозного мо-

мента, простота и надежность конструкции. Недостатки данной конструкции – увеличенная длина пакетов магнитопровода, нерациональное использование магнитопровода статора, увеличенные габариты двигателя.

6. Самотормозящийся асинхронный аксиальный двигатель (СААД)

В двигателях данной конструкции используется эффект взаимного притяжения рабочих поверхностей статора и ротора. В заторможенном состоянии ротор аксиального двигателя прижат тормозной пружиной к тормозу и выдвинут от статора на максимальную величину[4].

Положительные качества – технология изготовления статора и ротора СААД позволяет существенно экономить электротехническую сталь, а аксиальное усилие максимально по сравнению с остальными конструкциями.

7. САД со сдвоенным ротором

САД со сдвоенным массивным ротором, содержащим статор с цилиндрической расточкой с обмоткой возбуждения, цилиндрический ферромагнитный массивный ротор, установленный на валу с возможностью аксиального перемещения, при этом цилиндрический ферромагнитный массивный ротор выполнен сдвоенным таким образом, что в воздушном зазоре, образованном между его частями, симметрично расположенными в осевом направлении относительно магнитопровода статора, установлена тормозная пружина, надетая на вал, и обе части изготовлены методом порошковой металлургии [5].

К достоинствам этой конструкции следует отнести простоту изготовления, повышенную эксплуатационную надежность, высокую эффективность торможения, быстродействие, взаимозаменяемость элементов, низкую себестоимость.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что выбор электродвигателя для электропривода с быстрым автоматическим остановом является многоплановой задачей, которая должна учитывать как технические, так и экономические параметры, и из приведенных конструктивных схем САД

со смещающимся ротором имеют хорошие перспективы к производству и внедрению последние две группы из-за наличия ряда преимуществ.

Литература

1. Гусельников Э.М., Цукерман Б.С. Самотормозящиеся электродвигатели. – М.: Энергия, 1971. – 96 с.

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

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

4. Положительное решение о выдаче патента на изобретение от 20.05.2015г. по заявке № 2014113838 Сдвоенная аксиальная асинхронная электрическая машина со встроенным тормозным устройством / Попов С.А., Нечесов В.Е., Пономарев П.Ю., Спичак В.С., Попов М.С., Ладенко А.А.

5. Положительное решение о выдаче патента на изобретение от 13.01.2015г. по заявке № 2014107239 Самотормозящийся асинхронный электродвигатель со сдвоенным массивным ротором / Попов С.А., Ладенко Н.В., Романенко К.Ю., Спичак В.С., Шишканова Л.М.

РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ КАСКАДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИИ ПАЗА

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

В.Л. Афанасьев (студент)

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

В настоящий момент большое распространение получили однодвигательные приводы. Но такие типы приводов имеют высокое энергопотребление и обладают большими массогабаритными показателями. Нашим научным коллективом было предложено вместо однодвигательных приводов использовать каскадные асинхронные приводы [1-3], так как они обладают лучшими массогабаритными показателями, меньшим энергопотреблением при выполнении одинакового технологического процесса. Обладают более гибкими характеристиками управления, даже для разомкнутой системы управления и лучшую жесткость реализованных характеристик управления и другие положительные качества. Основным компонентом всех типов приводов является электрический двигатель. Основной сложностью в расчете электрической машины является расчет электромагнитной системы [4-13].

Рассмотрена проблема расчета и построения потокораспределения от статорной обмотки асинхронного двигателя. Для расчета будут использована типовая обмотка с параметрами $Z=24$ $2p=4$ $q=2$ $y=6$ $a=2$, типовая электротехническая сталь.

Для расчета магнитной системы статора асинхронного двигателя принимаем следующие размеры асинхронного двигателя (рис. 1). Ниже приведена полная формула магнитного потока, приходящегося на один полюс.

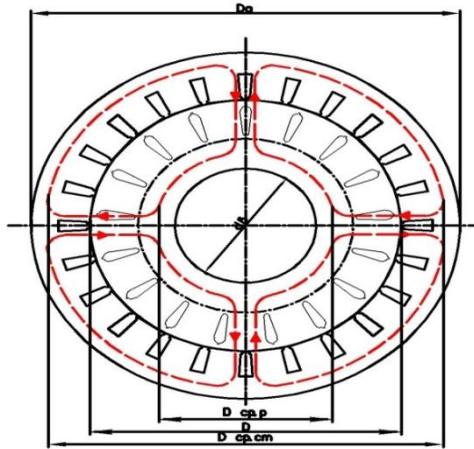


Рисунок 1 – Эскиз магнитной системы

$$0.25 \cdot \Phi_{кг} = \frac{I \cdot w \cdot 2 \cdot (R_{\mu\delta} + R_{\mu3.P.1} + R_{\mu3.P.2} + R_{\mu3.P.3})}{2 \cdot (R_{\mu Я.С.} + R_{\mu3.C.1} + R_{\mu3.C.2}) + R_{\mu Я.Р.}} + \frac{2 \cdot (R_{\mu Я.С.} + R_{\mu3.C.1} + R_{\mu3.C.2}) + R_{\mu Я.Р.}}{2 \cdot (R_{\mu\delta} + R_{\mu3.P.1} + R_{\mu3.P.2} + R_{\mu3.P.3})}$$

Литература

1. Карандей В.Ю. Управляемый каскадный электрический привод / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Пат. РФ № 2402857 зарегистрировано 27.10.2010 г.
2. Карандей В.Ю. Управляемый каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Пат. РФ № 2461947 зарегистрировано 20.09.2012 г.
3. Карандей В.Ю. Аксиальный каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, О.Б. Попова // Пат. РФ № 2483415 зарегистрировано 11.03.2013 г.
4. Карандей В.Ю. Концепция расчета магнитной системы асинхронного двигателя специального электропривода /

В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, // Известия высших учебных заведений, Пищевая технология. Научно-технический журнал. – 2008. – № 1. – С. 101-103.

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

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

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

8. Карандей В.Ю. Программа расчета параметров и анимационного построения потокораспределения компонента асинхронного каскадного электропривода / Карандей В.Ю., Базык А.В., Афанасьев В.Л. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2015615828 от 25 мая 2015 г .

9. Карандей В.Ю. Программа расчета параметров и самоанимационного построения потокораспределения компонента асинхронного каскадного электропривода / Карандей В.Ю., Карандей Ю.Ю., Базык А.В. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2015615826 от 25 мая 2015 г .

10. Карандей В.Ю. Программа задания конструктивных параметров компонента асинхронного каскадного электропривода, статорной обмотки и визуального построения полученного потокораспределения / Карандей В.Ю. Свидетельство об офици-

альной регистрации программы для ЭВМ №2015615827 от 25 мая 2015 г.

11. Попова О.Б. Учёт неоднородности среды при расчёте магнитного поля. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №01(095). – IDA [article ID]: 0951401052. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/01/pdf/52.pdf>.

12. Попова О.Б. Решение полевых задач электротехники с помощью вторичных источников поля и рядов Фурье. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №09(093). – IDA [article ID]: 0931309040. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/09/pdf/40.pdf>.

13. Попова О.Б. Анализ связей в реальной и технической системах процесса оптимизации. Международный журнал экспериментального образования. – 2013, - №10, с. 405 – 408; URL: www.rae.ru/meo/?section=content&op=show_article&article_id=4259 (дата обращения: 22.10.2013)

РАЗРАБОТКА САМОТОРМОЗЯЩЕГОСЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ СО СДВОЕННЫМ МАССИВНЫМ РОТОРОМ

С.А. Попов (к.т.н., доцент), В.С. Спичак (аспирант)
*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический
университет» (г. Краснодар, Россия)*

Самотормозящиеся асинхронные двигатели (САД) нашли широкое применение для электроприводов с быстрым автоматическим остановом, а именно: в подъёмно-транспортных механизмах, автоматических линиях, раздвижных автоматических воротах.

Основные требования, предъявляемые к САД: низкая себестоимость; быстрота срабатывания; простота конструкции; ремонтпригодность.

Одной из перспективных конструкций, отвечающих этим требованиям, является электропривод со встроенным тормозом, выполненный на основе самотормозящегося асинхронного двигателя с осемагнитно-асимметричным ротором (САД с ОАР) [1, 2, 3].

В заторможенном состоянии ротор 1 осемагнитно-асимметричного асинхронного двигателя вместе с подвижной тормозной колодкой 2 прижат тормозной пружиной 3 к неподвижной тормозной колодке 4 и выдвинут из расточки статора на максимальную величину (рис. 1).

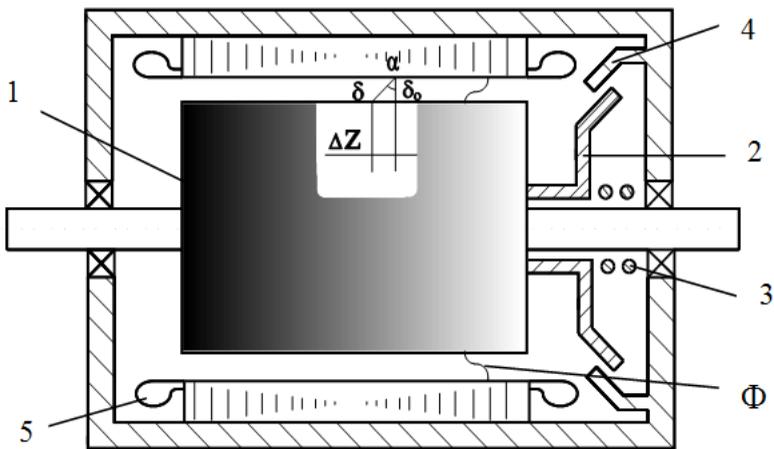


Рисунок 1 – САД с ОАР (общий вид в разрезе)

После подачи напряжения на обмотку статора 5 в роторе 1 наводятся вихревые токи, которые взаимодействуют с полем статора. В результате этого на ротор будут действовать электромагнитные силы, стремящиеся его развернуть и втянуть в расточку статора: пуск двигателя, растормаживание, переме-

ние в осевом направлении происходят одновременно. При этом перемещение ротора в осевом направлении происходит за счет осевого смещения магнитного потока Φ , вызванного осевой магнитной асимметрией ротора.

Недостатком данной конструкции является достаточно сложная технология изготовления при формировании магнитной асимметрии пакета ротора путем набора его из пластин, выполненных из различных марок электротехнической стали, либо последовательным прессованием слоев ферромагнитного порошка, имеющего различные, но монотонно изменяющиеся свойства от одного торца ротора к другому.

Еще один недостаток – наличие только одной тормозной колодки, что не позволяет эффективно использовать площадь тормозной поверхности и, как следствие, ведет к уменьшению срока службы тормозной накладки и времени безотказной работы тормозного устройства между заменами тормозных накладок. Все это в итоге ведет к увеличению времени технологического простоя при замене тормозных колодок и уменьшению эксплуатационной надежности электродвигателя.

Авторами разработана конструкция САД со сдвоенным массивным ротором [4] (рис. 2), которая лишена данных недостатков.

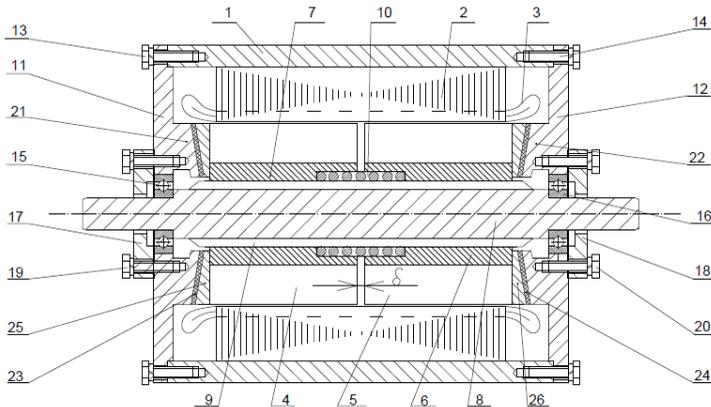


Рисунок 2 – САД со сдвоенным массивным ротором
(общий вид в разрезе)

На рис. 2 показан общий вид САД со двоянным массивным ротором, содержащий корпус 1, в котором размещен шихтованный магнитопровод статора 2, имеющий цилиндрическую расточку с m -фазной обмоткой возбуждения статора 3.

При подаче напряжения на m -фазную обмотку возбуждения статора 3 возникает основной магнитный поток и потоки рассеивания, которые пересекают рабочий воздушный зазор, цилиндрический ферромагнитный пакет массивного ротора, состоящего из двоянных магнитопроводов 4, 5, а также воздушный зазор δ . Под действием аксиального электромагнитного усилия, вызванного основным магнитным потоком и потоками рассеивания лобовых частей (из-за стремления ротора электродвигателя расположиться в «магнитной середине» по отношению к статору 2, то есть в том положении, в котором магнитное сопротивление воздушного зазора имеет наименьшее значение, что соответствует наиболее выгодному энергетическому положению), конические закаленные пластины 25, 26 вместе с магнитопроводами 4, 5 и основаниями 6, 7 встречно перемещаются, скользя по шлицевому соединению 9 вдоль вала 8, сжимая при этом пружину 10 и растормаживая двигатель. Вал 8 базируется в подшипниковых щитах 11 и 12, закрепленных в корпусе 1 посредством болтов 13, 14 при помощи радиальных подшипников 15, 16, внутренние кольца которых упираются в его выступы, а внешние кольца фиксируются в подшипниковых щитах 11, 12 при помощи крышек 17, 18 посредством болтов 19, 20. С внутренней стороны подшипниковых щитов 11, 12 в форме выступов выполнены конические тормозные колодки 21, 22, на которых жестко закреплены тормозные накладки 23, 24.

При отключении m -фазной обмотки возбуждения статора 3 от сети магнитный поток, удерживающий конические закаленные пластины 25, 26 вместе с магнитопроводами 4, 5 и основаниями 6, 7 в рабочем положении, исчезает. Вследствие этого пружина 10 вызывает взаимное осевое смещение конических закаленных пластин 25, 26 вместе с магнитопроводами 4, 5 и основаниями 6, 7. При этом каждая коническая закаленная пла-

стина 25, 26 входит в контакт со своей тормозной накладкой 23, 24, а между внутренними торцевыми поверхностями магнитопроводов 4, 5 и основаниями 6, 7 образуется воздушный зазор δ . В результате трения конусных поверхностей сопряжения конических закаленных пластин 25, 26 ротора и тормозных накладок 23, 24 происходит остановка ротора.

В данной конструкции аксиальное электромагнитное усилие возникает при постоянных магнитных свойствах магнитопроводов ротора вдоль длины и действует из-за стремления сдвоенных магнитопроводов ротора электродвигателя расположиться в «магнитной середине» по отношению к статору, а также из-за взаимного встречного притяжения внутренних торцевых поверхностей сдвоенных магнитопроводов при взаимодействии тангенциальных составляющих вихревых токов, протекающих вдоль внутренних торцевых поверхностей сдвоенных магнитопроводов, и нормальной составляющей вектора магнитной индукции.

Изготовление двух одинаковых частей магнитопроводов ротора с постоянными магнитными свойствами вдоль оси вала технологически проще, чем создание осевой магнитной асимметрии ротора путем набора его пакета из пластин, выполненных из различных марок электротехнической стали, или последовательным прессованием слоев ферромагнитного порошка, имеющего различные, но монотонно изменяющиеся свойства от одного торца ротора к другому. Сдвоенная конструкция массивного ротора позволяет использовать две внешние торцевые поверхности роторов с двумя колодками, что увеличивает площадь рабочей поверхности тормозного устройства и позволяет уменьшить не только их износ, но и время торможения электродвигателя, которое уменьшается за счет увеличения тормозного момента, создаваемого между увеличенными поверхностями тормозных накладок и закаленных пластин. Уменьшение времени торможения ведет к увеличению эффективности торможения электродвигателя и всего электропривода в целом.

Увеличение срока эксплуатации тормозных колодок ведет к увеличению времени безотказной работы тормозного устройства между заменами тормозных накладок. Уменьшение

времени технологического простоя, требуемого при замене изношенных тормозных колодок (разборка, установка, сборка), по отношению ко времени безотказной работы способствует повышению эксплуатационной надежности работы электропривода в целом.

Литература

1. А.с. 729757 (СССР). Самотормозящийся асинхронный электродвигатель/ Б.Х. Гайтов. Опубл. в Б.И., 1980, №15.
2. Попов С.А. Построение электроприводов на базе самотормозящихся асинхронных двигателей различных конструкций: Дисс. канд. техн. наук.- Краснодар, 1998 г. – 198 с.
3. Формирование осевого электромагнитного усилия в самотормозящемся асинхронном двигателе с осемагнитно-асимметричным ротором с учетом осевой магнитной асимметрии ротора Попов С.А., Романенко К.Ю., Спичак В.С./ Технические и технологические системы. Материалы шестой межд. науч. конф. ТТС-14. Сб. материалов. – Краснодар: ФВУНЦ ВВС ВВА, 2014 г. – 471 с.
4. Положительное решение о выдаче патента на изобретение от 13.01.2015г. по заявке № 2014107239 Самотормозящийся асинхронный электродвигатель со сдвоенным массивным ротором/С.А. Попов, Н.В. Ладенко, К.Ю. Романенко, В.С. Спичак, Л.М. Шишканова.

РАЗРАБОТКА МАГНИТОТЕРАПЕВТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ АКСИАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ С УЛУЧШЕННЫМ ЛЕЧЕБНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

С.А. Попов (к.т.н., доцент), Н.В. Ладенко (к.т.н.),
П.Ю. Пономарев (студент)
*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический
университет» (г. Краснодар, Россия)*

При общей магнитотерапии происходит воздействие равномерным низкочастотным магнитным полем на весь организм человека и имеет широкий спектр лечебного применения,

включая самые различные заболевания: воспалительные, дистрофические, опухолевые, дисгормональные, сосудистые и многие другие [1]. Для технической реализации данного метода применяется соответствующая магнитотерапевтическая аппаратура, например, магнитотерапевтические установки (МТУ).

Одной из наиболее перспективной конструкцией магнитотерапевтической установки является [2], так как она обеспечивает создание бегущего, полностью проходящего через тела одновременно нескольких пациентов магнитного поля требуемой интенсивности при удовлетворительной пропускной способности, улучшенных энергетических характеристиках и отсутствии искажений магнитного поля. Однако магнитопровод индуктора выполнен в виде статора аксиального асинхронного двигателя, создаваемый им основной магнитный поток пронизывает изменяющуюся геометрию зубцов и ярма вдоль его активной длины, что ведет к неравномерному распределению магнитного сопротивления и, соответственно, к неравномерному распределению магнитной индукции вдоль длины тел пациентов. Все это в итоге ведет к неравномерному лечебному воздействию магнитного поля на их органы и системы [3].

Авторами предложена конструкция магнитотерапевтической установки аксиальной конструкции [4], которая сочетает в себе преимущества ранее предложенной конструкции [2], а также решает проблему неравномерного распределения магнитного поля вдоль активной длины индуктора.

Магнитотерапевтическая установка состоит из магнитопровода индуктора 1, выполненного из рулонной электротехнической стали с радиально расположенными пазами 2, куда укладывается трехфазная обмотка 3, как в аксиальном трехфазном двигателе переменного тока, которая покрыта компаундом 4. Для удобства размещения пациентов предусмотрена подстилка 5 (рис. 1). Пациенты располагаются на подстилке 5 непосредственно над магнитопроводом индуктора 1 в радиальном направлении, причем ногами к центру, а головой к периферии. Для увеличения воздействия магнитного поля на все системы и органы пациентов, а также обеспечения сквозного прохождения магнитного потока через их тела, сверху над пациентами, распо-

ложенными непосредственно над магнитопроводом индуктора 1, с минимальным зазором устанавливается щит из ферромагнитного материала (ядро) 6, разделенный на секции 7 вдоль его радиуса с наполнением каждой секции ферромагнитным порошком с разными магнитными свойствами, магнитная проницаемость которого в каждой последующей секции изменяется от наружного радиуса к внутреннему. Для удобства размещения пациентов ядро выполняется подъемным с возможностью регулирования расстояния между ним и магнитопроводом индуктора 1 с помощью устройства 8.

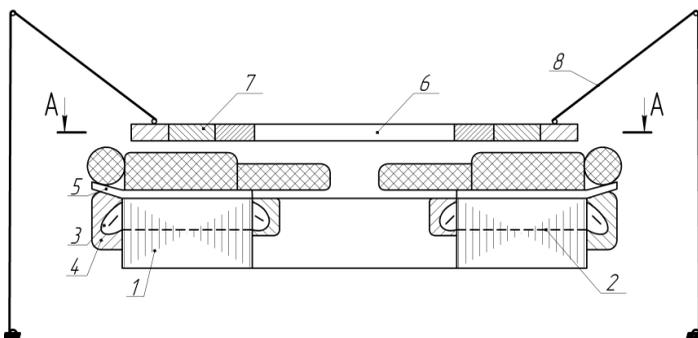


Рисунок 1 — Разрез аксиальной конструкции магнитотерапевтической установки

Магнитотерапевтическая установка работает следующим образом. На зажимы трехфазной обмотки 3 магнитопровода индуктора 1 подается переменное трехфазное напряжение, величина и частота которого зависят от требуемой скорости движения и интенсивности магнитного поля. Возникающее вращающееся (бегущее) магнитное поле проходит через тела пациентов и, замыкаясь с помощью ядра 6, оказывает лечебное воздействие на все органы и системы пациентов. Количество секций и их размеры определяются расчетом магнитной системы исходя из равномерности распределения магнитной индукции в воздушном зазоре вдоль радиуса магнитопровода.

Данная конструкция магнитотерапевтической установки, при достаточной простоте и малой себестоимости изготовления,

обеспечивает выравнивание распределения индукции магнитного поля вдоль тел пациентов, что ведет к равномерному лечебному воздействию на все органы и системы пациента вдоль его тела и имеет хорошие перспективы внедрения в физиотерапевтических кабинетах и в лечебно-профилактических учреждениях.

Литература

1. Разработка конструкции и математическое моделирование индуктора магнитотурботрона. Дисс. канд. техн. наук / Сеницкий С.Д., Краснодар, 1996 г.
2. Пат. РФ № 2066214 С1. Магнитотерапевтическая установка / Гайтов Б.Х., Сеницкий С.Д., Гайтова Т.Б., Самородов А.В., Эльмутаз Б.Т.
3. Улучшение лечебного воздействия магнитотерапевтической установки аксиальной конструкции. Попов С.А., Пономарев П.Ю./ Технические и технологические системы. Материалы шестой междунаучной конф. ТТС-14. Сб материалов. – Краснодар: ФВУНЦ ВВС ВВА, 2014 г. – 471 с.
4. Пат. РФ № 2544460 С1. Оpubл.20.03.2015 г. Бюл. № 8. Магнитотерапевтическая установка / С.А. Попов, Т.Б. Гайтова, Н.В. Ладенко, Л.В. Луговенко., А.Н. Ротт, П.Ю. Пономарев, Л.М. Шишканова.

ДЕЗИНТЕГРАТОР ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ТВЕРДЫХ СЫПУЧИХ ВЕЩЕСТВ

С.А. Попов (к.т.н., доцент), В.Е. Нечесов (студент),
И.И. Ивашкин (студент), В.В. Воронцов (студент)
*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический
университет» (г. Краснодар, Россия)*

Измельчение твердых сыпучих материалов необходимо при производстве строительных материалов, в сельском хозяйстве, горно-обогатительной, лакокрасочной, химической, пищевой промышленности, а также в быту. В силу конструктивных преимуществ и качества измельчения дисковые дезинтеграторы нашли широкое применение [1]. На кафедре электротехники и

электрических машин КубГТУ была разработана конструкция дезинтегратора [2] с улучшенными технико-экономическими показателями.

На рис. 1 показан общий вид дезинтегратора. Устройство содержит сборный корпус, который состоит из жестко связанных между собой несущих щитов 1 и 2, образующих кольцевую полость 3 для приводного двигателя, посредством болтового соединения 4. Несущий щит 1 закреплен в основании корпуса 5 посредством резьбового соединения 6 через резиновую прокладку 7 и образует камеру 8 для приема готового измельченного продукта. Основание корпуса 5 имеет резиновые опоры 9. Рабочий орган состоит из неподвижного диска с развитой поверхностью 10, которая изготовлена в нижней части несущего щита 1 и подвижного диска 11, развитая поверхность которых выполнена по аналогии с рабочими дисками известных дезинтеграторов. Между развитой поверхностью 10 и подвижным диском 11 имеется зазор 12, в котором непосредственно и происходит измельчение продукта. Подвижный диск 11 жестко соединен с полым валом 13 посредством резьбового соединения 14. Для предотвращения самораскручивания между подвижным диском 11 и полым валом 13 стоит пружинная шайба 15.

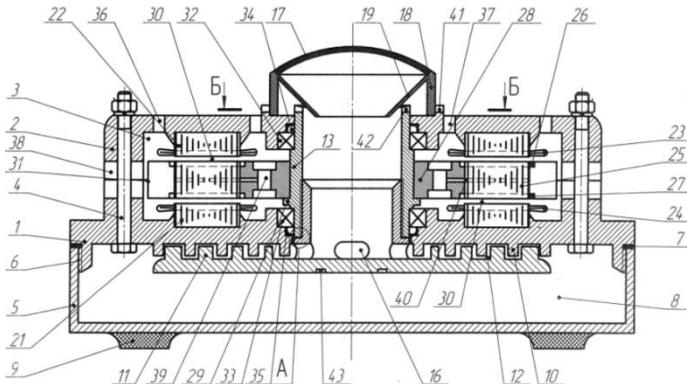


Рисунок 1 – Общий вид дезинтегратора и его продольный разрез

В нижней части полого вала 13 расположены технологические отверстия 16 для подачи измельчаемого продукта в зазор 12 между развитой поверхностью 10 и подвижным диском 11. Для загрузки измельчаемого продукта сверху предусмотрен люк 17 в загрузочном бункере 18 с направляющими 19, закрепленный в корпусе несущего щита 2 при помощи выступа в форме кольцевого диска 20.

Приводом измельчителя служит двоясynchronousный двухстаторный однороторный торцовый электродвигатель, который состоит из статора с магнитопроводами 21, 22, жестко закрепленных в несущих щитах 1 и 2 с m-фазными обмотками возбуждения 23, 24. Ротор электрической машины состоит из магниторопровода 25 с короткозамкнутыми обмотками 26, 27 и со ступицей 28, жестко закрепленных на полом вала 13, которые сопряжены между собой с гарантированным натягом при помощи шпоночного соединения. Магниторопровод ротора 25 со ступицей 28 жестко закреплены между собой и образуют кольцевой диск ротора. На полом вала 13 выполнен бурт 29 в форме кольцевого диска таким образом, что при монтаже диска ротора между магнитопроводами статора 21, 22 и магниторопроводом ротора 25 имеются равные воздушные зазоры 30. На внешней стороне магниторопровода ротора 25 выполнены вентиляционные лопасти 31. Полюс вал 13 базируется при помощи радиально упорных подшипников 32, 33, внутренние кольца которых упираются в его выступы, а внешние кольца фиксируются в несущих щитах 1 и 2. Для защиты от попадания пылеобразных частиц измельчаемого материала в подшипники 32, 33, предусмотрены резиновые армированные манжеты 34, 35.

В устройстве реализована самовентиляционная система охлаждения тепловыделяющих элементов приводного двигателя, включающая сеть вентиляционных отверстий 36, 37, выполненных на несущем щите 2, вентиляционных отверстий 38, выполненных на внешней цилиндрической поверхности несущих щитов 1, 2 корпуса машины, а во внутренней части ступицы 28 отверстий 39, соединенных с сетью радиальных вентиляцион-

ных каналов 40, выходящих на внешнюю поверхность дисков роторов к вентиляционным лопаткам 31.

Степень измельчения продукта изменяется путем изменения зазора 12 между развитой поверхностью 10 и подвижным диском 11 за счет замены пружинной шайбы 15 необходимой толщины между подвижным диском 11 и полым валом 13.

Работает дезинтегратор следующим образом. В результате подключения обмоток магнитопроводов статора 23, 24 к сети создается двустороннее вращающееся магнитное поле, воздействующее на проводники короткозамкнутой обмотки ротора 26, 27, вследствие чего ротор с подвижным диском 11 приводится во вращение.

Измельчаемый продукт засыпается в загрузочный бункер 18 и по направляющим 19 ссыпается в полый вал 13, где под действием сил тяжести попадает в нижнюю часть к технологическим отверстиям 16. Под воздействием центробежной силы измельчаемый продукт попадает через технологические отверстия 16 в зазор 12 между развитой поверхностью 10 и подвижными дисками 11, и происходит помол. Готовый продукт под действием центробежной силы ссыпается в камеру 8 для приема готового измельченного продукта основания корпуса 5, откуда после прекращения помола извлекается при снятом несущем щите 1.

Механическая мощность на валу сдвоенного асинхронного двухстаторного однороторного торцового электродвигателя суммируются на валу от каждого одинарного диска статора, что позволяет при полной компенсации осевых электромагнитных усилий свести к минимуму механическую нагрузку на элементы двигателя (и, соответственно, механические потери) и увеличивать мощность приводного двигателя. Возможность увеличения мощности приводного двигателя дает возможность увеличить радиальные размеры рабочих дисков и, соответственно, более качественно измельчать продукт. Все это, при наличии короткозамкнутой обмотки ротора и минимальных значений

рабочих воздушных зазоров, ведет к повышению КПД приводного электродвигателя.

Возможность расширения ассортимента измельчения и его степени измельчения регулируется путем изменения зазора между не подвижным и подвижным диском за счет замены пружинной шайбы необходимой толщины между подвижным диском и полым валом.

Увеличение времени непрерывной работы дезинтегратора происходит за счет уменьшения тепловыделений ротора (за счет применения шихтованной стали при изготовлении магнитопровода ротора) и повышения эффективности системы охлаждения машины. Увеличение времени непрерывной работы дезинтегратора ведет соответственно к интенсификации процесса измельчения.

Литература

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

2. Пат. РФ №2541688 Дезинтегратор / Попов С.А., Гайтова Т.Б., Энговатов А.В., Нечесов В.Е. Оpubл. 20.02.2015 г. Бюл. № 5.

РАЗРАБОТКА САМОТОРМОЗЯЩЕЙСЯ СДВОЕННОЙ АКСИАЛЬНОЙ АСИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

С.А. Попов (к.т.н., доцент), В.Е. Нечесов (студент),
В.С. Спичак (аспирант), М.А. Елфимов (студент)
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

Сдвоенная аксиальная асинхронная электрическая машина может найти широкое применение в тех отраслях машиностроения, где требуется создание компактных электроприводных систем с оптимальными эксплуатационно-техническими характеристиками, обеспечивающими быстрое затормаживание

приводного вала после отключения электропитания машины: на транспорте, в грузоподъемных механизмах, эскалаторах, в текстильной, бумажной и других отраслях промышленности [1,2]. На рис. 1 показан общий вид сдвоенной аксиальной асинхронной электрической машины со встроенным тормозным устройством.

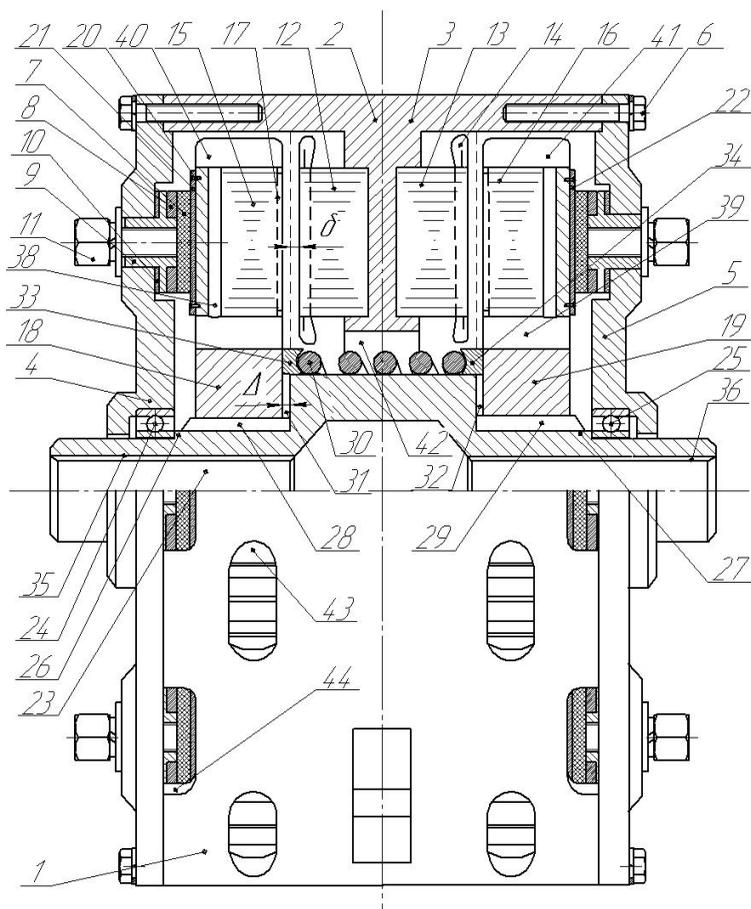


Рисунок 1 –Общий вид сдвоенной аксиальной асинхронной электрической машины со встроенным тормозным устройством

Сборный корпус электрической машины состоит из корпуса статора 1, имеющего центральный опорный диск 2, выполненный единым с наружным цилиндрическим ободом 3 и двух симметрично расположенных боковых щитов 4 и 5, жестко присоединенных к ободу 3 корпуса статора 1 винтами 6 и несущих тормозные кольцевые накладки 7. Накладки 7, оснащенные подложками 8, жестко связаны с резьбовыми втулками 9, имеющими кольцевые выступы с регулировочными прокладками 10. Весь этот узел крепится в боковых щитах 4 и 5 корпуса машины 1 изнутри его центральной кольцевой полости при помощи винтов 11, вкрученных в резьбовые втулки 9 с внешней стороны боковых щитов 4 и 5.

Центральный опорный диск 2 корпуса статора 1 разделяет центральную кольцевую полость машины на две симметрично расположенные области, в которых размещены магнитопроводы статора 12, 13 с m -фазными обмотками возбуждения 14 и пакеты роторов, выполненных в форме кольцевых дисков, состоящих из магнитопроводов ротора 15, 16 с короткозамкнутыми обмотками 17, жестко закрепленных на ступицах роторов 18, 19. К наружным аксиальным плоскостям пакеты роторов посредством винтов 20 жестко присоединены кольцевые закаленные пластины 21, 22, которые в обесточенном состоянии m -фазных обмоток возбуждения 14 магнитопроводов статора 12, 13 плотно прилегают к тормозным кольцевым накладкам 7 боковых щитов 4, 5.

Вал ротора 23 выполнен цельным и ступенчатым, имеющим два выступа с увеличивающимися диаметрами от краев к центру, базируется на радиальных подшипниках 24, 25, с наружными кольцами которых связаны боковые щиты 4 и 5, а внутренние кольца фиксированы заплечниками 26, 27 вала ротора 23, и соединенный с магнитопроводами ротора 15, 16 через ступицы 18, 19 посредством шлицевых соединений 28, 29 с возможностью их осевых перемещений под воздействием тормозной пружины 30. Перемещения пакетов роторов ограничиваются в выключенном состоянии тормозными кольцевыми накладками 7, а во включенном состоянии, при сжатой тормозной

пружине 30, заплечниками 31, 32 вала ротора 23, выполненными таким образом, что расстояние между ними обеспечивает рабочие воздушные зазоры δ между магнитопроводом статора 12 и магнитопроводом ротора 15, магнитопроводом статора 13 и магнитопроводом ротора 16, при этом расстояние между заплечниками 31, 32 вала ротора 23 больше расстояния между внешними аксиальными поверхностями магнитопроводов статоров 12, 13 на величину 2δ . Тормозная пружина 30 размещена на валу ротора 23 и упирается своими торцами через упорные кольца 33, 34 в ступицы роторов 18 и 19. Упорные кольца 33, 34 служат для равномерного распределения усилия тормозной пружины 30 по внутренней аксиальной поверхности ступиц роторов 18, 19. Вал ротора 23 имеет выходные шлицевые отверстия 35, 36 для присоединения приводного механизма.

В машине реализована самовентиляционная система охлаждения, включающая сеть вентиляционных отверстий 37, выполненных в боковых щитах 4, 5 корпуса статора 1, сеть радиальных вентиляционных каналов 38 – под опорными поверхностями его магнитопроводов, осевые вентиляционные каналы 39 – в дисках роторов, вентиляционные лопасти 40, 41 – на наружных поверхностях дисков роторов и внутреннюю вентиляционную полость 42 центрального опорного диска 2 корпуса статора 1. Для подвода охлаждающего воздуха в центральную полость машины служат вентиляционные отверстия 37, а для выброса нагретых воздушных масс из полости машины предназначены вентиляционные отверстия 43, 44 обода 3 корпуса статора 1. Отверстия 44 используются также для контроля над состоянием тормозных кольцевых накладок 7.

Электрическая машина работает следующим образом. При подключении электрической машины к сети m -фазных обмоток возбуждения 14 магнитопроводов статора 12, 13 возникает пусковой ток, превышающий номинальный ток рабочего режима машины, вследствие чего возникает магнитное поле, под воздействием осевых электромагнитных сил которого оба пакета ротора вместе совершают встречное осевое смещение по

шлицевым соединениям 28, 29 вдоль вала 23. При этом тормозная пружина 30 получает дополнительное сжатие и зазоры Δ между внутренними аксиальными поверхностями ступиц роторов 18, 19 и заплечниками 31, 32 вала ротора 23 уменьшаются. Между тормозными кольцевыми накладками 7 и пластинами 21, 22 дисков ротора образуются зазоры, равные величине Δ , а между аксиальными рабочими поверхностями магнитопроводов статора 12, 13 и ротора 15, 16 устанавливаются рабочие зазоры δ , сохраняющиеся в процессе вращения ротора, которое он получает в результате действия вращающегося магнитного поля. Осевые силы притяжения магнитопроводов статора 12, 13 и ротора 15, 16 превышают силу сжатия тормозной пружины 30, поэтому между внутренними аксиальными поверхностями ступиц роторов 18, 19, упорными кольцами 33, 34 и тормозной пружины 30 возникают усилия взаимодействия, равные разности сил притяжения магнитопроводов статора 12, 13 и ротора 15, 16 и сил сжатия тормозной пружины 30, которые воспринимаются заплечниками 31, 32 вала ротора 23. Так как силы притяжения двух пакетов роторов равны по модулю, но направлены встречно, то они взаимно компенсируются заплечниками 31, 32 вала ротора 23 и полностью разгружают радиальные подшипники 24, 25 вала ротора 23, что положительно отражается на ресурсе и долговечности электрической машины.

При отключении электропитания от m -фазных обмоток возбуждения 14 исчезает магнитный поток, удерживающий пакеты роторов в рабочем положении. Вследствие этого тормозная пружина 30 вызывает обратное взаимное осевое смещение их по шлицевым соединениям 28, 29 вдоль вала 23. При этом каждый пакет ротора входит в контакт со своей тормозной накладкой, а между внутренними аксиальными поверхностями ступиц роторов 18, 19 и заплечниками 31, 32 вала ротора 23 образуются зазоры, равные величине Δ . В результате трения поверхностей закаленных пластин 21, 22 пакетов роторов и тормозными кольцевыми накладками 7 происходит остановка ротора.

Предлагаемая конструкция электрической машины достаточно проста и технологична. Вал ротора электрической машины выполнен цельным (не требует точного соединения двух составных частей) и неподвижным в осевом направлении относительно статора и приводного механизма, что ведет к упрощению совмещения электрической машины с приводным механизмом. Уменьшение количества взаимно перемещающихся составных деталей со сложной геометрией и применение роторов с простой геометрической формой в виде кольцевого диска приводят к сокращению сложности, числа изготавливаемых деталей и упрощению их сборки. Симметричная конструкция электрической машины позволяет полностью разгрузить подшипники от аксиальных усилий в любом режиме работы (аксиальные усилия в процессе торможения действуют через тормозные устройства на статор, а в режиме пуска и работы – на заплечники вала ротора и взаимно компенсируются), что дает возможность увеличить ресурс и долговечность электрической машины. В результате все это ведет к повышению эксплуатационной надежности электрической машины при одновременном снижении себестоимости ее изготовления.

Литература

1. Попов С.А. Построение электроприводов на базе самотормозящихся асинхронных двигателей различных конструкций: Дисс. канд. техн. наук.- Краснодар, 1998 г. – 198 с.
2. Положительное решение о выдаче патента на изобретение от 20.05.2015 г. по заявке № 2014113838. Сдвоенная аксиальная асинхронная электрическая машина со встроенным тормозным устройством /С.А. Попов, В.Е. Нечесов, П.Ю. Пономарев, В.С. Спичак, М.С. Попов, А.А. Ладенко.

ДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ АВТОНОМНОЙ КЛАССИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЕМКОСТНОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Р.Ю. Барахоев

*Управление по организации энергосбытовой деятельности
Гарантирующих поставщиков СКФО и Республики Калмыкия
ДЗО ОАО «Россети», (г. Пятигорск, Россия)*

Известно, что машина двойного питания (МДП) с преобразователем частоты (ПЧ) в цепи фазного ротора находит широкое применение, особенно при переменной частоте вращения ротора, например, в ВЭУ.

Также известна классическая машина двойного питания (КМДП), которая отличается от обычной МДП тем, что её обмотки статора и ротора имеют одинаковые ЭДС. Достоинством этой машины является то, что при протекании в обмотках статора и ротора токов одинаковой частоты (что возможно при непосредственном подключении этих обмоток к сети), скорость вращения ротора равна удвоенной скорости вращения кругового магнитного поля в зазоре машины. Это достоинство приводит к удвоению мощности и росту КПД машины по сравнению с режимом, при котором КМДП работает асинхронным двигателем с закороченным фазным ротором, вращающимся с положительным скольжением относительно кругового магнитного поля. Обмотки машины могут быть соединены параллельно или последовательно. Недостатком КМДП, наряду с наличием скользящих контактов, является отсутствие пускового момента, что делает неэффективным её использование в двигательном режиме. Однако этот недостаток не является принципиальным при работе КМДП в генераторном режиме, например, с конденсаторным самовозбуждением [1]. Следует отметить, что генератор устойчиво возбуждается, причем постоянная времени КМДП существенно меньше, чем у асинхронного или синхронного генераторов тех же габаритов и мощности.

В свою очередь, недостатком большинства генераторов переменного тока, например, асинхронного, синхронного с постоянными магнитами, а также КМДП, является проблема стабилизации напряжения при изменении величины и характера нагрузки [2, 3]. Проведенные исследования статических режимов КМДП с последовательной емкостной стабилизацией напряжения (ПЕСН) при подключении активной нагрузки дали положительные результаты, т.е. получены относительно жесткие внешние характеристики. Отклонение фазного напряжения составило $\Delta U = \pm 2,6\%$ [4]. Наряду со статическими характеристиками важное значение имеют и динамические характеристики КМДП, например, такие как наброс и сброс активной нагрузки. Исследованию этих режимов и посвящена данная работа.

В качестве объекта для экспериментальных исследований выбрана КМДП, созданная на базе асинхронного двигателя с фазным ротором серии МТ-11-6 (2,2 кВт) [4]. Обмотка статора машины перемотана под ЭДС обмотки фазного ротора. Обмотки статора и обмотки фазного ротора соединены параллельно. К обмоткам машины подключены конденсаторы возбуждения, которые соединены в треугольник. Емкость конденсаторов, включенных на линейное напряжение, равна $3 \times 185 \text{ мкФ}$. Эти конденсаторы обеспечивают устойчивое самовозбуждение и работу на холостом ходу. Конденсаторы ПЕСН подключены последовательно к обмоткам КМДП и активной нагрузке. Емкость этих конденсаторов определяет наклон внешней характеристики генератора. В данном случае она равна $3 \times 1200 \text{ мкФ}$. Приводной машиной является асинхронный двигатель серии МТ-11-6, который работает в режиме МДП. Обмотка статора машины подключается к сети 380 В, а обмотка фазного ротора подключена к напряжению 127 В. Для синхронизации приводного двигателя используется ламповый синхроскоп, включенный в цепь фазного ротора. Разгон машины до подсинхронной скорости (2000 об/мин) осуществляется двигателем постоянного тока, который после синхронизации отключается от сети.

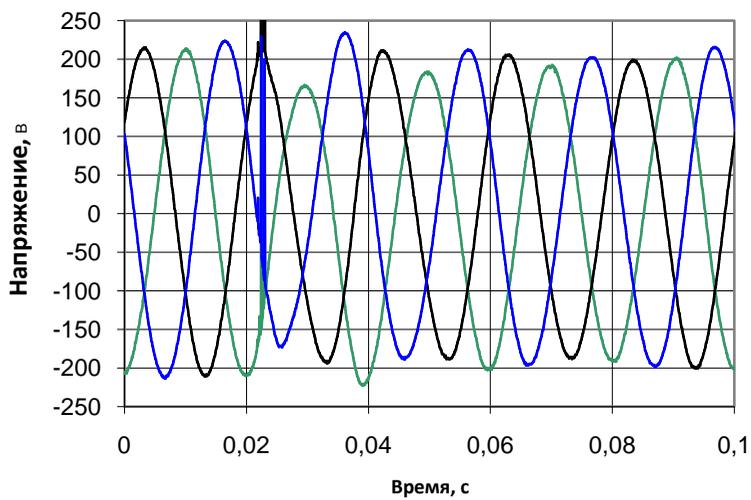


Рисунок 1, а

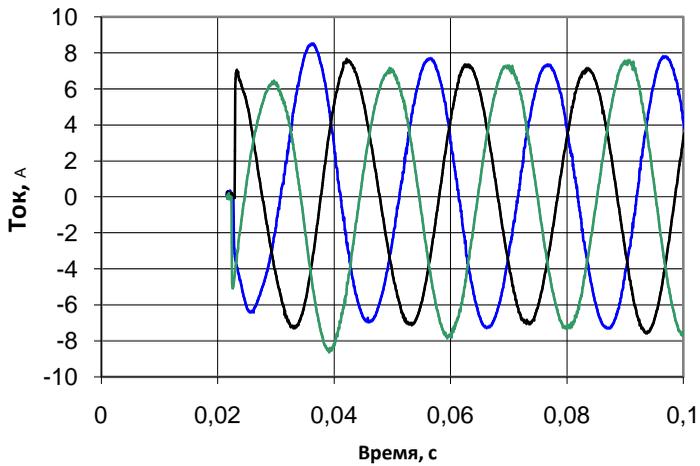


Рисунок 1, б

При снятии токов и напряжений нагрузки использовались датчики Холла. Сбор информации осуществлялся с помощью платы NI PCI-6024E.

На рис. 1 а представлены кривые линейных напряжений на симметричной трехфазной нагрузке, соединенной в треугольник. Наброс нагрузки, как и следовало ожидать, сопровождается снижением напряжения. Аperiodические составляющие напряжений уменьшаются достаточно интенсивно. Амплитудное значение напряжения на холостом ходу (выбрана вторая кривая от вертикальной оси) равно 214 В. При набросе нагрузки амплитуда напряжения уменьшается до 166,5 В, т.е. на 22,2% относительно амплитуды напряжения холостого хода. Через три периода амплитуда напряжения возросла до 201,5 В, т.е. под действием нагрузки напряжение в установившемся режиме снизилось на 5,8% относительно напряжения холостого хода. Следует отметить, что динамический режим наброса нагрузки в КМДП быстротечен и продолжается около 0,065 с.

На рис. 1, б представлены кривые фазных токов при набросе нагрузки. Поскольку нагрузка активная, то линейные напряжения совпадают по фазе с фазными токами. Эти токи при набросе нагрузки имеют аperiodические составляющие, как и напряжения.

Определенный интерес представляет и динамический режим сброса нагрузки. В этом случае, при отключении нагрузки на конденсаторах ПЕСН возникают остаточные напряжения, обусловленные соответствующими остаточными зарядами. Эти напряжения накладываются на переменную составляющую напряжения и смещают результирующую кривую напряжения в зависимости от полярности остаточных напряжений в ту или иную сторону относительно оси времени (рис. 2). Для устранения этого остаточного напряжения необходимо после отключения нагрузки разрядить конденсаторы ПЕСН. Этой проблемы не возникает, если сбрасывается только часть нагрузки, а остальная – остается подключенной к КМДП.

В ходе экспериментальных исследований выявлена склонность КМДП к колебаниям амплитуды напряжений, особенно под нагрузкой (рис. 3).

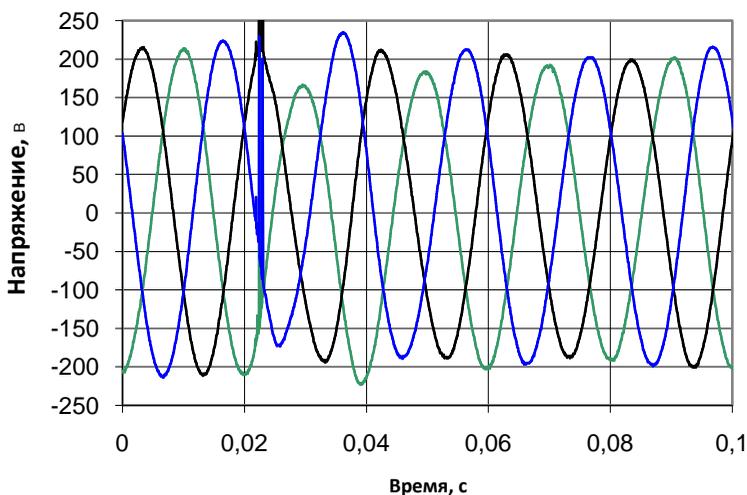


Рисунок 2

Следует отметить, что колебательные процессы характерны для всех синхронных машин, особенно без демпферных обмоток. По всей видимости, КМДП в этом плане не является исключением. Можно предположить, что при симметричной трехфазной нагрузке причиной возникновения этих колебаний являются неравномерный вращающий момент приводной МДП, связанный с несимметрией напряжения сети, неравномерный момент сопротивления КМДП, обусловленный перекосом осей вращения, эксцентриситетом роторов и другими технологическими факторами этих машин. В данном случае очевидным является то, что наброс нагрузки усиливает колебания, а при сбросе нагрузки они затухают (рис. 3). Этот вопрос требует дальнейших исследований, например, при использовании в качестве приводной машины асинхронного двигателя с ПЧ.

Таким образом, представленные результаты свидетельствуют о приемлемых динамических свойствах КМДП с ПЕСН при набросе и сбросе нагрузки.

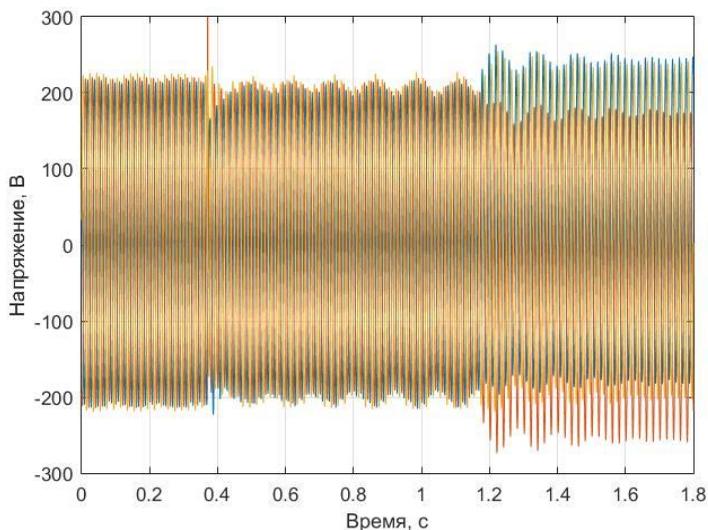


Рисунок 3

Литература

1. Джендубаев А.-З.Р., Барахоев Р.Ю., Джендубаев З.А.-З. Моделирование асинхронного генератора и классической машины двойного питания с конденсаторным самовозбуждением в среде «MatLab-Simulink-SimPowerSystems» // Электричество. 2013. № 7. С. 46 – 51.
2. Балагуров В.А, Галтеев Ф.Ф. Электрические генераторы с постоянными магнитами. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
3. Торопцев Н.Д. Асинхронные генераторы автономных систем. – М.: Знак, 1998.
4. Барахоев Р.Ю., Джендубаев Э.А.-З. Экспериментальные исследования последовательной емкостной стабилизации напряжения классической машины двойного питания и асинхронного генератора // Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты: XV межд. конф. МКЭЭЭ – 2014, 21 – 27 сентября 2014 г., – Крым, Алушта: МЭИ, 2014. С. 303–305.

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ (ЭНЕРГИИ) В ТРЕХФАЗНЫХ СИСТЕМАХ И ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ПОЛНОЙ АСИММЕТРИИ ТРЕХПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ

А.Н. Плахотнюк (д.т.н., проф.), Н.В. Ладенко (к.т.н.),
В.Е. Нечёсов (студент), Б.О. Криминский (студент)
*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический
университет» (г. Краснодар, Россия)*

Принципиальная необходимость повышения точности измерения реактивной мощности (энергии) на современном этапе связана с возрастающими требованиями к достоверности и строгости учета дополнительных потерь активной мощности во всех элементах системы генерации, передачи и потребления электроэнергии, связанные с реактивной мощностью, дополнительными потерями напряжения, снижением пропускной способности системы передачи электроснабжения, увеличением энергетической неуравновешенности системы в целом в связи с нежелательными обменными энергетическими процессами. Асимметрия и несинусоидальность напряжений и токов в системе дополнительно усугубляют ситуацию снижения качества электроэнергии.

Приведем краткий анализ основных существующих методов и схем измерения (учета) реактивной мощности (энергии) [1, 2]. Обращает внимание одна общая противоречивая особенность этих методов (схем) - это принципиальное требование строгой симметрии линейных напряжений с одной стороны и реальное допущение асимметрии согласно отечественному стандарту (2%...4%) по напряжениям при ненормируемой ГОСТ асимметрии по токам с другой стороны.

Для четырехпроводной трехфазной системы рекомендуется 90^0 метод трёх приборов (ваттметров) [1, 2], основанный на свойстве парной ортогональности соответствующих линейных и фазных напряжений при их полной симметрии

$$Q_{3\phi} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

где $(P_1 + P_2 + P_3)$ - алгебраическая сумма показаний ваттметров. При этом в [2 с.409, с.411] некорректно допускается использование метода (1) для трехпроводной системы.

Для измерения реактивной мощности в четырехпроводной трехфазной системе при полной асимметрии используется схема трёх варметров, включенных аналогично схеме трёх ваттметров для измерения активной мощности. Однофазный варметр в отличие от ваттметра в обмотке напряжения имеет активно-индуктивное фазосдвигающее устройство напряжения на 90^0 , при этом становится более зависимым от изменения частоты сети.

Для измерения реактивной мощности в трехпроводной трехфазной системе при симметрии линейных напряжений и асимметрии токов используется метод (схема) двух ваттметров (токовые обмотки включены в фазу А и С), а обмотки напряжения вместе с сопротивлением R, равным сопротивлениям обмоток, образуют искусственную нейтраль с соответствующими напряжениями $\dot{U}_{OC} \perp \dot{U}_{AB}$ и $\dot{U}_{AO} \perp \dot{U}_{CB}$. Тогда реактивная мощность определяется как алгебраическая сумма показаний, умноженная на $\sqrt{3}$ [1]

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3}(P_1 + P_2) \quad (2)$$

Исследуем возможность применения метода (схемы) с искусственной нейтралью (2) для измерения $Q_{3\phi}$ при полной асимметрии трехпроводной трехфазной системы. При наличии асимметрии линейных напряжений (сумма прямой и обратной последовательности напряжений) и фазных напряжений (сумма прямой, обратной и нулевой последовательностей напряжений) представляется очевидным, что невозможно обеспечить парной ортогональности фазных и линейных напряжений \dot{U}_{OC} и \dot{U}_{AB} ,

\dot{U}_{AO} и \dot{U}_{CB} , которая существует только при симметрии линейных и фазных напряжений, поэтому обеспечить измерение $Q_{3ф}$ при полной асимметрии напряжений представляется невозможным.

Рассмотрим другую разновидность схемы двух ваттметров, включенных токовыми обмотками в фазах А и С, с обмотками напряжений, включенными, соответственно, на напряжения U_{BC} и U_{AC} , в которые "врезаны" одинаковые сопротивления, обеспечивающие 60° - сдвиг по фазе между напряжениями и токами обмоток напряжений [1] при простой асимметрии (токов) и симметрии линейных напряжений. Тогда получим:

$$Q_{3ф} = P_1 + P_2 \quad (3)$$

где $P_1 + P_2$ - алгебраическая сумма показаний приборов. (Доказательство невозможности измерения $Q_{3ф}$ при асимметрии напряжений аналогично доказательству метода (2)).

По такой схеме обычно включаются двухэлементные индукционные счетчики реактивной энергии для трехпроводной системы. Следует заметить, что данный метод (схема) из-за резистивных элементов в обмотках напряжений с их индуктивностями становится очень чувствительной к изменениям частоты сети. Анализ перечисленных методов и схем для измерений реактивной мощности в трехпроводной системе показали, что они не могут функционировать при полной асимметрии трехпроводной трехфазной системы, тем более системы линейных напряжений и являются частными случаями общего подхода.

На основе теоремы Ланжевена (ТОЭ) о равенстве реактивных мощностей источников и приемников электрической энергии (равенство активных мощностей вытекает из закона сохранения энергии) для общего случая асимметрии трехпроводной трехфазной системы нами получено универсальное дуальное представление реактивной мощности, аналогичное известному выражению для активной мощности.

$$P_{\text{зф}} = U_{AB} I_A \cos(\dot{U}_{AB}, \dot{I}_A) + U_{CB} I_C \cos(\dot{U}_{CB}, \dot{I}_C) \quad (4)$$

$$Q_{\text{зф}} = U_{AB} I_A \sin(\dot{U}_{AB}, \dot{I}_A) + U_{CB} I_C \sin(\dot{U}_{CB}, \dot{I}_C) \quad (5)$$

Все перечисленные частные методы (схемы) измерения реактивной мощности в трехпроводной системе происходят из соотношения (5), при этом необходимо измерять U_{AB}, I_A, U_{CB}, I_C и два фазовых угла сдвига между ними $\alpha \leq (\dot{U}_{AB}, \dot{I}_A)$ и $\beta \leq (\dot{U}_{CB}, \dot{I}_C)$.

Выражения (4) для $P_{\text{зф}}$ и (5) для $Q_{\text{зф}}$ единообразно являются алгебраическими суммами и показывают, что в современных условиях для измерения $P_{\text{зф}}$ и $Q_{\text{зф}}$, а также их энергии необходимо создавать несложные измерительно-вычислительные комплексы, которые будут оперировать с шестью величинами $U_{AB}, I_A, U_{CB}, I_C, \alpha, \beta$ и энергиями $\int_{t_1}^{t_2} P_{\text{зф}}(t) dt$ и $\int_{t_1}^{t_2} Q_{\text{зф}}(t) dt$.

Из выражения (5) следует, что $Q_{\text{зф}}$ в трехпроводной трехфазной системе в общем случае можно измерить двумя варметрами (двухэлементным варметром) аналогично измерению $P_{\text{зф}}$ двумя ваттметрами.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 13-08-96515 р_юг_а».

Литература

1. Электрические измерения. Средства и методы измерений (общий курс). Под ред. Е.Г. Шрамкова. Учеб. пособие для втузов. М.: "Высш. школа", 1972, -520 с.

2. Основы метрологии и электрические: Учебник для вузов / Б.Я. Авдеев, Е.М. Душин и др; Под ред. Е.М. Душина. – 6-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987.– 480 с.

АВАРИЙНЫЕ РЕЖИМЫ СИСТЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА БАЗЕ АКСИАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА

Н.В. Ладенко (к.т.н.), С.А. Попов (к.т.н., доц.),
Н.Я. Прохоренко (студент)

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

В настоящее время все большую популярность в электромашиностроении получают аксиальные электрические машины [13-15], это обусловлено не только простотой изготовления, но и сравнительно небольшими капитальными затратами на построение данного класса машин. По этим объективным причинам данные машины используются для работы в малых системах электроснабжения (СЭС). Ряд таких систем предназначен для питания устройств постоянным током или содержит в себе звено постоянного тока. Наибольший интерес вызывают аварийные режимы в системе аксиальный генератор-выпрямитель-нагрузка (рис. 1).



Рисунок 1 – Структурная схема рассматриваемой СЭС

Номинальные режимы работы данной системы не вызывают достаточного интереса ввиду изученности вопроса. Поэтому рассмотрим аварийные режимы СЭС на базе трёхфазного аксиального генератора. Как показывает практика наибольшее число отказов в работе данной системы происходит выпрямителе.

Вначале рассмотрим, как протекает аварийный процесс при пробое вентиля выпрямителя, работающего на холостом

ходу. Аноды вентиляей 1, 3, 5 присоединены к генерирующим обмоткам переменного тока, их потенциалы фиксированы и изменяются одновременно с изменением ЭДС соответствующей фазы. Все катоды этих вентиляей соединены вместе, поэтому их потенциалы одинаковы и определяются ЭДС той фазы, которая в данный момент времени более положительна по отношению ЭДС двух других фаз. К каждому вентилю в течение одной трети периода приложена ЭДС в прямом направлении и он открыт, а в течение остальной части периода – в обратном направлении, и он закрыт, при этом ток в схеме выпрямителя практически не протекает.

Работа схемы нарушается, как только один из вентиляей, например 5 на рис. 2, теряет способность удерживать обратное напряжение. Теперь ток ограничивается только внутренним сопротивлением выпрямителя и аксиального генератора. Если отсчет времени вести от момента пробоя вентиля 5, то можно записать:

$$e_{AC} = \sqrt{3}E_{m\phi} \sin\left(\vartheta + \psi - \frac{\pi}{6}\right); \quad (1)$$

$$e_{BC} = \sqrt{3}E_{m\phi} \sin\left(\vartheta + \psi - \frac{\pi}{2}\right). \quad (2)$$

Отсюда можно установить, что в зависимости от начальной фазы ЭДС в момент пробоя вентиля ($\vartheta = 0$) могут быть следующие аварийные режимы:

- двухфазное короткое замыкание;
- трехфазное короткое замыкание.

Двухфазное короткое замыкание фаз А и С через поврежденный вентиль 1 и поврежденный вентиль 5. Такой режим возникает, когда ЭДС e_{AC} положительна, а e_B отрицательна, что будет соблюдаться при пробое вентиля в интервале

$$\frac{\pi}{6} \leq \psi < \frac{2\pi}{3} \quad (3)$$

Поскольку рассматривается аварийный процесс в ненагруженном выпрямителе ($R_d = \infty$), эквивалентная схема упрощается так, как показано на рис. 2.

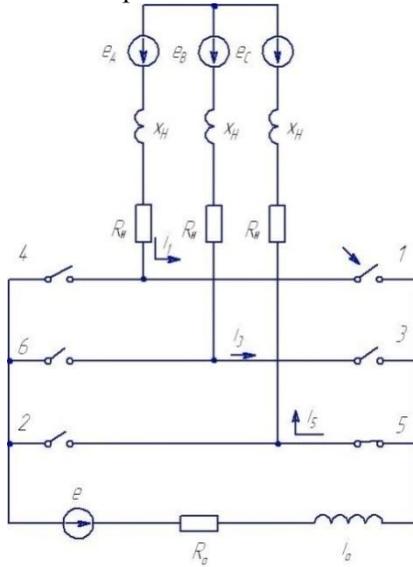


Рисунок 2 – Расчетная схема для интервала пропуска тока внутреннего короткого замыкания вентилями 1 и 5

Для нахождения кривой тока составим уравнение равновесия ЭДС и напряжений в замкнутом контуре, образованной источником ЭДС эквивалентными сопротивлениями фаз А и С и вентилями 1-5:

$$(i_1 + i_5)R_H + \frac{d}{d\vartheta}(i_1 + i_5)x_H = e_{AC} \quad (4)$$

Решая это уравнение с учетом (1) и того, что $i_1 = i_5$ найдем:

$$i_1^* = i_5^* = \frac{\sqrt{3}}{2} \left[\sin\left(\vartheta + \psi - \frac{\pi}{6} - \varphi_H\right) - \sin\left(\psi - \frac{\pi}{6} - \varphi_H\right) \right] e^{-\varrho ctg\varphi_H}. \quad (5)$$

Уравнение тока действительно в пределах, указанных в (3).

Трехфазное короткое замыкание через оба неповрежденных (1-й и 3-й) и поврежденный (5-й) вентили, развивающееся в интервале, когда ЭДС e_A и e_B обе положительны, что будет при

$$\frac{2\pi}{3} \leq \psi < \pi. \quad (6)$$

Эквивалентная схема приведена на рис. 3.

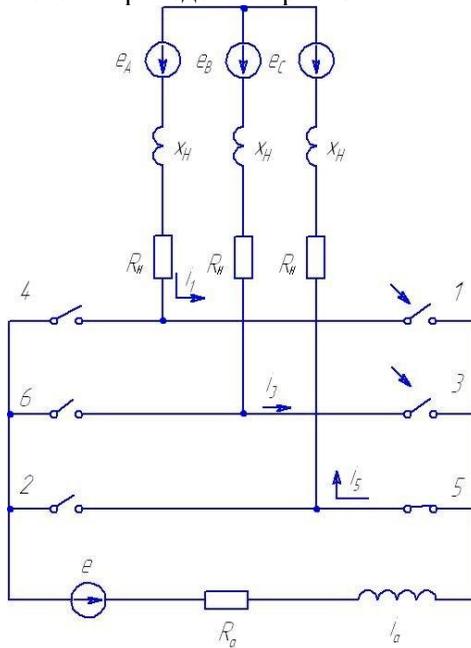


Рисунок 3 – Эквивалентная схема для интервала пропускания тока внутреннего короткого замыкания вентилями 1, 3 и 5

В первом интервале короткого замыкания, начинающемся с $\vartheta = 0$, токи в вентиле 1 определяются по (7), а в вентиле 3 и 5 – по следующим уравнениям, найденным аналогично:

$$i_1^* = \frac{i_1 \sqrt{x_H^2 + R_H^2}}{E_{m\phi}} = \sin(\vartheta + \psi - \varphi_H) + \quad (7)$$

$$+ [I_{a1}^* - \sin(\psi - \varphi_H)] e^{-\vartheta \operatorname{ctg} \varphi_H};$$

$$i_3^* = \sin\left(\vartheta + \psi - \frac{2\pi}{3} - \varphi_H\right) - \quad (8)$$

$$- \sin\left(\psi - \frac{2\pi}{3} - \varphi_H\right) e^{-\vartheta \operatorname{ctg} \varphi_H};$$

$$i_5^* = \sin\left(\vartheta + \psi - \frac{\pi}{3} - \varphi_H\right) - \quad (9)$$

$$- \sin\left(\psi - \frac{\pi}{3} - \varphi_H\right) e^{-\vartheta \operatorname{ctg} \varphi_H},$$

где $\varphi_H = \operatorname{arctg} \frac{X_H}{R_H}$.

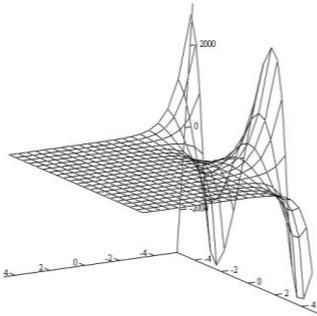


Рисунок 4 – График тока 3

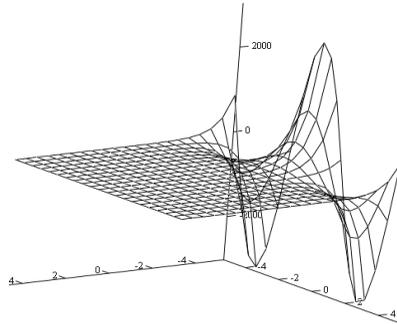


Рисунок 5 – График тока 5

Для первого интервала внутреннего короткого замыкания (7), (8) и (9) справедливы в пределах ψ , указанных в (6). Графики токов 3 и 5 в зависимости от интервала работы вентиля ψ , начала аварии ϑ , при следующих первичных параметрах машины: $R = 5$ Ом; $L = 0.01$ Гн; $\omega = 314$ рад/с, представлены на рис. 4, рис. 5.

Анализ полученных зависимостей даёт возможность сделать вывод о скорости нарастания токов через третий и пятый вентили, что дает возможность выбирать параметры элементов защиты СЭС на базе аксиальных генераторов [13-15].

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 13-08-96515 р_юг_а».

Литература

1. Гайтов Б.Х. Состояние и перспективы развития электроэнергетики России. Матер. III межд. науч. конф. «ТТС-11». Краснодар, 2011 – С. 5-14.
2. Науменко В.А. Электроэнергетическая отрасль Краснодарского края. Состояние и перспективы развития. Матер. III межд. науч. конф. «ТТС-11». Краснодар, 2011 – С.14-24.
3. Ладенко Н.В., Ладенко А.В., Курашинов Т.А. Работа звена постоянного тока силового канала ДЭМ-Г. Технические и технологические системы. Матер. II межд. науч. конф. «ТТС-09». – Краснодар: филиал ВУНЦ ВВС «ВВА», 2010. – 379 с. С. 110-113.
4. Ладенко Н.В., Ладенко А.В., Черкашин Е.А. Определение динамических параметров материалов ДЭМ-Г. Технические и технологические системы. Матер. III межд. науч. конф. «ТТС-11». Краснодар, 2011. – С. 87-90.
5. Ладенко Н.В., Раченко К.А., Попов С.А. Переходные процессы ДЭМ-Г при аварийных режимах (статья). Технические и технологические системы. Матер. III межд. науч. конф. «ТТС-11». Краснодар, 2011. – С. 90-92.
6. Ладенко Н.В., Ладенко А.В., Попов С.А. Аварийные режимы систем электроснабжения на базе ДЭМ-Г (статья). Технические и технологические системы. Матер. III межд. науч. конф. «ТТС-11». Краснодар, 2011. – С. 92-95.
7. Ладенко Н.В., Ладенко А.А., Ладенко А.В. Уравнение ударного аварийного тока в системе на базе ДЭМ-Г (статья).

Технические и технологические системы. Матер. III межд. науч. конф. «ТТС-11». Краснодар, 2011. – С. 95-97.

8. Ладенко Н.В., Гайтов Б.Х., Науменко В.А. Моделирование звена постоянного тока двухмерной электрической машины-генератора (статья). Энергосбережение и водоподготовка №3/71. Химические решения технологических задач: М.: Изд-во ООО «Типография ИД «Граница», 2011. – С. 74-76.

9. Ладенко Н.В., Гайтов Б.Х., Науменко В.А. Параллельная работа двухмерных электрических машин на общую нагрузку. Энергосбережение и водоподготовка №2/70: М.: Изд-во ООО «Типография ИД «Граница», 2011. – С. 74-76.

10. Ладенко Н.В., Нечесов В.Е. Короткие замыкания в системах нетрадиционной энергетики (статья). Технические и технологические системы. Матер. IV межд. науч. конф. «ТТС-09». Краснодар: филиал ВУНЦ ВВС «ВВА», 2012. – С. 90-95.

11. Ладенко Н.В., Нечесов В.Е. Двухфазное короткое замыкание в системах нетрадиционной энергетики (статья). Технические и технологические системы. Матер. IV межд. науч. конф. «ТТС-09». Краснодар: филиал ВУНЦ ВВС «ВВА», 2012. – С. 96-100.

12. Ладенко Н.В., Гайтова Т.Б. Вращающий момент двухмерной электрической машины-генератора (статья). Энергосбережение и водоподготовка №1/81: М.: Изд-во ООО «Типография ИД «Граница», 2011. – С. 43-45.

13. Аксиальный бесконтактный генератор постоянного тока / Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Гайтова Т.Б., Кашин А.Я. Патент на изобретение RUS 2402858 12.10.2009.

14. Стабилизированный аксиальный бесконтактный генератор постоянного тока / Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Гайтова Т.Б., Кашин А.Я., Пауков Д.В. Патент на изобретение RUS 2465706 25.03.2011.

15. 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. М.: Газовая промышленность. 2014. № 6 (707). С. 114-117.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЁТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ КАТУШКИ С ПОМОЩЬЮ РЯДОВ ФУРЬЕ

Б.К. Попов (к.т.н., доц.), О.Б. Попова (к.т.н., доц.)
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический
университет» (г. Краснодар, Россия)

В предыдущих работах [1, 2] нами было определено основное направление в области разработки алгоритмов расчёта и программного обеспечения для построения электромагнитного поля электротехнических устройств.

Ранее нами были разработаны методы расчёта электромагнитных полей для двухмерного случая [3-6]. Разработанные алгоритмы позволили создать быстродействующие и эффективные программы, которые позволяли строить картины полей для разных конструкций. Расчёт на современном ПК занимал доли минуты. Результат расчётов был представлен в виде двухмерных рядов Фурье. Однако, наиболее актуально строить и рассчитывать электромагнитное поле в трёхмерном случае. Это определяется тем, что использование двухмерной картины в расчётах электромагнитных устройств связано с применением ряда упрощений исходной задачи, что может вызывать определённые ошибки при проектировании электромагнитных и электромеханических устройств.

Для практической оценки возможности применения рядов Фурье в трёхмерном случае нами были разработаны алгоритмы и программное обеспечение для расчёта электромагнитного поля цилиндрической катушки в трёхмерном пространстве [7-10].

Решение было найдено для векторного магнитного потенциала в виде двух рядов [1]

$$A_x = \sum_h \sum_k \sum_t G_x \sin m_h x \cos n_k y \cos u_t z,$$
$$A_z = \sum_h \sum_k \sum_t G_z \cos m_h x \cos n_k y \sin u_t z.$$

Катушка, имела ось вращения, параллельную оси Y , поэтому составляющая вектора магнитного потенциала по этой оси отсутствует, так как данный вектор параллелен плоскости витков катушки.

Ряды Фурье хорошо определяются для прямоугольных областей. Но катушки в общем случае представляют собой сложные геометрические фигуры. Поэтому мы вычисляли интегралы для коэффициентов рядов Фурье, разработанным нами численным методом. Нами были составлены программы вычисления коэффициентов рядов Фурье разными способами. В результате была построена картина электромагнитных линий в разных сечениях цилиндрической катушки с помощью разработанного ранее программного обеспечения [11]. Время расчёта рассматриваемой задачи в пределах одной минуты.

Литература

1. Попов Б.К. Расчёт электромагнитного поля цилиндрической катушки с помощью рядов Фурье. [Текст]/ Попова О.Б. Технические и технологические системы. Материалы VI Международной научной конференции «ГТС-14». Сборник материалов – Краснодар: КубГАУ, 2014 г. – 471 с.

2. Попов Б.К. Основные направления в развитии алгоритмов расчёта электрических цепей переменного тока, содержащих нелинейные элементы, также электромагнитного поля электромеханических преобразователей [Текст]/ Попова О.Б. Технические и технологические системы. Материалы V Международной научной конференции «ГТС-13». Сборник материалов – Краснодар: КубГАУ, 2013 г. – 315 с.

3. Попов Б.К. Расчёт электромагнитных полей в электромеханических устройствах [Текст]/ Материалы второй межвузовской научной конференции 27 – 28 марта 2003 года, Краснодар, Том 1, Краснодар, 2003 г.

4. Попов Б.К. Исследование применимости метода вторичных источников при решении краевых задач электромагнитного поля [Текст]/ Деп. в ВИНТИ 11.04.03, № 689 – В2003.

5. Попов Б.К. Расчёт магнитного поля двух шин прямоугольного сечения со встречно направленными токами в кусочно-неоднородной прямоугольной области, окружённой ферромагнетиком с бесконечной магнитной проницаемостью [Текст]/ Деп. в ВИНТИ 02.05.07, № 485 – В2007.

6. Попов Б.К. Расчёт магнитного поля в кусочно-неоднородной прямоугольной области [Текст]/ Попова О.Б., Карандей В.Ю. Технические и технологические системы: ТЗ8 материалы международной научной конференции. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – 433 с.

7. Попов Б.К. Вычисление ряда Фурье проекции векторного магнитного потенциала A на ось X для цилиндрической катушки. [Текст]/ Попова О.Б. СВИДЕТЕЛЬСТВО о государственной регистрации программы для ЭВМ 2015615628, зарегистрировано 21.05.15. – 7 с.

8. Попов Б.К. Вычисление ряда Фурье проекции векторного магнитного потенциала A на ось Z для цилиндрической катушки. [Текст]/ Попова О.Б. СВИДЕТЕЛЬСТВО о государственной регистрации программы для ЭВМ 2015615627, зарегистрировано 21.05.15. – 7 с.

9. Попов Б.К. Вычисление картины поля векторного магнитного потенциала A цилиндрической катушки в плоскости $x0$. [Текст]/ Попова О.Б. СВИДЕТЕЛЬСТВО о государственной регистрации программы для ЭВМ 2015615566, зарегистрировано 21.05.15. – 5 с.

10. Попов Б.К. Вычисление картины поля векторного магнитного потенциала A цилиндрической катушки в плоскости $z0$. [Текст]/ Попова О.Б. СВИДЕТЕЛЬСТВО о государственной регистрации программы для ЭВМ 2015615567, зарегистрировано 21.05.15. – 5 с.

11. Попов Б.К. Программа построения силовых линий магнитной индукции. [Текст]/ СВИДЕТЕЛЬСТВО об официальной регистрации программы для ЭВМ №2011610652, 11.01.11. – 7 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ОРГАНОВ В СОСТАВЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Г.А. Захаров, А.М. Смаглиев (к.т.н., доцент)
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

В соответствии с выполнением Энергетической стратегии России на период до 2030 года (утвержденной распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 г., №1715-р, раздел V, подраздел б), для повышения энерговооруженности и надежности энергоснабжения, предприятиями различных отраслей промышленности ведется развитие собственных электротехнических комплексов путем строительства объектов малой распределенной генерации электрической энергии в виде электростанций собственных нужд (ЭСН) электрической мощностью от 1 до 50 МВт. В составе генерирующих мощностей данных ЭСН используются, преимущественно, модульные (контейнерные) дизельпоршневые, газопоршневые, газотурбинные агрегаты электрической мощностью от 1 до 5 МВт, количеством до 10 единиц, вырабатывающие электрическую энергию на напряжении 6(10) кВ, используемую для покрытия собственных нужд технологического процесса производства и направления излишек в общую электрическую сеть. При этом, проектирование и эксплуатация подобных электротехнических комплексов вызывает ряд сложностей, в частности, при выполнении релейной защиты (РЗ) линий 6 – 10 кВ, питающих нагрузки предприятия, а также, обеспечивающих связь с энергосистемой (рисунок 1). По аналогии с отображенной на рис. 1 схемой выполнена ЭСН предприятия по производству сельхозтехники, расположенного на территории Краснодарского края. В ее состав входят три газопоршневых генераторных агрегата (ГПГА) 1750 GQNB/C (Cummins, Великобритания), электрической мощностью 1750 кВт, напряжением 10,5 кВ. Параллельная работа ЭСН с энергосистемой предусматривается через РУ-10 кВ подстанции, с приведенными значениями реактансов коротких замыканий (КЗ) 0,812 Ом и 1,191 Ом в максимальном и минимальном режимах

соответственно. Для данного объекта при помощи программного комплекса DigSILENT® Power Factory® выполнен проектный расчет токов КЗ в различных режимах работы ЭСН, в различных точках (рис. 1), результаты которого приведены в табл. 1.

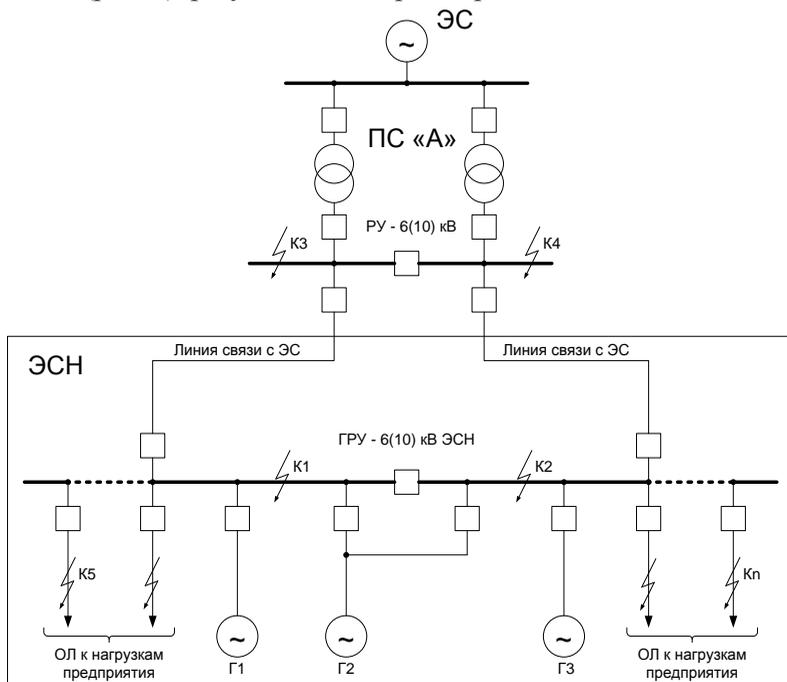


Рисунок 1 – Вариант выполнения схемы главных соединений ЭСН промышленного предприятия при наличии связи с энергосистемой

Анализируя представленные в табл. 1 данные, можно сделать вывод о различии уровней токов КЗ в каждой расчетной точке в зависимости от режимов работы источников питания ЭСН. Особенно данное различие проявляется между режимами совместной работы с энергосистемой и работой генерации ЭСН «в острове». В данных условиях использование на отходящих от ГРУ-6(10) кВ ЭСН линиях максимальных токовых защит часто оказывается неэффективным по обеспечению нормативной чувствительности. Переключение групп уставок защит, реализуе-

мое большинством современных микропроцессорных терминалов релейной защиты в полной мере решить данную проблему не позволяет прежде всего зачастую из-за малого числа сохраняемых групп, а также необходимости пренебрегать селективностью с нижестоящими защитами, ради повышения чувствительности при работе генерации «в острове», что снижает надежность бесперебойного электроснабжения конечных потребителей.

Таблица 1 – Результаты расчета тока КЗ ЭСН

Режим работы		Расчетная точка КЗ		
		К1, К2	К3, К4	К5,... Кn
Работа трех ГПГА ЭСН параллельно с ЭС	макс.	9,846	10,338	4,473
	мин.	6,136	6,259	2,97
Работа двух ГПГА ЭСН параллельно с ЭС	макс.	9,019	9,169	3,942
	мин.	5,77	5,916	2,558
Работа одного ГПГА ЭСН параллельно с ЭС	макс.	8,189	8,89	3,411
	мин.	5,403	5,573	2,146
Работа трех ГПГА ЭСН «в острове»	макс.	2,59	2,169	1,593
	мин.	1,101	1,121	1,21
Работа двух ГПГА ЭСН «в острове»	макс.	1,661	1,518	1,072
	мин.	0,732	0,715	0,836
Работа одного ГПГА ЭСН «в острове»	макс.	0,832	0,785	0,547
	мин.	0,366	0,373	0,422
Питание нагрузок предприятия от ЭС	макс.	7,357	8,169	2,88
	мин.	5,035	5,29	1,734

Оптимальным решением данной проблемы является использование на отходящих линиях от ГРУ-6(10) кВ ЭСН РЗ, функционирование которой не зависит от режимов работы источников питания, а определяется параметрами защищаемого оборудования. Такой защитой является дистанционная защита (ДЗ), определяющая КЗ по сопротивлению до места его возникновения. Однако применение устройств ДЗ в системе РЗ подобных объектов является затруднительным по причине высокой стоимости и сложности современных микропроцессорных тер-

миналов, реализующих данную функцию, а также значительным возрастом и низкими эксплуатационными и техническими показателями электромеханических и полупроводниковых аналогов. Поэтому задача разработки и совершенствования устройств ДЗ для применения в системе РЗ электротехнических комплексов промышленных предприятий, сочетающих высокие технические показатели работы, простоту конструкции, а также сниженную стоимость является актуальным. Интересным подходом в вопросе совершенствования ДО является применение в их составе однофазных трансформаторов с вращающимся магнитным полем (ПВМП) [1, 2, 3, 4].

Литература

1. Пат. РФ № 108888. Реле полного сопротивления. / Коробейников Б.А., Коробейников А.Б., Радионов В.М., Захаров Г.А.; заявл. 05.04.2011; опубл. 27.09.2011.
2. Патент 128408 Российская Федерация. Реле сопротивления / Коробейников Б.А., Коробейников А.Б., Радионов В.М., Захаров Г.А.; заявл. 06.12.2012; опубл. 20.05.2013.
3. Дистанционные органы релейной защиты. Пути совершенствования / Б. Коробейников, Г. Захаров // Новости электротехники: информационно-справочное издание. 2014. № 4. С. 38-40.
4. Дистанционный орган в виде реле полного сопротивления на основе преобразователей с вращающимся магнитным полем / Коробейников Б.А., Захаров Г.А., Сидоров Д.И., Мироненко В.В. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. Краснодар: изд. КубГАУ, 2014. – №05(099). – IDA [article ID]: 0991405009. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/09.pdf>, 0,750 у.п.л.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ВЫПРЯМЛЕНИЯ И СТЕПЕНИ СГЛАЖИВАНИЯ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ НА РАБОТУ ДИСТАНЦИОННОГО ОРГАНА НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ВРАЩАЮЩИМСЯ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Г.А. Захаров, А.И. Ищенко (к.т.н., доцент)
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

Применение в составе дистанционных органов (ДО) преобразователей с вращающимся магнитным полем (ПВМП) [1, 2] позволяет улучшить их технические характеристики по сравнению с традиционными схемами [3, 4]. В частности, использование ПВМП в составе ДО позволяет получать из однофазных напряжения и тока, подводимых к устройству от первичных измерительных трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН) многофазные системы напряжений, применять на входе логической части устройства многофазное выпрямление вместо однофазного, снижая пульсации и необходимость применения инерционных сглаживающих фильтров на входе сравнивающего элемента ДО, повышая, тем самым, точность и быстродействия работы устройства.

В данной работе приведены результаты исследования влияния уровня сглаживания выпрямленного напряжения, подаваемого на входе сравнивающего элемента ДО на основе ПВМП, на время срабатывания и точность работы устройства.

Моделирование производилось в среде Matlab для РПС с уставкой срабатывания 10 Ом, идеальная характеристика которого приведена в [1, 2], при моделировании под процессом изменения входного сопротивления $Z_{вх}$, понималось изменение отношения величины входного напряжения к величине входного тока реле. Основной задачей моделирования было изучение влияния постоянной времени сглаживающего фильтра на входе логической части устройства на точность его характеристики срабатывания в комплексной плоскости, время работы и поиск оптимального решения. Для исследования были выбраны посто-

ответствующий началу зоны надежного срабатывания реле при заданном аргументе φ_j ; Z_{cp} – уставка срабатывания реле.

На рис. 3 представлены зависимости времени срабатывания РПС на основе ПВМП от значения входного сопротивления для исследуемых величин постоянной времени сглаживающего фильтра на входе логической части устройства, характеризующие снижение быстродействия реле при росте величины T_f .

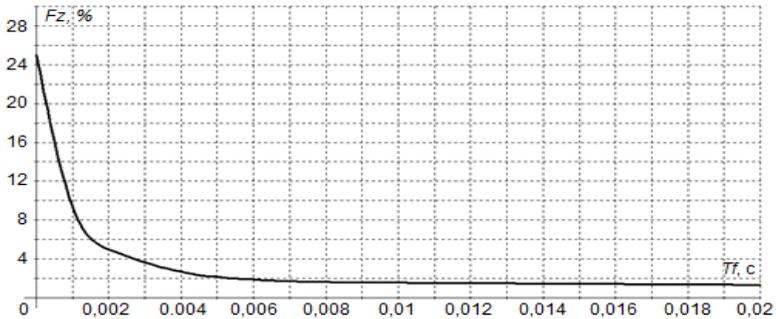


Рисунок 2 – Зависимость степени искажения характеристики срабатывания ДО в виде РПС на основе ПВМП от T_f

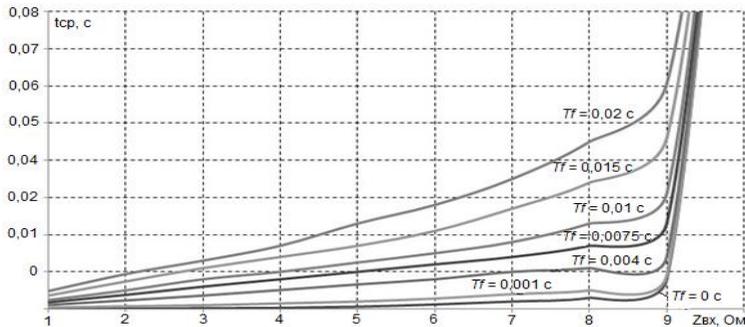


Рисунок 3 – Зависимость времени срабатывания ДО в виде РПС на основе ПВМП от величины входного сопротивления

Сопоставив зависимости, изображенные на рисунках 2 и 3 можно сделать вывод, что при синусоидальных входных сигналах напряжения и тока и при постоянной времени сглаживающего фильтра $T_f = 0,004$ с можно добиться достаточной точ-

ности работы РПС на основе ПВМП при высоком быстродействии.

Для аналогичных существующих ДО, использующих схемы сравнения с однофазным двухполупериодным выпрямлением [3] для $T_f = 0,0075$ с и $0,02$ с $F_Z = 9,8\%$ и $6,1\%$ соответственно. Данный факт позволяет судить о том, использование ПВМП в составе ДО позволяет получить устройства с улучшенными показателями быстродействия и точности работы.

Литература

1. Пат. 108888 Российская Федерация. Реле полного сопротивления. / Коробейников Б.А., Коробейников А.Б., Радионов В.М., Захаров Г.А.; заявл. 05.04.2011; опубл. 27.09.2011.

2. Захаров Г.А. Дистанционный орган релейной защиты на основе преобразователей с вращающимся магнитным полем / Коробейников Б.А., Захаров Г.А., Радионов В.М. // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. №3, 2013. С. 68–72.

3. Моделирование реле полного сопротивления на основе однофазного трансформатора с вращающимся магнитным полем в MATLAB / Захаров Г.А., Бурькин Д.С. // Электроэнергетические комплексы и системы: Сборник научных статей / Под общ. ред. проф. Б.А. Коробейникова. Куб. гос. технол. ун-т. Краснодар: изд. КубГТУ, 2012. С. 191-195.

4. Шнеерсон Э.М. Полупроводниковые реле сопротивления. М. Энергия, 1975. 143 С.

5. Фабрикант В.Л. Основы теории построения измерительных органов релейной защиты и автоматики (органы с двумя электрическими величинами). – М.: Высшая школа, 1968. – 267 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСКАЖЕНИЯ ВХОДНОГО СИГНАЛА ТОКА НА РАБОТУ ДИСТАНЦИОННОГО ОРГАНА НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ВРАЩАЮЩИМСЯ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Г.А. Захаров, Д.И. Сидоров (к.т.н., доцент)
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

Подключение ДО, как и любого другого релейного органа, осуществляется в цепи вторичных обмоток измерительных трансформаторов тока и напряжения. Наряду с выполнением своей основной функции по гальванической развязке силовых и измерительных цепей, а также по преобразованию первичных величин тока и напряжения до допустимых при измерениях значений, первичные ТТ и ТН, являясь нелинейными элементами, вносят дополнительные искажения в измеряемые сигналы.

Для ТТ при коротких замыканиях значительный рост первичного тока, а также присутствующая в начальные моменты времени КЗ, затухающая аperiodическая составляющая тока, способствуют насыщению магнитопровода и как следствие увеличению погрешности измеряемого сигнала. Кроме того на форму кривой вторичного тока ТТ влияет мощность и состав нагрузки, подключенной в цепь измерения. Поэтому для ТТ характерны режимы работы при КЗ когда вследствие вышеперечисленных факторов создаваемая им погрешность измерений превышает установленные 10% и оказывает значительное влияние на точность работы релейной техники.

В данной работе приведены результаты изучения влияния искажения входного сигнала преобразователя тока ПВМП (i) [1], происходящего под влиянием насыщения первичного ТТ, на работу дистанционного органа на основе ПВМП, а также качество его характеристик срабатывания. Для удобства обработки полученной информации в качестве примера выбран ДО в виде РПС. Также показано сравнение полученных результатов с аналогичными для реле полного сопротивления на базе детекторных схем сравнения абсолютных значений электрических

величин с двухполупериодным однофазным выпрямлением. Произведена оценка влияния степени сглаживания напряжения на входе логической части ДО на точность работы реле полного сопротивления. При этом в исследованиях сигнал входного напряжения принимался синусоидальным, без искажения. В работе рассматривались сигналы для входного тока для степеней искажения $F_i = 0; 10; 20; 30; 40; 50; 60\%$, форма искаженных сигналов выбрана для $\cos\varphi = 1,0$ как наиболее отличная от синусоиды.

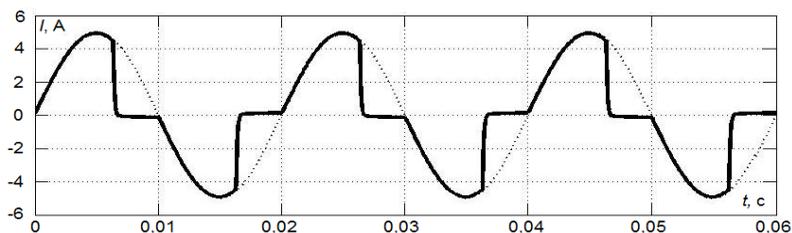


Рисунок 1 – Осциллограммы искаженного входного сигнала тока исследуемого ДО при $F_i = 50\%$

При решении задачи, рассмотрена работа в условиях искажения входного сигнала тока РПС на основе ПВМП с постоянными времени сглаживания на входе логической части органа $T_f = 0,004; 0,0075; 0,02$ с. Постоянные времени $T_f = 0,004$ с и $T_f = 0,0075$ с приняты к рассмотрению как оптимальные при синусоидальном режиме, обеспечивающие высокие показатели точности и быстродействия работы исследуемого органа. Постоянная времени $T_f = 0,02$ с выбрана из представленных, как обеспечивающая наибольшую точность работы ДО на основе ПВМП. Для сравнения полученных характеристик рассмотрена работа РПС на базе детекторных схем сравнения абсолютных значений электрических величин с двухполупериодным однофазным выпрямлением с $T_f = 0,02$ с. На рис. 2 приведены экспериментальные характеристики срабатывания при уровнях искажения входного сигнала тока при $F_i = 50\%$, для схем реле с уставкой 10 Ом.

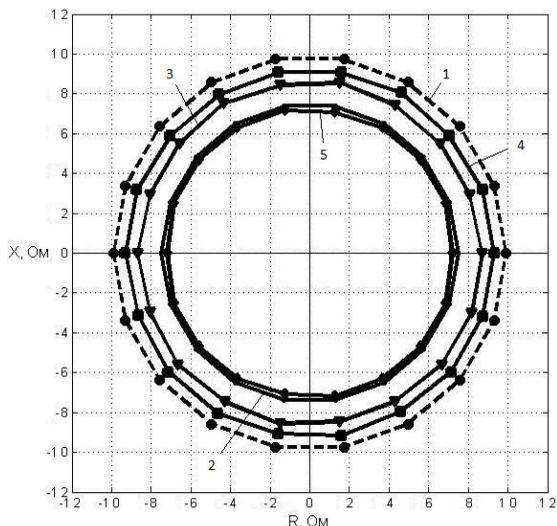


Рисунок 2 – Характеристики срабатывания РПС при искажении сигнала входного тока ($F_i = 50\%$)

На рис. 2 приняты условные обозначения: 1- характеристика срабатывания ДО при отсутствии искажений; 2 – характеристика для ДО на основе ПВМП с $T_f = 0,004$ с; 3 – характеристика для ДО на основе ПВМП с $T_f = 0,0075$ с; 4 – характеристика для ДО на основе ОТВП с $T_f = 0,02$ с; 5 – характеристика для ДО на однофазных двухполупериодных схем сравнения с $T_f = 0,02$ с.

Как видно из рис. 2, с ростом степени искажения сигнала входного тока с растет степень искажения характеристик срабатывания ДО. Они сжимаются, т. е. происходит закругление органа, при этом возможно его ложное несрабатывание. Повышение степени сглаживания сигнала на входе логической части ДО оказывает положительное влияние на качество характеристик срабатывания реле, при этом снижается его быстродействие. Однако, для дистанционного органа на основе однофазных двухполупериодных схем выпрямления сравниваемых величин даже при достаточно большой постоянной времени сглаживания T_f наблюдается большой рост степени искажения характери-

ки срабатывания при росте степени искажения сигнала входного тока, чем для ДО на основе ПВМП. Данные выводы подтверждаются экспериментальными графиками (рис. 3).

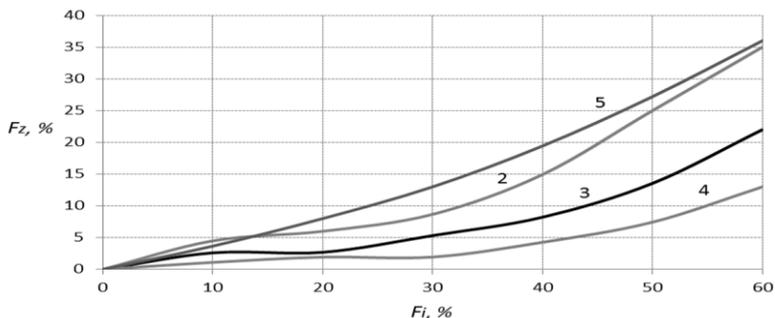


Рисунок 3 – Зависимости степени искажения характеристики ДО F_z от степени искажения сигнала входного тока F_i

Проанализировав, полученные экспериментальные данные, можно сделать заключение о пагубном влиянии искажения сигнала входного тока практически на все качественные показатели ДО, тем не менее, необходимо отметить, что характеристики реле полного сопротивления на основе ПВМП при всех равных условиях имеют лучший вид по отношению к аналогичным для традиционной конструкции реле.

Литература

1. Дистанционный орган релейной защиты на основе преобразователей с вращающимся магнитным полем / Коробейников Б.А., Захаров Г.А., Радионов В.М. // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. №3, 2013. С. 68–72.
2. Моделирование процесса работы реле полного сопротивления на основе однофазного трансформатора с вращающимся магнитным полем в MATLAB / Захаров Г.А., Караваева К.И. // Электроэнергетические комплексы и системы: Сборник научных статей / Под общ. ред. проф. Б.А. Коробейникова. Куб. гос. технол. ун-т. Краснодар: изд. КубГТУ, 2012. С. 195-200.

РАДИАЛЬНЫЕ И АКСИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ, КАК ЧАСТНЫЙ СЛУЧАЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С КОНИЧЕСКИМ РОТОРОМ. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

А.Я. Кашин, А.С. Князев

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

Любую электрическую машину (ЭМ) можно рассматривать как частный случай ЭМ с коническим ротором.

На рис. 1 представлена ЭМ с коническим ротором. Проведём прямую, проходящую через середину воздушного зазора и пересекающую ось вращения ротора под некоторым углом α . Угол α назовём *углом наклона воздушного зазора к оси вращения ротора ЭМ*.

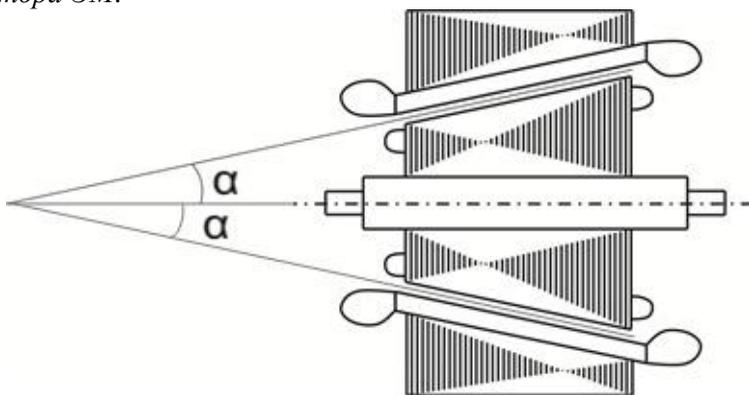


Рисунок 1 – Сечение ЭМ с коническим ротором

Проведём прямую, проходящую через середину воздушного зазора и пересекающую ось вращения ротора под углом α (рис.1). Тогда при $\alpha=0^\circ$ получим радиальную, а при $\alpha=90^\circ$ - аксиальную ЭМ. Угол α назовём *углом наклона воздушного зазора к оси вращения ротора ЭМ*.

На этапе проектирования ЭМ с заданными характеристиками существует бесконечное множество вариантов конструктивного исполнения. При переходе от одного варианта кон-

структивного исполнения ЭМ к другому форма и размеры магнитопроводов статора и ротора должны изменяться (преобразовываться) в соответствии с определенными закономерностями таким образом, чтобы выходные характеристики соответствовали заданным.

Процесс изменения формы и размеров магнитопроводов статора и ротора при проектировании ЭМ назовём *преобразованием ЭМ*.

Процесс изменения формы тела магнитопровода назовём *геометрическим преобразованием* магнитопровода, при этом выделим три его вида: *нормальное, искажённое и произвольное*.

Нормальным назовём геометрическое преобразование без изменения углов между всеми соприкасающимися поверхностями магнитопровода ЭМ.

Искажённым назовём геометрическое преобразование без изменения углов между противоположными поверхностями магнитопровода ЭМ.

Произвольным назовём геометрическое преобразование, при котором как минимум для одной пары противоположных поверхностей магнитопровода ЭМ изменяется угол между противоположными поверхностями.

Для любой ЭМ с известными параметрами, у которой значение угла наклона воздушного зазора к оси вращения ротора равно α_1 , можно определить такую ЭМ со значением угла наклона воздушного зазора α_2 , у которой результат электромагнитного преобразования энергии будет идентичным, или эквивалентным. Тогда электрическую машину с углом наклона воздушного зазора к оси вращения ротора α_1 и известными параметрами назовём *исходной*, а ЭМ с углом наклона воздушного зазора к оси вращения ротора α_2 назовём *эквивалентной*.

Под эквивалентностью результатов электромагнитного преобразования энергии понимается получение одинаковых выходных параметров при одинаковых входных, причём эквивалентность результатов должна соблюдаться при любой частоте

вращения ротора и любом значении тока, подаваемого в соответствующие обмотки исходной и эквивалентной ЭМ.

Нахождение эквивалентной ЭМ для исходной назовём *эквивалентным преобразованием ЭМ*. Суть эквивалентного преобразования ЭМ состоит в том, чтобы для ЭМ с известными характеристиками и имеющей один угол наклона воздушного зазора (α_1), определить геометрические размеры, форму и положение в пространстве магнитопроводов статора и ротора эквивалентной ЭМ, имеющей другой угол наклона воздушного зазора (α_2).

Поверхность, соприкасающуюся с воздушным зазором, назовём *активной* поверхностью магнитопровода, поверхность, прилегающую к ней, назовём *боковой* поверхностью (всего получим две боковые поверхности), а поверхность, противоположную активной, назовём *тыльной*.

Если *угол наклона воздушного зазора к оси вращения ротора ЭМ* $\alpha=0^\circ$, то электрическая машина радиальная, а если $\alpha=90^\circ$ – аксиальная.

Рассмотрим ЭМ, у которой угол наклона воздушного зазора к оси вращения ротора равен α , а величина воздушного зазора равна δ . Построим плоскость, проходящую через ось вращения ротора и прямую, которая пересекает ось вращения ротора под углом α и проходит через точку O (рис. 2). Линией пересечения построенной плоскости с активной поверхностью магнитопровода будет являться отрезок 1-2. Середину этого отрезка обозначим точкой C . Если в построенной плоскости провести прямую, проходящую через точку C и перпендикулярную отрезку 1-2, то она пересечёт прямую, проходящую через середину воздушного зазора и пересекающую ось вращения ротора под углом α , в точке O .

Обозначим длину активной зоны магнитопровода как l , высоту магнитопровода как h (рис. 2), расстояние от оси вращения ротора до точки C как R_C , расстояние от оси вращения ротора до точки 1 как R_1 , расстояние от оси вращения ротора до точки 2 как R_2 (рис.2).

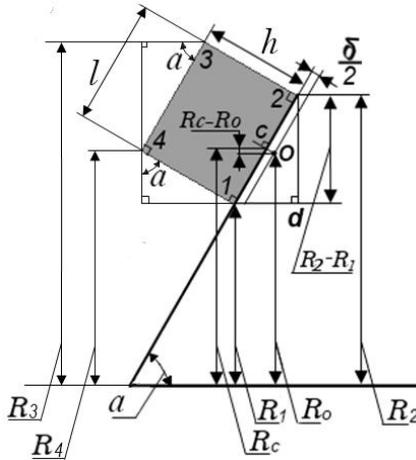


Рисунок 2 – Сечение магнитопровода ЭМ с коническим ротором

Выясним, как зависят величины R_C , R_I и R_2 от угла α . Сначала определим зависимость величины R_C от α . Для этого обратимся к рис. 3.

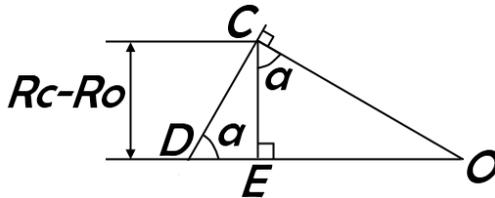


Рисунок 3 – К определению зависимости R_C от α

Точки C и O на рис. 2 и рис. 3 совпадают соответственно. Отрезок CD лежит на активной поверхности магнитопровода. Прямая OD параллельна оси вращения ротора и пересекает активную поверхность магнитопровода в точке D . Прямая CE перпендикулярна прямой OD и пересекает её в точке E . Длина отрезка OC равна половине величины воздушного зазора δ , длина отрезка CE равна разнице R_C и R_0 .

Из треугольника $\triangle OCE$ (рис. 3):

$$R_C - R_0 = CE = OC \cdot \cos(\alpha) = \frac{\delta}{2} \cos(\alpha)$$

Отсюда находим R_C :

$$R_C = R_0 + \frac{\delta}{2} \cos(\alpha)$$

Для определения величин R_1 и R_2 обратимся к рисунку 4.

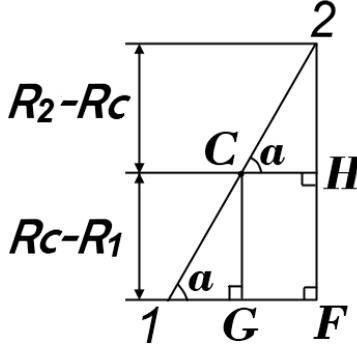


Рисунок 4 – К определению зависимости R_1 и R_2 от α

Точки C , 1 и 2 на рис. 2 и рис. 4 совпадают соответственно. Прямая $1F$ параллельна оси вращения ротора. Прямая $2F$ перпендикулярна оси вращения ротора и пересекает прямую $1F$ в точке F , прямая CG перпендикулярна оси вращения ротора и пересекает прямую $1F$ в точке G . Прямая CH параллельна оси вращения ротора и пересекает прямую $2F$ в точке H . Длина отрезка CG равна разнице R_C и R_1 , длина отрезка $2H$ равна разнице R_2 и R_C .

Напомним, что длина отрезка $1-2$ равна l (рис. 2), тогда:

$$R_C - R_1 = \frac{l}{2} \sin(\alpha)$$

Так как точка C находится в центре отрезка $1-2$, и учитывая, что треугольники $\triangle 1CG$ и $\triangle C2H$ прямоугольные, то они равны по стороне и двум прилежащим углам. Значит, верно следующее равенство:

$$R_2 - R_C = R_C - R_1 = \frac{l}{2} \sin(\alpha)$$

С учетом (3) получим:

$$R_1 = R_C - \frac{l}{2} \sin(\alpha) = R_0 + \frac{\delta}{2} \cos(\alpha) - \frac{l}{2} \sin(\alpha)$$

$$R_2 = R_C + \frac{l}{2} \sin(\alpha) = R_0 + \frac{\delta}{2} \cos(\alpha) + \frac{l}{2} \sin(\alpha)$$

Разница R_1 и R_2 будет равна:

$$R_2 - R_1 = l \sin(\alpha)$$

Определим как выражается R_C через R_1 и R_2 :

$$R_C = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

Как видно, равенство (8) не зависит от угла α .

Теперь определим зависимость R_3 и R_4 от угла α (рис. 2):

$$R_3 = R_1 + h \cdot \cos(\alpha) + l \cdot \sin(\alpha) = R_0 + (h + \frac{\delta}{2}) \cos(\alpha) +$$

$$\frac{l}{2} \sin(\alpha) R_4 = R_1 + h \cdot \cos(\alpha) = R_0 + (h + \frac{\delta}{2}) \cos(\alpha) - \frac{l}{2} \sin(\alpha)$$

Теперь определим как от угла α зависят длины окружностей, которые являются линиями пересечения активной поверхности магнитопровода с боковыми. Построим плоскости, перпендикулярные оси вращения ротора и проходящие через точки 1 и 2 (рис. 5).

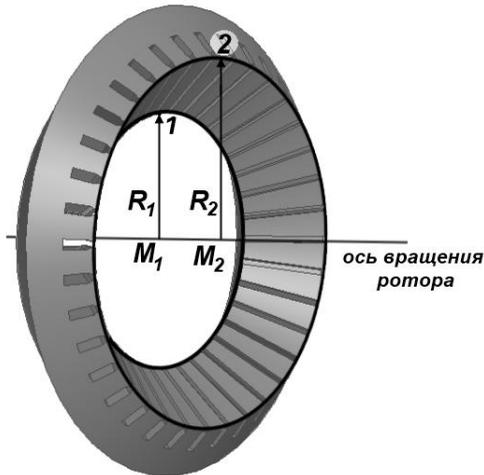


Рисунок 5 – К определению длин L_1 и L_2

Точки пересечения этих плоскостей с осью вращения ротора обозначим M_1 и M_2 соответственно. В одной из построенных плоскостей проведем окружность с центром в точке M_1 радиусом R_1 и проходящую через точку 1 (см. рис. 2, рис. 4, рис. 5), а в другой плоскости проведем окружность с центром в

точке M_2 радиусом R_2 и проходящую через точку 2 (рис. 2, 4, 5). Обозначим длины этих окружностей как L_1 и L_2 соответственно. Найдем зависимость L_1 и L_2 от угла α .

В общем виде длина L окружности с радиусом R вычисляется по формуле:

$$L = 2\pi R$$

Тогда для L_1 и L_2 получим:

$$L_1 = 2\pi R_1 = 2\pi(R_0 + \frac{\delta}{2} \cos(\alpha) - \frac{l}{2} \sin(\alpha))$$

$$L_2 = 2\pi R_2 = 2\pi(R_0 + \frac{\delta}{2} \cos(\alpha) + \frac{l}{2} \sin(\alpha))$$

Для окружности с центром на оси вращения ротора с радиусом R_C длина окружности L_C будет равна:

$$L_C = \frac{L_1 + L_2}{2} = 2\pi(R_0 + \frac{\delta}{2} \cos(\alpha))$$

Таким образом, мы установили зависимость параметров ЭМ от угла наклона воздушного зазора к оси вращения ротора.

ЭКВИВАЛЕНТНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С КОНИЧЕСКИМ РОТОРОМ

А.С. Князев

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

Любая электрическая машина (ЭМ) имеет определённые размеры и форму. Основные размеры и форма ЭМ В определяются формой и размерами магнитопровода статора и магнитопровода ротора.

При проектировании ЭМ следует выбирать вид конструктивного исполнения в зависимости не только от мощности, но и от предназначения, а также условий эксплуатации ЭМ. За долгое время производства и эксплуатации ЭМ большинство из них имело цилиндрическое исполнение. Поэтому именно для цилиндрических ЭМ накоплен самый большой опыт по проектированию и эксплуатации. Однако, цилиндрическая конструкция ЭМ имеет свои особенности и не всегда является самой оптимальной.

Рассмотрим другие возможные варианты конструктивного исполнения ЭМ.

В [1] рассмотрены ЭМ с коническим ротором, частным случаем которых могут быть радиальные [2] и аксиальные [3, 4] электрические машины.

В настоящей работе будем рассматривать только нормальное геометрическое преобразование [1].

Рассмотрим эквивалентные преобразования только для таких ЭМ, у которых активная и тыльная поверхности перпендикулярны боковым.

Процесс геометрического преобразования рассматривается индивидуально для каждого магнитопровода ЭМ. При выполнении преобразования наличие пазов не учитывается, то есть весь процесс геометрического преобразования касается только тела, ограниченного активной, тыльной и боковыми поверхностями магнитопровода. После преобразования, выполненного по определённым правилам, на магнитопроводе эквивалентной ЭМпазы «вырезаются» заново, причём их количество и параметры– ширина, высота, форма и угол скоса должны быть точно такими же, как и в соответствующем магнитопроводе исходной ЭМ.

Рассмотрим ЭМ, у которой угол наклона воздушного зазора к оси вращения ротора равен α , а величина воздушного зазора равна δ (рис. 1 в [1]).

Построим плоскость, проходящую через ось вращения ротора и прямую, которая пересекает ось вращения ротора под углом α и проходит через точку O . В этом случае сечение магнитопровода будет иметь вид, представленный на рис. 1.

Линией пересечения построенной плоскости с активной поверхностью магнитопровода будет являться отрезок 1-2. Середину этого отрезка обозначим точкой C . Если в построенной плоскости провести прямую, проходящую через точку C и перпендикулярную отрезку 1-2, то она пересечёт прямую, которая проходит через середину воздушного зазора и пересекает ось вращения ротора под углом α , в точке O . Для рассматриваемого

сечения точка O будет являться центром геометрического преобразования магнитопроводов ЭМ.

Построим плоскость, перпендикулярную оси вращения ротора и проходящую через точку O . В этой плоскости проведем окружность, имеющую центр на оси вращения ротора и проходящую через точку O . Построенную окружность назовём «эталонной». Для исходной ЭМ эквивалентное преобразование выполняется относительно эталонной окружности, которая сохраняет своё положение и размер при любом значении α , поэтому радиус эталонной окружности R_0 является постоянной величиной для рассматриваемой ЭМ, т.е. $R_0 = const$.

Задача преобразования ЭМ может решаться только в том случае, когда у исходной ЭМ известны параметры α , δ , R_0 (рис. 2 в [1]), а так же известна длина активной зоны и высота магнитопровода статора (соответственно l_{CT} , h_{CT}) и магнитопровода ротора (соответственно l_P , h_P). В дальнейшем будем предполагать, что длина активной зоны магнитопроводов статора и ротора одинаковы, т.е. $l_{CT} = l_P = l$.

Рассмотрим один из магнитопроводов исходной ЭМ. При известных параметрах α , δ , R_0 , l , h расстояния R_C , R_1 , R_2 , R_3 и R_4 (рис. 1) могут быть найдены из следующих уравнений:

$$R_C = R_0 + \frac{\delta}{2} \cos(\alpha) \quad (1)$$

$$R_1 = R_0 + \frac{\delta}{2} \cos(\alpha) - \frac{l}{2} \sin(\alpha) \quad (2)$$

$$R_2 = R_0 + \frac{\delta}{2} \cos(\alpha) + \frac{l}{2} \sin(\alpha) \quad (3)$$

$$R_3 = R_0 + (h + \frac{\delta}{2}) \cos(\alpha) + \frac{l}{2} \sin(\alpha) \quad (4)$$

$$R_4 = R_0 + (h + \frac{\delta}{2}) \cos(\alpha) - \frac{l}{2} \sin(\alpha) \quad (5)$$

Уравнения (1-5) представлены только для магнитопровода, имеющего угол наклона воздушного зазора к оси вращения ротора, равный α . Если под рассмотренным магнитопроводом подразумевать магнитопровод статора, то для магнитопровода ротора угол наклона воздушного зазора к оси вращения ротора будет равен $\alpha + 180^\circ$ (рис. 2).

Для одной и той же ЭМ каждый магнитопровод (статора и ротора) имеет свои размеры R_1 , R_2 , R_3 и R_4 , а угол α для магнитопровода статора и ротора отличается на 180° .

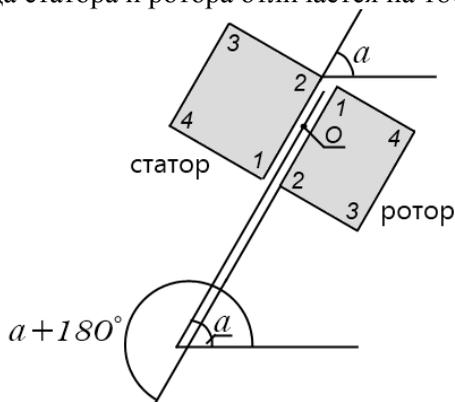


Рисунок 2 – К определению соответствующих точек на магнитопроводах статора и ротора при составлении уравнений

С учётом этих замечаний уравнения (1-5) справедливы и для магнитопровода статора, и для магнитопровода ротора рассматриваемой ЭМ.

Определим правила перехода от исходной ЭМ к эквивалентной, то есть установим правила эквивалентного преобразования ЭМ при нормальном геометрическом преобразовании магнитопроводов статора и ротора исходной ЭМ.

Рассмотрим соответствующие магнитопроводы двух ЭМ, имеющих разное значение угла наклона воздушного зазора к оси вращения ротора (рис. 3).

На рис. 3 у исходной ЭМ (под номером 1) угол наклона воздушного зазора к оси вращения ротора равен α_1 . Требуется определить параметры эквивалентной модели (под номером 2), если она имеет угол наклона воздушного зазора к оси вращения ротора равный α_2 .

При изменении значения угла наклона воздушного зазора к оси вращения ротора точкам 1, 2, 3 и 4 исходной ЭМ (на рис. 3 под номером 1), будут соответствовать точки 1', 2', 3' и 4' эквивалентной ЭМ (на рис. 3 под номером 2). Для исходной ЭМ

расстояния R_C, R_1, R_2, R_3 и R_4 будут обозначаться без штриха, а для эквивалентной – со штрихом (R'_C, R'_1, R'_2, R'_3 и R'_4 соответственно).

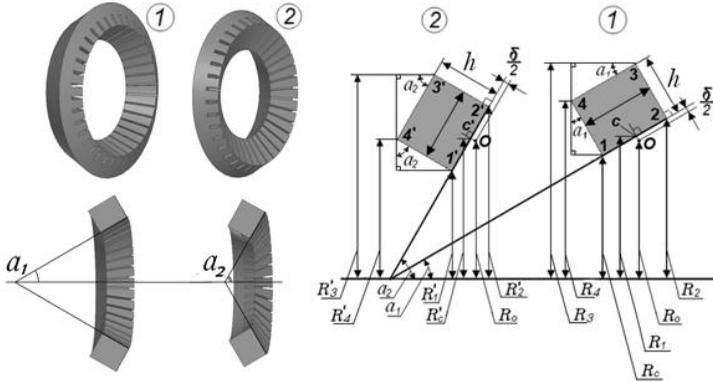


Рисунок 3 – Соответствующие магнитопроводы двух ЭМ с коническим ротором, имеющих разные углы наклона воздушного зазора к оси вращения ротора

Для эквивалентной ЭМ угол между активной поверхностью магнитопровода и осью вращения ротора будет равен α_2 , угол между боковой поверхностью магнитопровода и осью вращения ротора будет равен $90^\circ - \alpha_2$.

Определим расстояния R'_C, R'_1, R'_2, R'_3 и R'_4 при изменении угла наклона воздушного зазора с α_1 на α_2 :

$$R'_C = R_0 + \frac{\delta}{2} \cos(\alpha_2) \quad (6)$$

$$R'_1 = R_0 + \frac{\delta}{2} \cos(\alpha_2) - \frac{l}{2} \sin(\alpha_2) \quad (7)$$

$$R'_2 = R_0 + \frac{\delta}{2} \cos(\alpha_2) + \frac{l}{2} \sin(\alpha_2) \quad (8)$$

$$R'_3 = R_0 + (h + \frac{\delta}{2}) \cos(\alpha_2) + \frac{l}{2} \sin(\alpha_2) \quad (9)$$

$$R'_4 = R_0 + (h + \frac{\delta}{2}) \cos(\alpha_2) - \frac{l}{2} \sin(\alpha_2) \quad (10)$$

Определим насколько отличаются параметры R_C, R_1, R_2, R_3 и R_4 до и после эквивалентного преобразования:

$$R'_C - R_C = \frac{\delta}{2} (\cos(\alpha_2) - \cos(\alpha_1)) \quad (11)$$

$$R'_1 - R_1 = \frac{l}{2}(\sin(\alpha_2) - \sin(\alpha_1)) + \frac{\delta}{2}(\cos(\alpha_2) - \cos(\alpha_1)) \quad (12)$$

$$R'_2 - R_2 = \frac{l}{2}(\sin(\alpha_2) + \sin(\alpha_1)) + \frac{\delta}{2}(\cos(\alpha_2) - \cos(\alpha_1)) \quad (13)$$

$$R'_3 - R_3 = (h + \frac{\delta}{2})(\cos(\alpha_2) - \cos(\alpha_1)) + \frac{l}{2}(\sin(\alpha_2) - \sin(\alpha_1)) \quad (14)$$

$$R'_4 - R_4 = (h + \frac{\delta}{2})(\cos(\alpha_2) - \cos(\alpha_1)) - \frac{l}{2}(\sin(\alpha_2) - \sin(\alpha_1)) \quad (15)$$

Уравнения (6-10) позволяют определить соответствующие размеры эквивалентной ЭМ после выполнения эквивалентного преобразования.

Уравнения (11-15) позволяют определить изменение соответствующих размеров эквивалентной ЭМ по сравнению с размерами исходной ЭМ после выполнения эквивалентного преобразования.

Таким образом, приведенные уравнения позволяют выполнить эквивалентное преобразование ЭМ, то есть однозначным образом определить форму и размеры магнитопроводов эквивалентной ЭМ для исходной, параметры которой известны.

Литература

1. Кашин А.Я., Князев А.С. Радиальные и аксиальные электрические машины, как частный случай электрических машин с коническим ротором. Основные определения. / Материалы седьмой Межд. научн. конф. ТТС-15. – Краснодар, 2015. – С. 121-127.

2. Кашин Я.М., Варенов А.Б., Кириллов Г.А. Авиационные приборы и пилотажно-навигационные комплексы. Часть 1. Электрооборудование воздушных судов / под ред. Кашина Я.М. Изд-во: Филиал ВУНЦ ВВС ВВА – Краснодар, 2012. –111 с.

3. Аксиальный индукционный регулятор. Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Сингаевский Н.А., Савченко А.Ю., Шарифуллин С.Р. Патент на изобретение RUS 2168785 06.04.1998.

4. Аксиальный бесконтактный двигатель-генератор. Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Князев А.С., Кашин А.Я., Пудов С.А. Патент на изобретение RUS 2529210 03.10.2013.

КОНСТРУКЦИЯ ИНДУКТОРА МАГНИТОТУРБОТРОНА

Б.Х. Гайтов (д.т.н., проф.), А.В. Самородов (к.т.н., доц.),
Я.М. Кашин (к.т.н., доц.), Л.Е. Копелевич (к.т.н., доц.),
А.В. Тонконогов (магистрант)
*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический
университет» (г. Краснодар, Россия)*

В последнее время в мире резко активизировались работы над созданием установки, которая позволит осуществлять направленное, строго заданное действие вращающегося магнитного поля (ВМП) на определенный орган человека, группы людей, объединенных теми или иными общими признаками с целью получения необходимого эффекта. Эффект вышеописанного воздействия может заключаться как в лечении определенных недугов, так и в достижении необходимого воздействия на человека или группу людей [4, 6].

В настоящее время в России и в мире известны аппараты, оказывающие электромагнитное воздействие на организм находящегося в определенном (горизонтальном) положении человека (магнитотурботроны – МТТ). Данный вид аппаратов характеризуется воздействием на организм человека ВМП с неизменными, т.е. постоянными параметрами. При сравнительной простоте конструкции данные аппараты зарекомендовали себя с хорошей стороны как профилактическое и лечебное средство некоторых заболеваний.

Однако если учесть, что каждый человек – это индивидуум, принадлежащий к определенной возрастной, расовой и этнической группе, то становится очевидным следующие недостатки указанных аппаратов:

- невозможность индивидуального подхода к человеку в зависимости от его индивидуальных особенностей и состояния в определенные временные интервалы;
- невозможность оказывать локальное влияние на строго определенные органы человека;

- невозможность оказывать влияние ВМП на группу людей, объединенных по определенным признакам (пол, возраст, раса, этнос и т.д.).

Таким образом, на повестке дня стоит вопрос по разработке такого аппарата, который позволит оказывать определенное воздействие на человека (группу людей), находящегося в любом положении, с учетом его индивидуальных особенностей.

На кафедре электротехники и электрических машин КубГТУ предложены ряд установок МТТ (например, рис. 1).

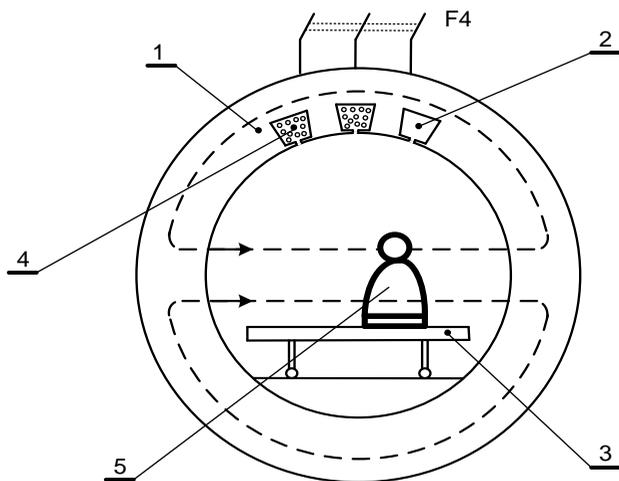


Рисунок 1 – Схема МТТ с цилиндрическим индуктором. 1 – индуктор, 2 – пазы индуктора, 3– неферромагнитная подвижная в строго аксиальном положении каретка, 4 – трехфазная обмотка, 5 – пациент

Такие установки, на наш взгляд, имеют определенные преимущества перед существующими установками для воздействия магнитного поля на организм человека [1-3, 8, 9].

Магнитотурботрон относится к медицинской технике и используется преимущественно в онкологии при лечении злокачественных новообразований, а также других заболеваний не онкологического профиля путем воздействия на организм больного вращающимся магнитным полем.

Магнитотерапевтическая установка (рис. 1) содержит трехфазный преобразователь частоты, цилиндрический индуктор с трехфазной обмоткой, охватывающей рабочую камеру, в которой размещена каретка для пациента, установленная неподвижно в расточке цилиндрического индуктора. Каретка выполнена в виде поверхности для горизонтального размещения пациента.

В работе [1] рассмотрен цилиндрический индуктор магнитотурботрона как обобщенный электромеханический преобразователь энергии (ОЭП).

МТТ работает следующим образом: на обмотку 4 индуктора 1 подается переменное трехфазное напряжение, величина и частота которого зависят от требуемой скорости движения и интенсивности магнитного поля. Возникающее вращающееся магнитное поле проходит через тела пациентов 5 оказывает лечебное воздействие на все органы и системы пациентов. Данная конструкция МТТ при достаточной простоте изготовления обладает более высокой производительностью, чем магнитотерапевтическая установка с отдельно расположенными электромагнитами. Кроме того, использование в качестве индуктора статора трехфазной электрической машины традиционной конструкции значительно улучшает энергетические показатели (КПД, $\cos\varphi$), повышает производительность установки и уменьшает ее себестоимость в целом.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 13-08-96515 р_юг_а».

Литература

1. Гайтов, Б.Х. Конструкция и особенности математического моделирования аксиального индуктора магнитотурботрона / Гайтов Б.Х., Самородов А.В., Копелевич Л.Е., Кашин Я.М. // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2013. № 1-2. С. 66-69.

2. Ермак, А.А. Магнитотурботрон аксиальной конструкции / Ермак А.А., Самородов А.В., Копелевич М.Л. // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-2. С. 194-195.

3. Гайтов, Б.Х. Магнитотерапевтическая установка / Гайтов Б.Х., Сеницкий С.Д., Гайтова Т.Б., Самородов А.В., Эльму-таз Б.Т. // патент на изобретение RUS 2153368, 31.03.1999.

4. Бахмутский, Н.Г. Влияние вихревого магнитного поля на периферические лимфатические узлы в эксперименте / Бахмутский Н.Г., Бодня В.Н. // Медицинская физика. - 2011. - №4(52). – С.50-57.

5. 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.

6. Порханов, В.А. Сфероидообразование, пролиферативная активность, апоптоз клеток рака лёгкого при воздействии вихревого магнитного поля *in vitro* / В.А. Порханов, Н.Г. Бахмутский, В.Н. Бодня, И.С. Поляков // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки, 2012. – №1. – С. 126-130.

7. Гайтов, Б.Х. Экспериментальные исследования и установление связи между динамическими показателями и переменными параметрами манитотурботрона/Б.Х. Гайтов, А.В. Самородов, С.Р. Шарифуллин, Эль Мутаз Б.Т. // Труды Кубанского государственного технологического университета. 1999. Т. 3. № 1. С. 136-139.

8. Гайтова Т.Б. Разработка конструкции и математическая модель аксиального индуктора магнитотурботрона / Т.Б. Гайтова, Я.М. Кашин, Б.Т. Эльму-таз // Энергоснабжение и водоподготовка. Научно-технический журнал, изд-во ЗАО НПО «Энергоинвест», 2008, № 2 (52). – С. 74-77.

9. Гайтов, Б.Х. Устройство и математическая модель аксиального магнитотурботрона для лечения онкозаболеваний / Б.Х. Гайтов, Л.Е. Копелевич, Я.М. Кашин // Научный мультидисциплинарный журнал. Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2014. № 1. С. 95-102.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОГРУЖНЫХ ВЕНТИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СКВАЖНЫХ НАСОСОВ – ПУТЬ ЭКОНОМИИ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

А.В. Самородов (к.т.н., доц.), Д.А. Кириченко (магистрант),
Р.С. Кравец (магистрант), В.Н. Зуева (магистрантка)
*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический
университет» (г. Краснодар, Россия)*

Вентильный двигатель применяется в составе тех же установок, что и асинхронный двигатель. Но наиболее эффективно вентильный двигатель работает в скважинах со сложными условиями эксплуатации, а именно: с вязкой нефтью, повышенным содержанием механических примесей, нестабильной подачей, в малодебитных скважинах, после гидроразрыва и других способов увеличения добычи нефти.

При использовании вентильного двигателя упрощается технологический регламент вывода скважины на режим.

Конструкция вентильного двигателя аналогична конструкции асинхронного двигателя. Однако вентильный двигатель выполнен на основе пакетов ротора с постоянными магнитами из магнитотвердых спеченных материалов.

В связи с ростом нефтедобычи из скважин с осложненными условиями (большая глубина, высокие температуры пластовой жидкости, высокое содержание газа и механических примесей), ужесточаются требования и, как следствие, возрастает мощность центробежных погружных установок.

Одним из направлений повышения мощности установки и одновременного снижения массогабаритных показателей является увеличение ее частоты вращения. Этим требованиям в полной мере удовлетворяют вентильные двигатели. Одним из перспективных направлений развития погружных двигателей для высоконагруженных насосных установок является внедрение погружных вентильных двигателей [1].

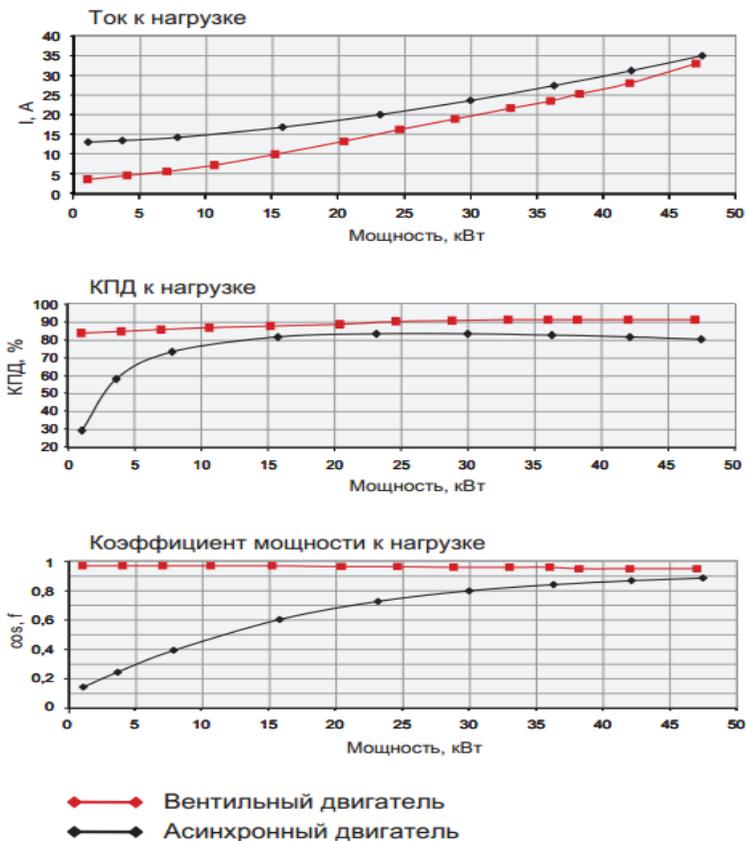


Рисунок 1 – Сравнение асинхронного двигателя и вентильного

На рис. 1 представлены графики сравнения нагрузочной характеристики, КПД и $\cos \varphi$ для вентильного и асинхронного электродвигателей с номинальной мощностью 36 кВт.

Из графиков видно, что вентильный двигатель имеет существенно меньший потребляемый ток и ток холостого хода, более высокий КПД и коэффициент мощности.

Меньшее энергопотребление при одной и той же развиваемой мощности и отсутствие потерь в роторе обеспечивают

более благоприятный тепловой режим работы вентильного электродвигателя по сравнению с асинхронным [2].

По нашим предварительным оценкам снижение энергопотребления УЭЦН с вентильным двигателем по сравнению с УЭЦН с асинхронным двигателем составляет от 10 до 20%.

Снижение энергозатрат [3-6] и, как следствие, снижение стоимости добычи и перекачки нефти, возможно, прежде всего, внедрением на участках нефтедобычи станций управления вентильными двигателями на основе преобразователей частоты, а так же нового энергосберегающего насосного оборудования, а так же применение альтернативных технологий выработки энергии.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 13-08-96515 р_юг_а».

Литература

1. Кузнецов В.А Вентильно-индукторные двигатели / Кузнецов В.А., Кузьмичев В.А – М.: Издательство МЭИ, 2002.
2. Гайтов Б.Х. Расчет электромагнитного поля асинхронного двигателя с переменными параметрами / Гайтов Б.Х., Копелевич Л.Е., Самородов А.В. // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2000. № 2. С. 58-62.
3. Создание перспективных систем автономного энергообеспечения на базе принципиально новых электромеханических преобразователей энергии повышенной надежности / Кашин Я.М., Копелевич Л.Е., Ладенко Н.В., Пахомов Р.А., Самородов А.В. // отчет о НИР № 13-08-96515/14 от 08.10.2014.
4. Самородов А.В. Новые технологии в возобновляемой энергетике // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. № 11-2 (30). С. 63-64.
5. Зеленская Е.А. Ветро-солнечные генераторы для электроснабжения объектов нефтяной отрасли / Гайтов Б.Х., Копелевич Л.Е., Самородов А.В., Кашин Я.М., Ладенко Н.В. // Газовая промышленность. 2014. № 6 (707). С.114-117.

6. Косолапов А.В. Энергетические установки на топливных элементах для жилых комплексов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2014. № 4. С. 122-124.

7. Кашин, Я.М. Вентильные двигатели: аналитический обзор / Я.М. Кашин, В.В. Бондаренко // Сб. научных статей 3-й междунаучно-практ. конф. молодых ученых, посвященной 52-й годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос, Краснодар: «Издательский Дом - Юг», 2013. – С. 84-87.

8. Кашин, Я.М. Сравнительный анализ параметров вентильных и асинхронных двигателей / Я.М. Кашин, С.Р. Кучерук // Материалы VI Международной научной конференции «Технические и технологические системы», Краснодар, филиал ВУНЦ ВВС «ВВА», 2014. – С. 46-51.

ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ШТАНГОВОГО СКВАЖИННОГО НАСОСА

Т.С. Живодров (студент)

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

Длинноходовые цепные приводы различных модификаций имеют ряд преимуществ по сравнению с балансирными станками и центробежными насосами:

- более плавный, по сравнению с балансирными станками, режим работы, способствующий увеличению надёжности и долговечности составных частей;

- улучшенные энергетические показатели, по сравнению с центробежными насосами.

В программно-управляемом электроприводе при малых перемещениях исполнительного органа применяется оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода с постоянным моментом сопротивления и упругим валопроводом при ограничениях первой и третьей производных угловой скорости. Для данной диаграммы справедливы следующие соотношения:

$$t_1 = \sqrt{\frac{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}}; t_2 = \sqrt{\frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}} + \frac{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}{\omega_{\text{доп}}^{(1)}} + \frac{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}}{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}} - 3} \cdot \sqrt{\frac{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}}; T_u = 8t_1 + 2t_2;$$

$$\omega_{\text{max}} = \omega_{\text{доп}}^{(1)} \cdot \left[\sqrt{\frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}} + \frac{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}{\omega_{\text{доп}}^{(1)}} + \frac{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}}{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}} - \sqrt{\frac{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}} \right]; \omega_{\text{max}}^{(2)} = \sqrt{\omega_{\text{доп}}^{(1)} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)}},$$

где t_1 – длительность этапов 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9 и 10, с;

t_2 – длительность этапов 3 и 8, с;

T_u – длительность цикла перемещения, с;

$\varphi_{\text{кон}}$ – конечное и начальное значения положения исполнительного органа электропривода, рад;

$\varphi_{\text{нач}}$

$\omega_{\text{доп}}^{(1)}$ – допустимое значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, рад²;

$\omega_{\text{max}}^{(3)}$ – максимальное значение третьей производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, рад⁴.

Оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительных органов электропривода с постоянным моментом сопротивления и упругим валопроводом при ограничениях первой и третьей производных угловой скорости справедлива при выполнении условия

$$\varphi_{zp1} \leq (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \leq \varphi_{zp2},$$

$$\text{где } \varphi_{zp1} = 8 \cdot \frac{[\omega_{\text{доп}}^{(1)}]^2}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}; \quad \varphi_{zp2} = \omega_{\text{доп}} \cdot \left[\frac{\omega_{\text{доп}}}{\omega_{\text{доп}}^{(1)}} + 2 \cdot \sqrt{\frac{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}} \right].$$

По данной диаграмме исполнительный орган электропривода разгоняется за пять этапов, затем тормозится за пять этапов. После паузы, необходимой для загрузки/выгрузки груза, алгоритм перемещения повторяется в обратном направлении.

При больших перемещениях исполнительного органа электропривода применяется оптимальная по быстродействию

диаграмма перемещения исполнительных органов электропривода с постоянным моментом сопротивления и упругим валопроводом при ограничениях угловой скорости и её первой и третьей производных. Соотношения, справедливые для данной диаграммы приведены ниже.

$$t_2 = \frac{\omega_{доп}}{\omega_{доп}^{(1)}} - 2 \cdot \sqrt{\frac{\omega_{доп}^{(1)}}{\omega_{макс}^{(3)}}}; t_3 = \frac{\varphi_{кон} - \varphi_{нач}}{\omega_{доп}} - \frac{\omega_{доп}}{\omega_{доп}^{(1)}} - 2 \cdot \sqrt{\frac{\omega_{доп}^{(1)}}{\omega_{макс}^{(3)}}}.$$

По данной диаграмме исполнительный орган электропривода разгоняется за пять этапов, затем движется в установившемся режиме и тормозится за пять этапов. После паузы, необходимой для загрузки/выгрузки груза, алгоритм перемещения повторяется в обратном направлении.

Якорная цепь электропривода переменного тока при малых перемещениях его исполнительного органа за цикл потребляет электроэнергию

$$W = gm_{тр} \cdot (s_{кон} - s_{нач}) + \frac{4}{3} \cdot \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{ZM_{12}} \cdot \sqrt{\left[\frac{4}{9} \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{(L_2 + M_2)^2}{M_{12}^2} + 1 \right]} \cdot (s_{кон} - s_{нач}) \cdot g \cdot RK,$$

$$\text{где } K = \left| (m_0 + m_{тр} - m_{тр}) \cdot \sqrt{\frac{g}{a_{доп}}} + \left(\frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} + m_0 + m_{тр} + m_{тр} \right) \cdot \sqrt{\frac{a_{доп}}{g}} \right| + \left| (m_0 + m_{тр} - m_{тр}) \cdot \sqrt{\frac{g}{a_{доп}}} - \left(\frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} + m_0 + m_{тр} + m_{тр} \right) \cdot \sqrt{\frac{a_{доп}}{g}} \right| + \left| (m_0 - m_{тр}) \cdot \sqrt{\frac{g}{a_{доп}}} + \left(\frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} + m_0 + m_{тр} \right) \cdot \sqrt{\frac{a_{доп}}{g}} \right| + \left| (m_0 - m_{тр}) \cdot \sqrt{\frac{g}{a_{доп}}} - \left(\frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} + m_0 + m_{тр} \right) \cdot \sqrt{\frac{a_{доп}}{g}} \right|.$$

Якорная цепь электропривода переменного тока при больших перемещениях его исполнительного органа за цикл потребляет электроэнергию

$$\begin{aligned}
W = & gm_{zp} \cdot (s_{кон} - s_{нач}) + \\
& + \frac{4}{3} \cdot \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{ZM_{12}} \cdot \left[\frac{4}{9} \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{(L_2 - M_2)^2}{M_{12}^2} + 1 \right]^{0,5} \times \\
& \times R \cdot \left\{ \left| g \cdot (m_0 + m_{zp} - m_{np}) + \left[\frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} + (m_0 + m_{zp} + m_{np}) \right] \cdot a_{\partial on} \right| \cdot \frac{v_{\partial on}}{a_{\partial on}} + \right. \\
& + \left| g \cdot (m_0 + m_{zp} - m_{np}) \right| \cdot \left(\frac{s_{кон} - s_{нач}}{v_{\partial on}} - \frac{v_{\partial on}}{a_{\partial on}} \right) + \\
& + \left| g \cdot (m_0 + m_{zp} - m_{np}) - \left[\frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} + (m_0 + m_{zp} + m_{np}) \right] \cdot a_{\partial on} \right| \cdot \frac{v_{\partial on}}{a_{\partial on}} + \\
& + \left| g \cdot (m_0 - m_{np}) - \left[\frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} + (m_0 + m_{np}) \right] \cdot a_{\partial on} \right| \cdot \frac{v_{\partial on}}{a_{\partial on}} + \\
& + \left| g \cdot (m_0 - m_{np}) \right| \cdot \left(\frac{s_{кон} - s_{нач}}{v_{\partial on}} - \frac{v_{\partial on}}{a_{\partial on}} \right) + \\
& + \left. \left| g \cdot (m_0 - m_{np}) + \left[\frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} + (m_0 + m_{np}) \right] \cdot a_{\partial on} \right| \cdot \frac{v_{\partial on}}{a_{\partial on}} \right\}.
\end{aligned}$$

При синтезе системы автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода штанговых скважинных насосов необходимо учесть, что невозможно измерить скорость и положение исполнительного органа электропривода. Поэтому разработаны датчики косвенного измерения этих параметров. Структурная схема системы управления электропривода штанговых скважинных насосов приведена на рис. 1. Передаточные функции блоков, представленных на рисунке:

$$\begin{aligned}
W_{pm}(p) &= \beta_{pm} \cdot \frac{\tau_{pm} p + 1}{\tau_{pm} p}; & W_{ky}(p) &= \frac{C_e}{\beta_{pm}} \cdot \frac{\tau_{pm} p}{\tau_{pm} p + 1} \cdot \frac{1}{K_n}; \\
W_{pc}(p) &= \beta_{pc} \cdot \frac{\tau_{pc} p + 1}{\tau_{pc} p}; & W_{ккс}(p) &= \frac{T_{\kappa} p + 1}{\tau_{\kappa} p + 1};
\end{aligned}$$

$$W_c(p) = \frac{\tau_c p + K_c}{T_\kappa p + 1};$$

$$W_{pn}(p) = K_{pn};$$

$$W_{\phi\kappa c}(p) = \frac{1}{(T_\kappa p + 1) \cdot (T_2^2 p^2 + T_1 p + 1)}; \quad W_{\phi\kappa n}(p) = \frac{1}{T_\phi p + 1}.$$

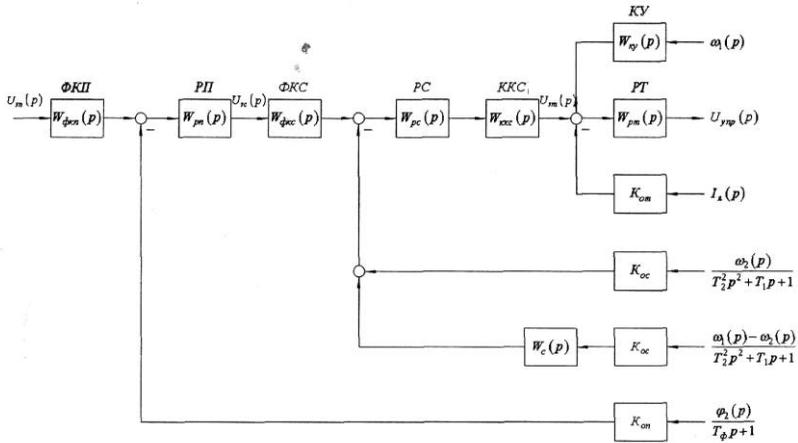


Рисунок 1

Применение программно-управляемого электропривода для штангового скважинного насоса позволяет увеличить преимущества таких нефтедобывающих устройств по сравнению со всеми существующими.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

А.Ю. Луценко (студент)

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

В последние годы в России уделяется большое внимание теоретическим и практическим вопросам энергосбережения. Это связано в первую очередь с тем, что удельные затраты энергии на единицу стоимости валового внутреннего продукта (ВВП) и энергетическая составляющая себестоимости продукции в России выше, чем в других развитых странах. Так как электроприводы потребляют около 70 % вырабатываемой электроэнергии, то наиболее существенная экономия достигается при использовании регулируемых электроприводов постоянного и переменного тока, обеспечивающих минимальное потребление электроэнергии при выполнении необходимых технологических процессов [1].

В настоящей статье изложены вопросы, посвященные разработке управления позиционными электроприводами постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления.

Математическая модель силовой части позиционного электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} U(t) &= C_e \cdot \omega(t) + R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}(t); \\ C_{\text{м}} \cdot I_{\text{я}}(t) &= M_{\text{с0}} + K_{\text{с}} \cdot \omega(t) + J \cdot \omega^{(1)}(t); \\ \varphi^{(1)}(t) &= \omega(t), \end{aligned} \right\}$$

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;
- $M_{со}$ – постоянный момент сопротивления электропривода, Н·м;
- K_c – коэффициент пропорциональности между скоростью и моментом сопротивления электропривода, Н·м·с/рад;
- C_e – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью исполнительного органа электропривода и ЭДС электродвигателя, В·с/рад;
- $R_{я}$ – сопротивление якорной цепи электродвигателя, Ом;
- C_m – коэффициент пропорциональности между током и электромагнитным моментом электродвигателя, В·с;
- J – момент инерции электропривода, кг·м².

В работе [2] рассмотрены три энергосберегающие диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления: без ограничений контролируемых координат электропривода; с ограничением максимального значения тока якорной цепи электродвигателя; с ограничениями максимального и минимального значений тока якорной цепи электродвигателя. В работе [3] рассмотрены три энергосберегающие диаграммы для больших перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления: с ограничением скорости электропривода; с ограничениями максимального значения тока якорной цепи электродвигателя и скорости электропривода; с ограничениями максимального и минимального значений тока якорной цепи электродвигателя и скорости электропривода. В [2] и [3] определены аналитические зависимости координат электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления при его движении в соответствии с энергосберегающими диаграммами перемещения исполнительного органа электро-

привода, а также установлены области существования для каждой из энергосберегающих диаграмм перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления.

Для представленных в работах [2] и [3] энергосберегающих диаграмм перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления разработаны устройства, формирующие их.

В [4] синтезирована система автоматического регулирования (САР) положения исполнительного органа электропривода с зависящим от скорости моментом сопротивления. Предлагаемая САР положения исполнительного органа электропривода с зависящим от скорости моментом сопротивления обеспечивает предельное быстроедействие контуров тока, скорости и положения.

Реализация разработанного управления позиционными электроприводами постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления приведет к энергосбережению.

Литература

1. Добробаба Ю.П., Луценко А.Ю. Управление энергосберегающими позиционными электроприводами с зависящим от скорости моментом сопротивления: монография – Краснодар: Изд. ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2015. – 108 с.

2. Добробаба Ю.П., Луценко А.Ю. Разработка энергосберегающих диаграмм для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №10(104). – IDA [article ID]: 1041410119. – Режим доступа: <http://eg.kubagro.ru/2014/10/pdf/119.pdf>.

3. Добробаба Ю.П., Луценко А.Ю. Разработка энергосберегающих диаграмм для больших перемещений исполни-

тельного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – №101(105). – IDA [article ID]: 1051501034. – Режим доступа: <http://eg.kubagro.ru/2015/01/pdf/34.pdf>.

4. Дობробаба Ю.П., Луценко А.Ю. Синтез системы автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода с зависящим от скорости моментом сопротивления // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №10(104). – IDA [article ID]: 1041410120. – Режим доступа: <http://eg.kubagro.ru/2014/10/pdf/120.pdf>.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЗАВИСЯЩИМ ОТ СКОРОСТИ МОМЕНТОМ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Ю.П. Дობробаба (к.т.н., доц.), В.А. Махова (студентка)
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

В монографии [1] представлена система автоматического регулирования (САР) положения исполнительного органа (ИО) электропривода (ЭП) постоянного тока (ПТ) с постоянным моментом сопротивления. В статье [2] синтезирована САР положения ИО ЭП ПТ с зависящим от скорости моментом сопротивления. Передаточные функции этих систем по каналу управления «задающее напряжение контура положения – угла поворота ИО ЭП» соответствуют эталонной передаточной функции четвертого порядка с постоянной времени T_{μ} , то есть система явля-

ется четыреждыинерционной. Здесь T_{μ} некомпенсированная постоянная времени системы.

В монографии [1] при разработке особо точного позиционного ЭП ПТ на основе четырежды инерционной САР положения ИО ЭП ПТ с постоянным сопротивлением потребовалось формировать оптимальные по быстродействию диаграммы перемещения ИО ЭП для систем четвертого порядка.

В статьях [3÷5] разработаны соответственно трехконтурная, двухконтурная и одноконтурная САР положения ИО ЭП ПТ с постоянным моментом сопротивления. Передаточные функции этих систем по каналу управления «задающее напряжения контура положения - угол поворота ИО ЭП» соответствуют эталонной передаточной функции третьего порядка с постоянной времени T_{μ} , то эти систему являются триждыинерционными.

В данной работе представлены результаты синтеза триждыинерционных САР положения ИО ЭП ПТ с зависящим от скорости моментом сопротивления.

Триждыинерционная трехконтурная САР положения ИО ЭП ПТ с зависящим от скорости моментом сопротивления содержит: внутренний контур тока; средний контур угловой скорости ИО ЭП; внешний контур положения ИО ЭП. Внутренний контур тока оснащен пропорционально-интегральным регулятором и имеет отрицательную обратную связь по току. Средний контур угловой скорости ИО ЭП оснащен пропорционально-интегральным регулятором и имеет отрицательные обратные связи по угловой скорости ИО ЭП и по угловому ускорению ИО ЭП. Внешний контур положения ИО ЭП оснащен пропорциональным регулятором и имеет отрицательные обратные связи по углу поворота ИО ЭП, по угловой скорости ИО ЭП и по угловому ускорению ИО ЭП.

Триждыинерционная двухконтурная САР положения ИО ЭП ПТ с зависящим от скорости моментом сопротивления содержит: внутренний контур угловой скорости ИО ЭП; внеш-

ний контур положения ИО ЭП. Внутренний контур угловой скорости оснащен пропорционально-интегральным регулятором и имеет отрицательные обратные связи по угловой скорости ИО ЭП и по угловому ускорению ИО ЭП. Внешний контур положения ИО ЭП оснащен пропорциональным регулятором и имеет отрицательные обратные связи по углу поворота ИО ЭП, по угловой скорости ИО ЭП и по угловому ускорения ИО ЭП.

Триждыинерциальная одноконтурная САР положения ИО ЭП ПТ с зависящим от скорости моментом сопротивления содержит один контур положения ИО ЭП. Контур положения ИО ЭП оснащен пропорционально-интегральным регулятором и имеет отрицательные обратные связи по углу поворота ИО ЭП, по угловой скорости ИО ЭП и по угловому ускорения ИО ЭП.

Во всех предложенных САР положения ИО ЭП ПТ с зависящим от скорости моментом сопротивления используется устройство, компенсирующее влияние внутренней отрицательной отработкой связи по ЭДС двигателя.

Передаточные функции разработанных систем по каналу управления «задающее напряжения контура положения - угол поворота ИО ЭП» соответствуют эталонной передаточной функции третьего порядка с постоянной времени T_{μ} .

При разработке особо точного позиционного ЭП ПТ на основе триждыинерциальных САР положения по ЭП ПТ с зависящим от скорости моментом сопротивления целесообразно использовать типовые оптимальные по быстродействию диаграммы перемещения ИО ЭП для систем третьего порядка.

Триждыинерциальные САР положения ИО ЭП ПТ с зависящим от скорости моментом сопротивления обеспечивают с максимально возможной точностью отработку не только типовых оптимальных по быстродействию диаграмм перемещения ИО ЭП, но и типовых оптимальных по минимуму потребляемой электроэнергии диаграмм перемещения ИО ЭП. Это позволит использовать существующие устройства для формирования заданных диаграмм.

Данные разработки без существенных проблем применимы для электроприводов с частотными преобразователями и асинхронными двигателями при их векторном управлении.

Литература

1. Добробаба Ю.П.,Хорцев А.Л. Особо точный позиционный электропривод постоянного тока. – Монография. Краснодар, издательство КубГТУ – 2014. 104 с.

2. Добробаба Ю.П., Луценко А.Ю. Синтез системы автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода с зависящим от скорости моментом сопротивления // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №10(104). – IDA [articleID]: 1041410120. – Режим доступа: <http://eg.kubagro.ru/2014/10/pdf/120.pdf>.

3. Добробаба Ю.П., Махова В.А., Виноградова И.Н.,одноконтурная система автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода постоянного тока– Научные труды КубГТУ, №5, 2015 год. URL: <http://ntk/kubstu/ru/file/419>.

4. Добробаба Ю.П., Махова В.А., Миронюк С.Г., Трехконтурная система автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода постоянного тока – Научные труды КубГТУ, №5, 2015 год. URL: <http://ntk/kubstu/ru/file/420>.

5. Добробаба Ю.П., Махова В.А.,Спичак Д.С. двухконтурная система автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода постоянного тока – Научные труды КубГТУ, №5, 2015 год. URL: <http://ntk/kubstu/ru/file/421>.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИАГРАММА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С ЗАВИСЯЩИМ ОТ СКОРОСТИ МОМЕНТОМ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Ю.П. Добробаба* (к.т.н., доц.), В.А. Махова*, Г.А. Кошкин**
*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический
университет» (г. Краснодар, Россия)
**ООО «Ланит-ЮГ» (г. Краснодар, Россия)

В настоящее время известны энергосберегающие диаграммы, рассмотренные в монографии [1].

Энергосберегающая повышенной эффективности диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления состоит из одного этапа.

На интервале времени $0 \leq t \leq T_{\text{ц}}$ для первой производной угловой скорости, угловой скорости и угла поворота исполнительного органа электропривода соответственно справедливы зависимости от времени:

$$\begin{aligned} \omega^{(1)}(t) &= 60 \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \cdot \left(\frac{t}{T_{\text{ц}}^3} - 3 \cdot \frac{t^2}{T_{\text{ц}}^4} + 2 \cdot \frac{t^3}{T_{\text{ц}}^5} \right) \\ &+ \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot \left(1 - 12 \cdot \frac{t}{T_{\text{ц}}} + 30 \cdot \frac{t^2}{T_{\text{ц}}^2} - 20 \cdot \frac{t^3}{T_{\text{ц}}^3} \right); \\ \omega(t) &= 30 \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \cdot \left(\frac{t^2}{T_{\text{ц}}^3} - 2 \cdot \frac{t^3}{T_{\text{ц}}^4} + \frac{t^4}{T_{\text{ц}}^5} \right) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \omega_{\max}^{(1)} \cdot \left(t - 6 \cdot \frac{t^2}{T_{\text{Ц}}} + 10 \cdot \frac{t^3}{T_{\text{Ц}}^2} - 5 \cdot \frac{t^4}{T_{\text{Ц}}^3} \right); \\
\varphi(t) = & \varphi_{\text{нач}} + (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \cdot \left(10 \cdot \frac{t^3}{T_{\text{Ц}}^3} - 15 \frac{t^4}{T_{\text{Ц}}^4} + 6 \frac{t^5}{T_{\text{Ц}}^5} \right) + \\
& + \omega_{\max}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2} \frac{t^2}{T_{\text{Ц}}} - 2 \frac{t^3}{T_{\text{Ц}}^2} + \frac{5}{2} \frac{t^4}{T_{\text{Ц}}^3} - \frac{t^5}{T_{\text{Ц}}^4} \right).
\end{aligned}$$

где $\varphi_{\text{кон}}$ – конечное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, *рад*; $\varphi_{\text{нач}}$ – начальное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, *рад*; $\omega_{\max}^{(1)}$ – максимальное значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{c}$; $T_{\text{Ц}}$ – длительность цикла, *c*;

Определены аналитические зависимости тока якорной цепи электропривода и напряжения, приложенного к якорной цепи электродвигателя, от времени.

Электроненергия, потребляемая якорной цепью за цикл, равна

$$W = \frac{C_{\text{е}}}{C_{\text{м}}} \cdot \left(M_{\text{со}} \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) + \frac{10}{7} K_{\text{с}} \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})^2 \cdot T_{\text{Ц}}^{-1} - \right.$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{1}{21} K_C \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \cdot \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot T_{\text{ц}} + \frac{1}{630} K_C \cdot \left[\omega_{\text{max}}^{(1)} \right]^2 \cdot T_{\text{ц}}^3 \Big\} + \\
& + \frac{R_{\text{я}}}{C_{\text{м}}^2} \cdot \left\{ M_{\text{со}}^2 \cdot T_{\text{ц}} + 2 M_{\text{со}} K_C \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) + \right. \\
& \quad + \frac{10}{7} K_C^2 \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})^2 \cdot T_{\text{ц}}^{-1} - \\
& \quad - \frac{1}{21} K_C^2 \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \cdot \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot T_{\text{ц}} + \frac{1}{630} K_C^2 \cdot \left[\omega_{\text{max}}^{(1)} \right]^2 \cdot T_{\text{ц}}^3 + \\
& \quad + \frac{120}{7} \cdot J^2 \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})^2 \cdot T_{\text{ц}}^{-3} - \frac{12}{7} \cdot J^2 \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \cdot \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot T_{\text{ц}}^{-1} + \\
& \quad \left. + \frac{1}{7} \cdot J^2 \cdot \left[\omega_{\text{max}}^{(1)} \right]^2 \cdot T_{\text{ц}} \right\}.
\end{aligned}$$

C_e – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью исполнительного органа электропривода и ЭДС

электродвигателя, $\frac{B \cdot c}{\text{рад}}$;

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

$M_{\text{со}}$ – момент сопротивления электропривода, не зависящий от скорости, $H \cdot m$;

K_C – коэффициент пропорциональности между скоростью и моментом сопротивления электропривода, $\frac{H \cdot m \cdot c}{\text{рад}}$;

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

J – момент инерции электропривода, кг · м².

Выполнен анализ зависимости электроэнергии, потребляемой якорной цепью электропривода за цикл, и получена система уравнений, из которой определяется электромагнитное максимальное значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega_{\max}^{(1)}$ экстр и экстремальное значение длительности цикла $T_{ц. экстр}^4$, при которых якорная цепь электропривода потребляет минимально возможное значения электроэнергии за цикл.

Литература

1. Добробаба Ю.П., Луценко А.Ю. Управление энерго-сберегающими позиционными электроприводами с зависящим от скорости моментом сопротивления: монография – Краснодар: Изд. ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2015. – 108 с.

СОВРЕМЕННЫЕ КОМПЕНСАТОРЫ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

А.В. Косолапов (к.т.н., доц.), В.Г. Подольный (студент)
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

Коэффициент мощности электроустановок и предприятия в целом имеет важное значение для энергетики страны. Основными потребителями реактивной мощности на предприятии являются асинхронные электродвигатели (около 70% всех нагрузок), трансформаторы (около 20%) и на долю остальных приходится около 10% [1].

В соответствии с известной зависимостью $\cos\varphi=P/S$, его величина означает процентное использование активной мощно-

сти Р, преобразованной в другие виды энергии. Низкий $\cos\varphi$ предполагает при равной активной мощности больший потребляемый ток, чем при высоком $\cos\varphi$, и приводит к вынужденному увеличению сечений проводов для снижения нагрева. Этот процесс увеличения тока в линии неизбежно приводит к увеличению падения напряжения в питающей сети, что неизбежно влияет на работу всего электрооборудования.

Экономике РФ невыгодно такое состояние питающих сетей, приводящее к удорожанию всего энергетического оборудования.

Стандартное значение $\cos\varphi$ принято за 0,95. Однако основные потребители, указанные ранее, не достигают такой величины. Поэтому кроме основных мероприятий, повышающих $\cos\varphi$ (применение современных АД с короткозамкнутым ротором [3]; сокращение режимов работы оборудования в режиме холостого хода; замена недогруженных электродвигателей на другие, для которых эта нагрузка будет равна номинальной, замена асинхронных двигателей на синхронные и др.) необходимо применять компенсирующие устройства КУ.

Основными КУ принято считать шунтовые конденсаторные батареи, синхронные компенсаторы, статические компенсаторы реактивной мощности, шунтирующие реакторы ШР, управляемые реакторы и асинхронизированные турбогенераторы [2].

В нашей работе под КУ будем иметь в виду установки для компенсации индуктивной составляющей переменного тока.

Примеры условных обозначений КУ:

1. КСВБ-50-11 – компенсатор (К), синхронный (С), охлаждение водородное (В), возбуждение бесщеточное (Б) нереверсивное, номинальная мощность 50 (Мвар), номинальное напряжение 11 (кВ);
2. КС2А- 0,66-40 – конденсатор косинусный(К), пропитка синтетическим диэлектриком(С), удвоенной мощности (2), для наружной установки(А), номинальное напряжение 0,66 (кВ), номинальная мощность 40 (Мвар);

3. СТК – 80-40-11 - статический (С), тиристорный (Т), компенсатор (К), номинальная потребляемая мощность 80 (Мвар), номинальная генерируемая мощность 40 (Мвар) при номинальном напряжении 11 (кВ).

На большинстве предприятий с невысокими установленными мощностями используют батареи статических конденсаторов.

Реактивную мощность конденсаторов находят по формуле:

$$Q_K = Q_M - Q_3 ,$$

где Q_M – реактивная мощность в часы максимума активной нагрузки, квар; Q_3 – оптимальная реактивная мощность потребителя, заданная энергоснабжающей организацией в часы максимума активной нагрузки, квар.

В случае, если оптимальная реактивная мощность Q_3 неизвестна, то Q_K находят из выражения:

$$Q_K = P_{MAX} * K_T = \sum P_{\Sigma} * K_T ,$$

где $P_{MAX} = P_{CP}$ – заявленная потребителем активная мощность в часы максимума нагрузки энергосистемы (указывается в договоре на пользование электроэнергией); K_T – коэффициент для определения Q_K (находят по таблице 11.3. [2]).

Тогда реактивные мощности находят по формулам:

$$Q_M = P_{MAX} * \operatorname{tg} \varphi_M ;$$

$$Q_3 = P_{MAX} * \operatorname{tg} \varphi_3 ,$$

где $\operatorname{tg} \varphi_M$ и $\operatorname{tg} \varphi_3$ – фактический и оптимальный $\operatorname{tg} \varphi$ (в этом случае принимают $\cos \varphi_M$ равным $\cos \varphi_{CP}$.

Так как режимы наибольших реактивных нагрузок предприятия и наибольших активных нагрузок энергосистемы могут не совпадать по времени, то при существенных расхождениях в расчете нужно вносить поправки по результатам анализа графика нагрузки. Для выбора оптимальных режимов работы источников реактивной мощности на предприятии и определения условий регулирования их мощности энергоснабжающая организация кроме величины Q_C в режиме наибольшей активной нагрузки задает также допустимые по техническим условиям ве-

личины реактивных мощностей Q_c в режиме наименьших активных нагрузок энергосистемы (ночной минимум) и в послеаварийном режиме [4].

Следует отметить, что статические конденсаторы имеют ряд недостатков: использование питающей сети с высокими гармониками приводит к значительному падению напряжения в проводах. При включении последовательно в сеть с конденсаторами дроссельных катушек для ограничения высших гармонических токов наблюдают снижение величины КПД всего компенсатора до 0,95.

Для потребителей предлагается номенклатурный перечень КУ, в котором наряду с зарубежными производителями (Lovato Electric S.P.A (Италия), широко представлена продукция Серпуховского ОАО «СКЗ «КВАР».

Литература

1. Справочник по проектированию электрических сетей/ под ред. Д.Л. Файбисовича.- 2-е изд, перераб. и доп. – М.: ЭНАС. 2007.-352 с.: ил.

2. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств: Справ. пособие/Г.Г.Рекус. – М.: Высш. шк., 2007. – 709 стр.: ил.

3. Гайтов Б.Х. Расчет электромагнитного поля асинхронного двигателя с переменными параметрами / Б.Х. Гайтов, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов // Известия ВУЗов. Электромеханика. 2000. № 2. С. 58-62.

4. <http://www.forka.ru>.

ОСНОВНОЙ КОМПЛЕКТ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ БЛОКА АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

А.В. Косолапов (к.т.н., доц.), В.В. Крайнюков (студ.)
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический
университет» (г. Краснодар, Россия)

Электроцех является одним из основных структурных подразделений атомной электростанции (АЭС). При эксплуатации электрооборудования АЭС в процессе его обслуживания приходится сталкиваться с постоянным старением, моральным износом и необходимостью поддержания номинальных параметров.

Крупнейшие производители сложного высокотехнологичного оборудования предпочитают идти двумя основными путями поддержания его надежности:

- а) использованием новейших сверхдорогих технологий и материалов;
- б) снижением межсервисных интервалов гарантийного обслуживания.

Современные АЭС, служащие уже более 10 лет, подходят к выработке своего заявленного ресурса. Важность рассматриваемой проблемы подтверждается примерами крупнейших глобальных катастроф как в традиционной электроэнергетике (Саяно-Шушенская ГЭС), так и с АЭС в Чернобыле и с АЭС «Фукусима-1».

Это вынуждает эксплуатационников искать пути и методы как восстановления оборудования с максимально экономичными вариантами, так и постройки новых блоков электростанций

При разработке проектов электростанций ЭС и подстанций ПС необходимо провести основные расчеты с целью проверки работоспособности сетей в нормальных и послеаварийных режимах. Расчеты учитывают параметры генераторов ЭС и основного электротехнического оборудования ЭОПС. ПС нового поколения имеют тенденцию к снижению объемов эксплуатационного и ремонтного обслуживания. Это становится возможным при переходе к работе без постоянного штата персона-

ла и работе по техническому обслуживанию ТО по реальному состоянию оборудования [1].

Современное электрооборудование ПС напряжением 330-750 кВ должно иметь высокую эксплуатационную надежность с автоматизированным управлением из диспетчерского пункта и небольшую протяженность кабельных линий.

В состав основного комплекта ЭОПС обязательно включены трансформаторы Т и автотрансформаторы АТ с минимальными потерями холостого хода ПХХ, короткого замыкания ПКЗ, высокой динамической стойкостью к токам КЗ. Т и АТ оснащаются надежными вводами, устройствами РПН, встроенными интеллектуальными датчиками и контроллерами, системой пожаротушения.

Обязательным становится применение элегазовых выключателей 110-750 кВ и современных разъединителей с улучшенной кинематикой и контактной системой и электродвигательным приводом, имеющими высокую надежность в связи с простой конструкцией.

Необходимо использовать трансформаторы тока ТТ и напряжения ТН, когда ТТ не обеспечивают заданных условий работы РЗА, применяемой автоматизированной системы контроля и учета энергопотребления АСКУЭ и питания измерительных приборов.

Основное оборудование ПС следует оснащать системой мониторинга, включенную в автоматизированную систему управления технологическими процессами АСУ ТП с подсистемой диагностики ее технического состояния [2].

Литература

1. Справочник по проектированию электрических сетей/ под ред. Д.Л. Файбисовича.- 2-е изд, перераб. и доп. – М.: ЭНАС. 2007.-352 с.: ил.
2. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств: Справ. пособие /Г.Г.Рекус. – М.: Высш. шк., 2007. – 709 стр.: ил.

НАПРЯЖЕНИЕ ПРОБОЯ В СВЕЧАХ ЗАЖИГАНИЯ ПРИ РАЗГОНЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

А.М. Квон (к.т.н., доц.), И.Н. Автайкин (к.т.н., доц.)
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический
университет» (г. Краснодар, Россия)

Наиболее важными электрическими характеристиками работы системы зажигания двигателя внутреннего сгорания (ДВС) являются напряжение пробоя, энергия и продолжительность искрового разряда. Данные величины определяются в переходных режимах, при пуске и разгоне. В [1] определена энергия и продолжительность искрового разряда, а в [2] – напряжение пробоя в свечах зажигания при пуске. Таким образом, остается исследовать напряжение пробоя при разгоне ДВС. Напряжение пробоя подчиняется закону Пашена.

$$U_n = f\left(\frac{pd}{T}\right),$$

где p – давление в рабочем цилиндре; d – высота искрового промежутка; T – температура вещества в области искрового промежутка.

Расчеты проведены с использованием номограмм [3] для искровых промежутков 0,9... 1,1 мм, степенях сжатия 8... 10 атм, скоростях вращения 1000...5000 об/мин и углах опережения (УОЗ) 2°...35°. Аппроксимационные формулы, полученные в [3] дают спорные результаты, особенно это проявлялось при определении напряжения пробоя при разгоне. Номограммы позволяют получать напряжения пробоя до 20 кВ (табл. 1).

Таблица 1 – Напряжение пробоя при разгоне

d , мм	0,9			1			1,1		
ε , атм	8	9	10	8	9	10	8	9	10
n , об/мин	Напряжение пробоя, кВ								

1000	18.1	20.4	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
2000	15.7	18.1	19.4	20	>20	>20	>20	>20	>20
3000	15.2	17.3	18.6	19.4	>20	>20	>20	>20	>20
4000	13.4	15.1	15.9	16.9	19.2	20.5	>20	>20	>20
5000	5.7	6.3	6.4	6.6	6.9	7.2	7.7	8.4	8.8

Из табл. 1 видно, что при зазоре 0,9 мм практически все напряжения пробоя укладываются в диапазон до 20 кВ, а при зазоре в 1,1 мм в этот же диапазон входят только напряжения пробоя при скорости вращения коленчатого вала в 5000 об/мин. По этой причине, сложно выполнить полный анализ величины напряжения пробоя для заданных воздушных зазоров 0,9-1,1 мм. Имеющиеся номограммы не предполагали существенного роста искрового промежутка свечей зажигания.

На рис. 1 представлена зависимость напряжения пробоя от скорости вращения для $d = 0,9$ мм и степеней сжатия 8 10 атм. Зависимости получены путем кубической интерполяции табличных данных.

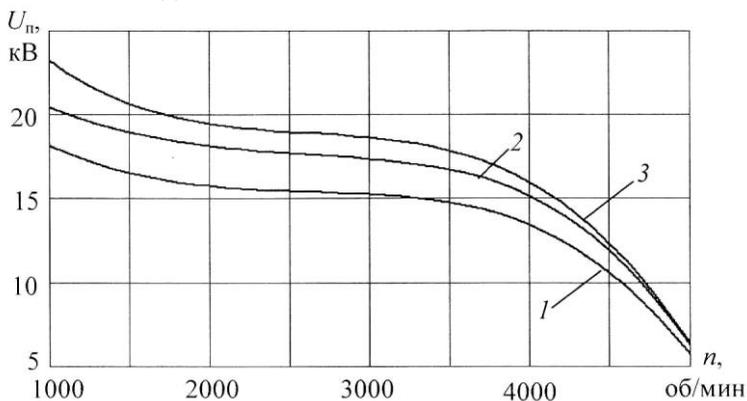


Рисунок 1 – Напряжение пробоя для $d = 0,9$ мм: 1 – степень сжатия 8 атм; 2 – степень сжатия 9 атм; 3 – степень сжатия 10 атм

На рис. 2 представлена зависимость напряжения пробоя от скорости вращения для $\varepsilon = 8$ атм и искровых промежутков 0,9 и 1,0 мм. Для построения аналогичной зависимости при $d = 1,0$ мм не достаточно данных (табл. 1).

Если в процессе пуска ДВС без регулирования УОЗ напряжение пробоя резко растет, то при разгоне с учетом регулирования УОЗ в наиболее вероятной области скоростей вращения 2000...3500 об/мин они находятся в сравнительно узкой полосе 15...20 кВ. Если же взять весь исследуемый диапазон 1000...5000 об/мин, то с ростом скорости наблюдается даже падение напряжения пробоя. В абсолютных цифрах при разгоне напряжения пробоя выше, чем при пуске. Сам процесс разгона более энергоемкий, чем пуск, который может рассматриваться как запуск не нагруженного агрегата. Разгон же, с этой точки зрения, является набросом нагрузки.

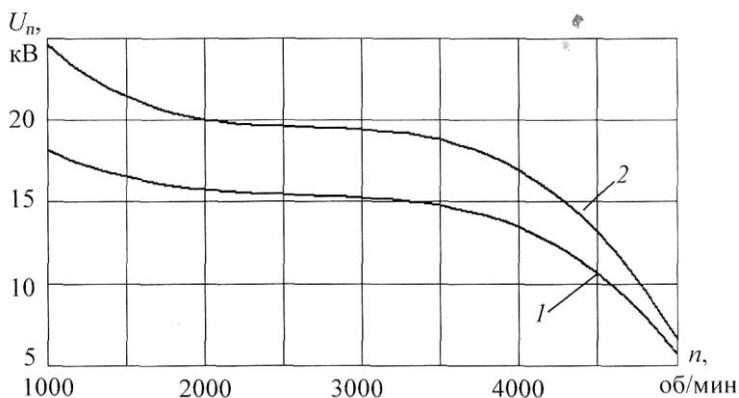


Рисунок 2 - Напряжение пробоя для $\varepsilon = 8$ атм:

1 – искровой промежуток 0,9 мм; 2 – искровой промежуток 1,0 мм

Для решения вопроса энергоэффективности ДВС при неизменных массогабаритных показателях эволюционным путем с точки зрения системы зажигания необходимо увеличить энергию искрового разряда и оптимизировать качество системы управления УОЗ. Вопрос увеличения энергии может быть решен путем увеличения величины искрового промежутка свечи, %то

повысит нагрузку на катушку зажигания и другие элементы силовой части системы зажигания. Не электротехнические пути роста энергии за счет напряжения пробоя – увеличить давление или уменьшить температуру в рабочем цилиндре.

Литература

1. Квон А.М., Автайкин И.Н., Егоров А.С. Энергия и продолжительность искрового разряда в свечах зажигания. / Технические и технологические системы: материалы V Межд. науч.-практ. конф. (10-11 октября 2013) КубГАУ. – Краснодар, 2013.- с.126-129.

2. Квон А.М., Автайкин И.Н., Юрьев Е.К. Напряжение пробоя в свечах зажигания при пуске ДВС. Технические и технологические системы. Материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. ТТС-14. Сб. материалов. – Краснодар: ФВУНЦ ВВС ВВА, 2014 г. – С. 100-104.

3. Набоких В.А. Аппараты систем зажигания: справочник: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений/ В.А. Набоких. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 320 с.

СЕКЦИЯ 2.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-
УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

К ВОПРОСУ ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ
МНОГОУРОВНЕВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-
УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ЗА СЧЕТ ПОВЫШЕНИЯ
СТЕПЕНИ АВТОМАТИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ РЕСУРСНЫХ
ОГРАНИЧЕНИЙ

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

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

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

Ряд теоретических исследований, связанных с вопросами выбора организационных и системотехнических решений по созданию, развитию автоматизированных систем управления, информационных систем организационного типа и оснащению ими органов управления известны и описаны в литературе. Так, например в [1-4] описаны некоторые подходы к оценке эффективности функционирования иерархических автоматизированных систем специального назначения, а также ряд частных постановок задач и соответствующих методов (научно-методических подходов) по выбору основных организационных и системотехнических решений для различных этапов жизненного цикла указанного класса систем.

Ниже приводится наиболее общая формализация задачи развития (повышения эффективности функционирования) многоуровневых информационно-управляющих систем (МИУС) за счет повышения степени автоматизации функциональных процессов в условиях ресурсных ограничений.

Сущность задачи развития МИУС за счет повышения степени автоматизации функциональных процессов в условиях ресурсных ограничений состоит в следующем:

ДАНО:

1) МИУС представляет собой иерархическую систему, реализующую ряд взаимосвязанных функциональных процессов (ФП) по обработке информации и управлению;

2) Для ряда ФП заданы требования по их комплексной межуровневой автоматизации;

3) Каждый уровень МИУС представляет собой совокупность одноранговых органов управления (ОУ);

4) ОУ предназначены для выполнения заранее заданного перечня функциональных задач (ФЗ), реализующих составные части ФП;

5) ОУ имеют разную степень значимости в МИУС, которая заранее задана (степень значимости ОУ, как правило, определяется уровнем иерархии ОУ в МИУС, а также параметрами реализуемых в ОУ ФП и ФЗ);

6) ОУ, ФП и ФЗ имеют разную степень автоматизации (в простейшем случае степень автоматизации определяется отношением числа реализованных автоматизированных функций, входящих в ОУ, ФП, ФЗ, к требуемому);

7) Степень автоматизации ОУ, ФП, ФЗ определяется характеристиками комплексов средств автоматизации (КСА), находящихся на ОУ (например, в случае отсутствия КСА на ОУ степень автоматизации ОУ, а также всех, выполняемых на нем ФЗ равна нулю);

8) КСА предназначены для автоматизации ОУ, и в зависимости от стадии их жизненного цикла, разделяются на действующие (находящихся на этапе эксплуатации/серийных поставок), разрабатываемые (находящихся на этапе опытно-конструкторской работы), а также перспективные (находящихся на этапе научно-исследовательской работы или аванпроекта);

9) Стоимость и цикл изготовления серийных образцов для действующих КСА заданы;

10) Допустимый ресурс использования (хранения) для действующих КСА (в том числе для КСА, находящихся на снабжении в ОУ, а также для КСА, изготовленных и находящихся на складах или на заводе-изготовителе КСА) задан;

11) Сроки изготовления опытного образца для разрабатываемых КСА заданы;

12) Прогнозные стоимость и цикл изготовления серийных образцов для разрабатываемых КСА заданы;

13) Сроки завершения научно-исследовательской работы или аванпроекта для перспективных КСА заданы;

14) Прогнозные стоимость и цикл изготовления опытных образцов для перспективных КСА заданы;

15) Прогнозные стоимость и цикл изготовления серийных образцов для перспективных КСА заданы;

16) Назначенный ресурс использования для разрабатываемых и перспективных КСА задан;

17) На исходный момент времени ОУ может быть оснащен только действующим КСА из заранее заданных типов;

18) Степень автоматизации ОУ, ФП, ФЗ может быть повышена за счет оснащения (дооснащения) ОУ существующими КСА, разрабатываемыми или перспективными КСА;

19) Требуемая степень автоматизации ФП, а, следовательно, ФЗ и ОУ заранее задана;

20) Для автоматизируемых ФП, а, следовательно для ФЗ, обеспечивающих их реализацию, заданы предельно-допустимые вероятностно-временные характеристики;

21) Известны финансовые средства на поддержание КСА всех типов в требуемом уровне готовности (либо фактические (для действующих КСА), либо прогнозные);

22) Заданы финансовые ограничения на развитие МИУС за счет повышения степени автоматизации ФП, которые определяются допустимыми объемами финансирования, выделяемыми на плановых периодах развития МИУС (например, плановый период – 1 год). При этом, число плановых периодов развития МИУС задано.

НЕОБХОДИМО ОПРЕДЕЛИТЬ: вариант развития МИУС за счет повышения степени автоматизации ФП, обеспечивающий для каждого планового периода либо максимально возможную степень автоматизации ФП с учетом существующих финансовых, ресурсных и производственных ограничений, либо требуемую степень автоматизации ФП (для идеального случая).

Задача решается с учетом следующих условий и ограничений:

- каналы и сети передачи данных удовлетворяют информационным потребностям для реализации ФП и ФЗ;

- объекты управления, которыми должна управлять МИУС, оснащены оборудованием, обеспечивающим их интеграцию в контур управления МИУС.

Сущность выбора варианта развития МИУС за счет повышения степени автоматизации ФП состоит в том, что для каждого планового периода должны быть выбраны системотехнические решения по автоматизации ОУ за счет оснащения (дооснащения) ОУ существующими КСА (оснащение возможно в текущий момент времени), разрабатываемыми (оснащение возможно в будущем) или перспективными КСА (оснащение возможно в будущем) с учетом допустимого (назначенного) ресурса использования КСА в составе МЦУС. При этом, в процессе выборе варианта развития КСА должны быть также учтены требования по комплексной межуровневой автоматизации отдельных ФП (решения отдельных ФЗ).

Приведенная постановка задачи развития МИУС за счет повышения степени автоматизации функциональных процессов в условиях ресурсных ограничений может быть формализована как задача динамической дискретной оптимизации с искомыми булевыми переменными. При этом особенность поставленной задачи состоит в том, что она должна итеративно решаться для каждого планового периода развития МИУС. Для решения данной задачи могут быть применены как известные точные (для небольшой размерности задачи), так и приближенные методы решения.

Литература

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

2. Лясковский В.Л., Алашеев М.А., Вакуленко А.А. и др. Методика выбора состава задач и комплексов средств автоматизации для многоуровневой системы управления РЭС. В журнале «Радиотехника», №10, 2004.

3. Лясковский В.Л., Алашеев М.А., Морозов О.Г., Потапов В.Н. Вопросы создания интегрированных автоматизированных систем организационного управления. В журнале «Инфокоммуникационные технологии», №2, 2007.

4. Лясковский В.Л. Об одном универсальном показателе оценки функциональной эффективности иерархических автоматизированных систем специального назначения. В сборнике трудов по материалам 37 ВНК ВА ВКО, Тверь, 2008.

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНОВ МЕСТНОГО САМОУПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИХ И СЕЛЬСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ

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

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

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

****Закрытое научно-производственное акционерное общество
«Отделение проблем военной экономики и финансов»
(г. Тверь, Россия)*

Основная цель создания информационно-аналитической системы органов местного самоуправления (далее – ИАС ОМС) городских и сельских поселений это увеличить эффективность принимаемых решений путем:

- повышения оперативности (сокращение времени) оценки ситуации в муниципалитете;
- повышения эффективности принятия управленческих решений на основе полных, достоверных и актуальных данных;
- мониторинга и контроля исполнения принятых решений.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать, внедрить и обеспечить сопровождение ИАС ОМС.
2. Реализовать информационную поддержку паспортов городских и сельских поселений.
3. Обеспечить сбор, накопление и актуализацию сведений о физических и юридических лицах городских и сельских поселений.
4. Создать единое информационное пространство данных по городским и сельским поселениям в органах управления области.
5. Обеспечить конфиденциальность сведений и разграничения доступа к ним должностных лиц.
6. Создать и обеспечить функционирование единого информационного центра и центра технической поддержки ИАС ОМС.

Структурная схема возможного варианта реализации ИАС ОМС приведена на рис.1.

К основным автоматизируемым функциям ИАС ОМС относятся:

- 1) Землеустройство:
формирование паспорта территории;
учет земель сельскохозяйственного назначения, а также учет параметров их использования;
ведение сведений по земельным участкам;
ведение сведений по арендаторам земельных участков.
- 2) Коммуникация:
создание типового сайта поселения;

создание специализированного сайта этнографических групп, религиозных групп, деловой активности населения, межличностного общения, покупки/продажи имущества, земельных участков и др.;

обеспечение IP – телевидения и IP-телефонии.

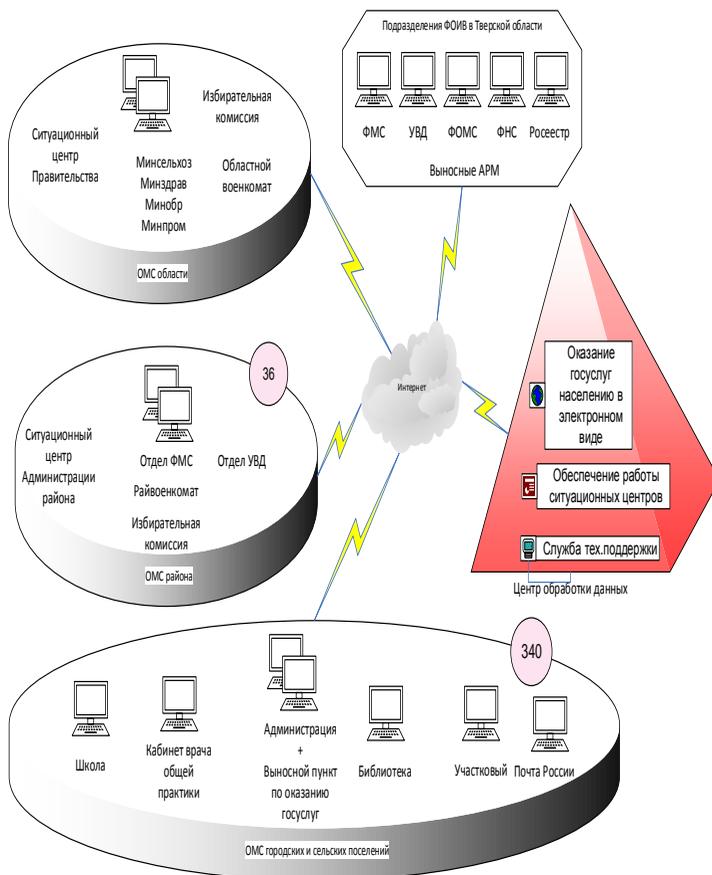


Рисунок 1 – Структурная схема ИАС ОМС (вариант) 3) Развитие территории:

учет и поддержка мероприятий по местным инициативам;

учет избирательного потенциала;
учет кадрового потенциала сельских поселений;
ведение реестра объектов социальной сферы;
ведение реестра муниципального имущества;
учет производственной базы поселения.

4) Работа с населением:

предоставление государственных услуг;
похозяйственный и домовый учет;
выдача справок.

5) Безопасность граждан и государства:

воинский учет;
контроль региональной безопасности;
учет миграционной обстановки в регионе;
предупреждение национальных конфликтов.

6) Жилье:

учет состояния жилья;
учёт плановых и фактических расходов по ЖКХ.

7) Финансы:

учёт казначейских поступлений и их расходования;
учет сбора местных налогов.

8) Информационная поддержка врачей общей практики:

дистанционные консультации;
видеоконференции;
заказ лекарств и расходных материалов;
доступ через Интернет к медицинским информационным

ресурсам.

9) Информационная поддержка школ:

доступ через Интернет к образовательным информационным ресурсам;

обеспечение участия в конкурсах и олимпиадах;
дистанционное обучение;
видеоконференции.

На рис. 2 приведен вариант реализованного интерфейса программного комплекса (ПК) ИАС ОМС для уровня города/сельского поселения.

Реализованный на настоящий момент времени ПК ИАС ОМС включает:

- 1) Сбор первичной информации, в том числе:
 - регистрация жителей поселения;
 - похозяйственный и домовый учет;
 - воинский учет.

- 2) Формирование различных запросов на основе информации, находящейся в базе данных (в том числе, формирование графиков, диаграмм, которые позволяют удобно и наглядно представить аналитическую информацию).

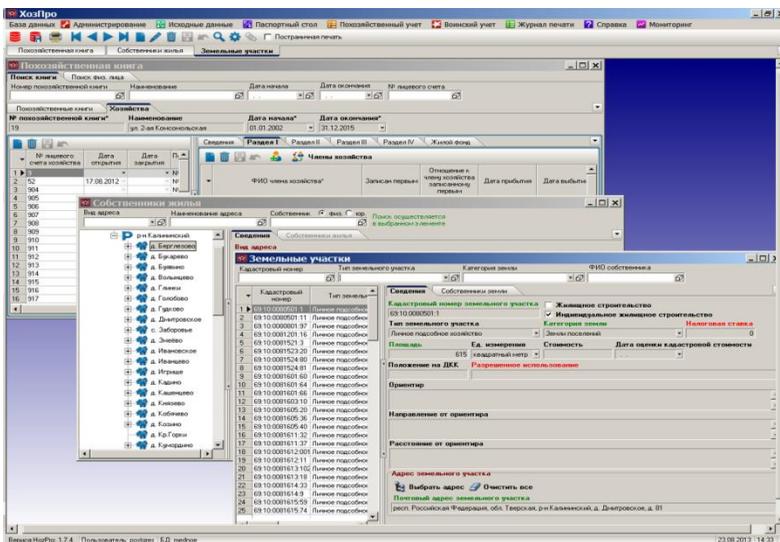


Рисунок 2 – Вариант интерфейса программного комплекса

- 3) Формирование ключевых индикаторов, выявление пороговых значений и предупреждение критических состояний, составление рейтинга органов муниципального управления по

эффективности работы (в том числе, на основе анализа результативности программ/мероприятий/проектов).

4) Отображение информации на карте. Это могут быть муниципальные учреждения, распределенная сеть объектов, которые нужно контролировать (например, социально значимые объекты, стратегические объекты, объекты муниципальной инфраструктуры и т.д.). Информация о планируемых и выполняемых мероприятиях (работы, ремонты, доставка, мероприятия и т.д.) и другая вспомогательная информация.

5) Учет и контроль информации о происходящих в муниципалитете событиях, происшествиях, задачах. Местоположение события отслеживается на карте.

6) Учет всех объектов государственного (муниципального) имущества и операций с ним. Позволяет вовлекать в хозяйственную деятельность неучтенные объекты, оценить объемы неналогового дохода и контролировать исполнение принятых решений и использование объектов государственного (муниципального) имущества по назначению.

7) Учет различных фактографических данных (например, фотоматериалы и документы).

ВЫВОДЫ

Создание и внедрение ИАС ОМС позволит достичь следующих результатов:

- создать единую информационную базу муниципалитета;
- сократить время на сбор отчетности и показателей;
- повысить доходную часть муниципального бюджета;
- обеспечить отображение аналитической информации на интерактивных картах;
- повысить эффективность работы ОМС;
- обеспечить формирование аналитических выборок информации;
- осуществить контроль исполнения поручений и мониторинг ключевых показателей;
- создать муниципальный портал для населения и юридических лиц.

ТЕРМИНАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

Н.Я. Половинчук (к.т.н., проф.), С.В. Иванов (к.т.н.),
В.В. Животиков

Ростовский филиал Московского государственного технического университета гражданской авиации (г. Ростов-на-Дону, Россия)

Рассматривается алгоритм терминально-оптимального управления с прогнозированием, отличающийся от известных тем, что в схеме прогноза используется идентифицируемая по набору измерений модель функционирования объекта. Такой подход позволяет скомпенсировать недостаточность количества итераций в условиях ограниченности вычислительных ресурсов БЦВМ и времени управления и повысить точность выведения объекта в заданную терминальную область. Приведены результаты численных исследований.

ВВЕДЕНИЕ. Одним из направлений совершенствования систем управления высокоманевренными беспилотными ЛА является повышение эффективности их функционирования за счет формирования управления на конечном участке траектории [1]. Однако точность терминальных алгоритмов, традиционно используемых для управления такими аппаратами, снижается вследствие влияния возмущений большого уровня [2]. Снижение точности объясняется неадекватностью используемых в контуре прогноза моделей, их структурной [3-6] неопределенностью и ограниченностью вычислительных ресурсов бортовых эвм (БЦВМ).

Неадекватность моделей функционирования ЛА обуславливает погрешности прогноза, ухудшает точность управления и предопределяет отклонения по трассе от опорных траекторий. Ограничения по техническим вычислительным возможностям существующих БЦВМ не позволяет существенно увеличить частоту замыкания контура обратной связи и количество шагов прогноза. Это не позволяет компенсировать погрешности многошагового процесса управления, как, например, в случаях управления космическим аппаратом многоразового использова-

ния [3, 6] или беспилотным маневрирующим ЛА. Поэтому для повышения точности управления в алгоритмах прогнозирования целесообразно использовать максимально адекватные модели функционирования ЛА. Так как вследствие действия возмущений эти модели могут меняться по маршруту полета и являются априорно неопределенными, то единственным выходом является включение в контур прогнозирования алгоритма идентификации.

Синтез структуры системы управления ЛА. В условиях неопределенности, обусловленной действием различных факторов, система управления (СУ) должна обеспечивать, во-первых, устойчивое оптимальное по точности движение ЛА вдоль заданной траектории маневра и, во-вторых, достижение конечных условий с заданной точностью.

Для выполнения этих целей предлагается следующая структура СУ [2, 7], представленная на рис.1. Функционирование блоков представленной на рисунке схемы отличается по скорости обработки информации. За один такт работы длиннопериодического контура короткопериодический контур осуществляет несколько тактов:

- короткопериодический контур выполняется с тактом t_0 ;
- длиннопериодический – с тактом $t_1 = k_m t_0$, где $k_m > 1$ – коэффициент, определяемый согласно вычислительной трудоемкости задач длиннопериодического контура и производительности БЦВМ.

В навигационном блоке вычисляются значения текущих кинематических и динамических переменных, задающих пространственное положение ЛА. Вектор управления $u^{\delta}(x(t), t)$ (где $x(t)$ – вектор состояния ла, $\dim(x)=n$, $\dim(u^{\delta})=m$, $m \leq n$, t – текущее время полета, $t \in [t_0, t_k]$) определяется по результатам решения навигационной задачи из условия обеспечения минимума отклонения текущего движения ЛА от заданного и из дополнительного требования к минимуму энергетических затрат.

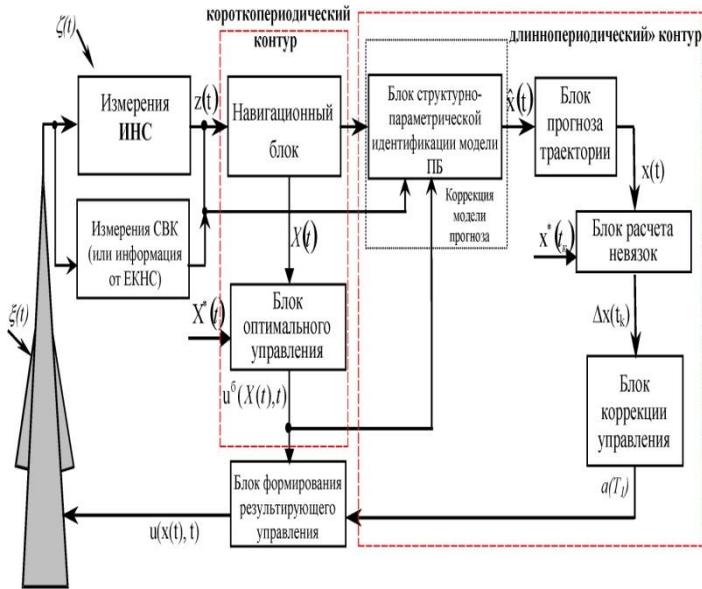


Рисунок 1 – Функциональная структура СУЛА

Вектор коррекции управления $a(t_1)$ – в ходе прогноза, выполняемого путем ускоренного интегрирования модели ла, идентифицируемой с использованием всего объема накопленной измерительной информации $z(t)$ за интервал полета $T = NT_1 - t_0$ (n – количество выполненных на данный момент времени полета t полных тактов t_1).

Таким образом, достоинством рассматриваемой структуры СУ является то, что нет необходимости разрешения сложной проблемы дуальности задач оптимального оценивания-идентификации и управления, так как эти задачи решаются в данном случае в разных временных и параметрических областях.

Синтез алгоритма терминально-оптимального управления ЛА. Задачу синтеза вектора оптимального управления движением ЛА $u^{\delta}(x(t), t)$ сформулируем следующим образом.

Функционирование ЛА будем описывать системой детерминированных дифференциальных уравнений

$$\frac{dX(t)}{dt} = F[X(t), u^\delta(t), t], \quad t \in [t_0, t_k], \quad X(t_0) = X_0, \quad (1)$$

где $f(\cdot)$ – известная вектор-функция (размерности $n \times 1$), переводящей ЛА из фиксированного начального состояния x_0 в заданное конечное, определяемое соотношением

$$Q(t_k) = 0, \quad \dim(Q) = p, \quad p \leq n. \quad (2)$$

Критерий качества J_δ сформируем из учета требований к минимуму отклонения текущих фазовых переменных $x_i(t)$ ($i = \overline{1, n_x}$, $n_x < n$), определяющих траекторию (например, компоненты радиус-вектора центра масс ЛА), от заданных $x_i^*(t)$, а также исходя из требования минимизации "энергетических" затрат на управление:

$$J_\delta = \frac{1}{2} \left\{ \int_{t_0}^{t_k} \Delta X(t)^T M_x \Delta X(t) dt + \int_{t_0}^{t_1} u^\delta(t)^T B u^\delta(t) dt \right\} \quad (3)$$

где m_x , b – диагональные матрицы весовых коэффициентов (за счет матрицы m_x (размерности $n \times n$) учитываются только те элементы вектора состояния, которые определяют форму траектории);

$$\Delta X(t) = X(t) - X^*(t).$$

Второе слагаемое критерия (3) определено как величина, пропорциональная квадрату нормы вектор-функции управления в метрике гильбертова пространства L_2 . Минимизация этой составляющей позволяет оставить наибольший интегральный запас управляемости ЛА на парирование возмущений.

Момент t_k приведения ЛА в конечную точку не фиксирован и задан условием

$$\tilde{\Phi}(t_k) = 0, \quad (4)$$

В предположении, что

$$\left. \frac{d\tilde{\Phi}(t)}{dt} \right|_{t=t_k} \neq 0.$$

Силовая схема ЛА и требования устойчивости накладывают на вектор-функцию управления ограничения вида

$$u^{\sigma}(t) \in U, \quad (5)$$

где u – заданное множество ограниченных кусочно-непрерывных функций.

С математической точки зрения названная задача может быть отнесена к классу экстремально-краевых. Для ее решения целесообразно воспользоваться методом синтеза оптимального терминального управления [3, 4].

Расширенный функционал Лагранжа при этом имеет вид:

$$L = J_{\sigma} + \int_{t_0}^{t_k} \tilde{\psi}(F - \dot{X})dt + (aQ) + \tilde{\lambda}\tilde{\Phi}, \quad (6)$$

где $\tilde{\psi}(t)$ – функциональный множитель Лагранжа для дифференциальной связи (1) (сопряженная вектор-функция, $\dim(\tilde{\psi}) = n$); $a = (a_1, \dots, a_p)$ – вектор-строка $1 \times r$ коэффициентов коррекции управления, постоянных в такте "медленного" контура; $\tilde{\lambda}$ – скалярный множитель Лагранжа для связи (4).

Вектор корректирующего управления $a(t_1)$, являющийся векторным множителем Лагранжа для терминальных условий (2), определяется по результатам прогноза в длиннопериодическом контуре и обеспечивает совмещение прогнозируемых конечных фазовых переменных ЛА с расчетными. Таким образом осуществляется последовательное оптимальное приближение реального движения аппарата к расчетному. Причем в каждом такте формирования управляющего воздействия ("на каждой j -й итерации") учитываются терминальные ограничения, что обеспечивает высокую точность синтезируемого управления и позволяет ликвидировать невязки фазовых переменных конечного состояния.

Обоснование алгоритма идентификации. Необходимость учета неопределенности появления возмущающих факторов определяет стохастический характер процесса функционирования ЛА. Поэтому идентифицируемую модель о применения ЛА по назначению представим векторным стохастическим нелинейным дифференциальным уравнением со структурной неопределенностью [6]:

$$\frac{dx(\tau)}{dt} = f(x, \tau) + f_0(x, \tau)\xi(\tau), \quad \tau \in [t_0, NT_1], \quad x(t_0) = x_0, \quad (7)$$

где $x(\tau)$ – вектор ($\dim(x)=n_m$) модели функционирования БЛА; $f(\cdot)$ – идентифицируемая вектор-функция со структурной неопределенностью (размерности $n_m \times 1$); $f_0(\cdot)$ – известная функция-матрица размерности $n_m \times n_{ш}$; $\xi(\tau)$ – случайный процесс ($\dim(\xi)=n_{ш}$) типа белого гауссовского шума с нулевым математическим ожиданием и известной матрицей интенсивностей $d_\xi(\tau)$ размерности $n_{ш} \times n_{ш}$.

При решении задачи идентификации целесообразно использовать наиболее полные модели функционирования ЛА. Вектор-функции управления u^0 , формировавшиеся в течение полета $T = NT_1 - t_0$, при решении задачи идентификации известны и являются функциями времени.

Измерительный комплекс ЛА позволяет осуществлять наблюдение параметров собственного движения с использованием автономных измерителей инерциального навигационного комплекса. Движение ЛА характеризуется резким снижением скорости, выполнением маневров как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях, большими пределами изменений поперечных и продольных перегрузок. Поэтому ошибки измерителей носят случайный характер [7] и наблюдение параметров собственного движения ЛА описывается нелинейным алгебраическим стохастическим уравнением

$$z(t) = h(x, t) + \zeta(t), \quad (8)$$

где $z(t)$ – вектор выходных сигналов измерителей параметров движения убэ ($\dim(z)=q$); $h(\cdot)$ – известная нелинейная вектор-

функция указанных аргументов; $\zeta(t)$ – q -мерный гауссовский случайный процесс типа белого шума с известной матрицей интенсивностей $d_{\zeta}(t)$ (размерности $q \times q$) помехи измерений.

Применение метода структурно-параметрической идентификации, позволяет сформировать в текущем времени в явной форме приближенную оценку искомой функции правой части дифференциальной системы уравнений. Формирование подобного явного выражения необходимо при последующем прогнозе в контуре синтеза вектора коррекции управления. Таким образом, для решения сформулированной задачи целесообразно использовать алгоритм идентификации (7)-(8) в реальном масштабе времени.

Синтез алгоритма коррекции вектора управления по результатам прогнозирования. Вектор коррекции управления $a(t_1)$, обеспечивающий совмещение прогнозируемых конечных фазовых переменных ЛА с расчетными, определяется в блоке коррекции. Тогда, следуя идеологии алгоритмов терминального оптимального управления и учитывая краевые условия (2), а также уравнение

$$[Q(t_k)]_j + \int_{t_0}^{t_k} [K_u(t)]_j [\delta u^{\sigma}(t)^T]_j dt = 0 \quad (9)$$

где $[Q(t_k)]_j$ – вектор невязок краевых условий, соответствующих некоторой j -й итерации построения функции оптимального управления $[u^{\sigma}(t)]_j$; $[\delta u^{\sigma}(t)^T]_j$ – поправка на данной итерации к $[u^{\sigma}(t)]_j$; $[K_u(t)]_j$ – градиент в момент t для j -й итерации, получим систему линейных алгебраических уравнений для определения компонент вектора $a(t_1)$:

$$[W(t_0)]_j a_j^T = B[Q(t_k)]_j \quad (10)$$

где $[W(t_0)]_j$ – матрица эффективности корректирующего вектора.

С целью обоснования реализуемости и оценки вычислительной эффективности представленного подхода было выполнено численное моделирование следующего практического примера.

Пример. Рассматривался гипотетический беспилотный летательный аппарат, технические характеристики и компоновочная схема которого приведены в работе [7]. Предполагалось, что ЛА должен осуществить в процессе спуска боковой маневр – уход из плоскости полета на 600 м и выведение в заданную область пространства.

С целью моделирования неопределенности на первом этапе исследований в "реальную" модель функционирования ЛА вводились атмосферные возмущения: шумы аэродинамических коэффициентов и моментов, шумы плотности атмосферы земли и ветра. На втором этапе дополнительно задавалась "неизвестная" структурная неопределенность за счет введения "неопределенной" добавки $\Delta C_Y(\alpha, M)$ аэродинамического коэффициента $C_Y(\alpha, M)$ (α – угол атаки, M – число маха):

$$\Delta C_Y(\alpha, M) = \text{EXP}(-M). \quad (11)$$

Подобные "неизвестные" отклонения аэродинамических характеристик от расчетных значений могут быть вызваны как конструктивной асимметрией, так и другими воздействиями.

В качестве модели навигационного комплекса беспилотного ЛА использовалась модель бесплатформенной инерциальной навигационной системы, включающей три акселерометра и три датчика угловой скорости. Модели погрешностей измерителей представлялись белым гауссовским шумом с известными характеристиками.

С целью повышения достоверности анализа были выполнены численные исследования традиционного алгоритма оптимально-терминального управления без процедуры идентификации, а также разработанного алгоритма управления.

На первом этапе исследований, когда неизвестная функция $\Delta C_Y(\alpha, M)$ не вводилась, традиционный алгоритм оптимально-терминального управления с прогнозированием обеспечивал

выведение ЛА в заданную область с приемлемой точностью. Однако на втором этапе исследований погрешности выведения увеличивались в 2-4 раза. Полученные результаты подтвердили, что в условиях структурно-параметрической неопределенности модели функционирования ЛА традиционный алгоритм имеет значительные погрешности. Это обусловлено недостаточностью количества итераций (моделировались четыре итерации) и неадекватностью модели прогнозирования. Увеличение количества итераций невозможно вследствие малой продолжительности времени управляемого полета ЛА [2, 7].

Численные исследования разработанного модифицированного алгоритма терминального управления с прогнозированием идентифицируемой по набору измерений модели функционирования ЛА в то же время показали следующее. Ошибки приведения в заданную терминальную область и погрешности обеспечения заданных параметров движения центра масс ЛА для расчетной траектории на втором этапе были примерно на 45%-40% меньше в сравнении с ошибками традиционного метода.

Полученные результаты подтвердили, что прогноз идентифицируемой по результатам наблюдений модели позволяет компенсировать недостаточность количества итераций, а синтезированный алгоритм может быть эффективно использован для управления маневрами уклонения ЛА в окрестности траектории баллистического спуска, настроенной на краевые условия и заложеной в алгоритм прогнозирования.

Литература

1. Мясников Е.В. Высокоточное оружие и стратегический баланс. – Долгопрудный: Центр по изучению проблем разоружения, энергетики и экологии при МФТИ, 2000. - 43 с.
2. Половинчук Н.Я, Ардашов А.А. Проектирование систем управления ракет-носителей и межконтинентальных баллистических ракет. – РВИ РВ, 2011. - 316 с.

3. Охоцимский Д.Е., Голубев Ю.Ф., Сихарулидзе Ю.Г. Алгоритмы управления космическими аппаратами при входе в атмосферу. - М.: Наука, 1985. - 400с.
4. Буков В.Н. Адаптивные прогнозирующие системы управления полетом. - М.: Наука, 1987. - 232 с.
5. Ваньков А.И. Использование прогнозирующего математического моделирования для управления ориентацией космического аппарата в условиях неопределенности его параметров // Матем. моделирование. – 1989. – Т.1, № 9. – С. 121
6. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А. Красовского. - М.: Наука, 1987. – 712 с.
7. Половинчук Н.Я. Терминальное наведение баллистических летательных аппаратов. – РВИ РВ 2001.- 246 с.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ РАДИОВЫСОТОМЕРОВ В МАЛОВЫСОТНОМ КОМПЛЕКСЕ

А.В. Артемьев

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

Боевые действия на малых высотах в настоящее время являются одним из основных способов боевого применения фронтовой авиации, поскольку полет на малых высотах в ряде случаев обеспечивает эффективное преодоление воздушным судном (ВС) зон противовоздушной обороны (ПВО) противника. Однако полеты на малых высотах сопряжены с большими трудностями. В первую очередь следует иметь в виду опасность столкновения ВС с наземными препятствиями. Усложняется также самолетовождение, так как уменьшаются поле наблюдения и время на обнаружение препятствий и осмотр района цели. Кроме того, ограничены возможности экипажа по визуальному наблюдению и опознаванию целей, имеются трудности, связанные с управлением ВС.

Получение информации, необходимой для выполнения облета препятствий в вертикальной плоскости (профильный по-

лет), обеспечивается за счет совместного использования данных об истинной высоте полета ВС $H_{И}$ и упрежденной дальности $D_{упр}$ до препятствия.

Для контроля за упрежденной дальностью в таких системах используется радиодальномер (РПП – РЛС предупреждения о препятствиях), а за истинной высотой – радиовысотомер (РВ) малых высот (рис. 1).

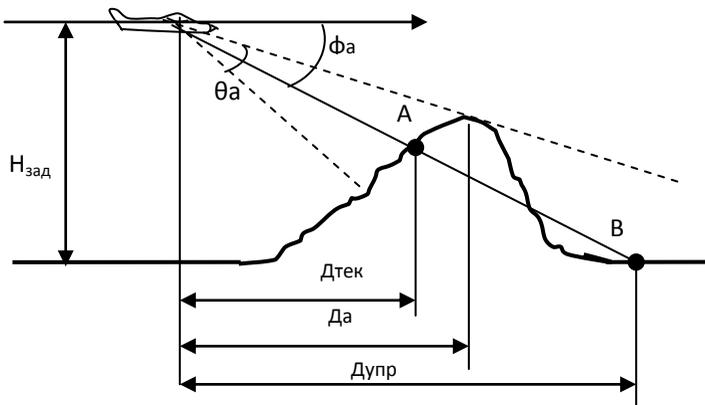


Рисунок 1 – Использование РВ на малой высоте полета

Расчетная упрежденная дальность $D_{упр}$ находится как расстояние, пролетаемое ВС с некоторой постоянной скоростью за определенное заданное время. На расстоянии $D_{упр}$ от ВС находится упрежденная точка В. Ось диаграммы направленности антенны радиолокационной станции предупреждения о препятствиях (РПП) поворачивается на расчетный угол ϕ_a для того, чтобы она была ориентирована в направлении на упрежденную точку В (при полете над равнинной местностью) или направлена на вершину препятствия (при облете возвышенности).

Благодаря облучению поверхности Земли достаточно широким лучом имеется возможность определения дальности до вершины возвышенности $D_в$. Когда в зоне диаграммы направленности радиодальномера находится вершина возвышенности,

передний фронт отраженного сигнала соответствует дальности до нее. Если текущее значение дальности $D_{\text{тек}}=D_{\text{упр}}$, то команда на управление ВС по высоте формируется на основании сигнала РВ малых высот.

При $D_{\text{тек}}<D_{\text{упр}}$ (что говорит о приближении ВС к препятствию) команда на управление ВС формируется по данным РПП. При положительном значении управляющего сигнала осуществляется набор высоты. При пролете препятствия высота H_{II} становится больше $H_{\text{зад}}$ и $D_{\text{тек}}$ – больше $D_{\text{упр}}$. В этом случае вырабатывается команда на снижение ВС в соответствии с сигналом, формируемым по данным РВ малых высот.

Литература

1. Кашин, Я.М. Авиационные приборы и пилотажно-навигационные комплексы. Ч. 3. Пилотажное оборудование воздушных судов: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению «Аэронавигация» и специальностям высшего образования «Эксплуатация воздушных судов и организация воздушного движения» и «Летная эксплуатация и применение авиационных комплексов» / Я.М. Кашин, А.Б. Варенов, Е.А. Ершов и др.; КВВАУЛ им. А.К. Серова, ФГБОУ ВПО «КубГТУ»; под общ. ред. Я.М. Кашина. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2015. – 170 с.

СЕКЦИЯ 3.
КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И БЕЗОПАСНОСТЬ
ИНФОРМАЦИИ В ТЕХНИЧЕСКИХ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

КОНТРОЛЬ ЦЕЛОСТНОСТИ ДАННЫХ ПОДСИСТЕМЫ
РЕГИСТРАЦИИ И УЧЕТА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МНОГОКЛЮЧЕВОГО
ХЭШИРОВАНИЯ

С.В.Савин (адъюнкт)

Филиал Военной академии связи (г. Краснодар, Россия)

Введение. Известно, что основные функции подсистемы регистрации и учета (ПРиУч) возложены на аудит безопасности. Из перечня известных угроз безопасности информации (БИ) в автоматизированных системах (АС) важными являются угрозы, основанные на злоупотреблении уполномоченными пользователями (администраторами) своими правами, которые приводят к уничтожению (модификации) отдельных областей хранения данных аудита безопасности [1, 2].

Существующие методики и алгоритмы, затрудняющие подмену или удаление данных аудита безопасности злоумышленником, не позволяют полностью решить данную задачу при хранении их в одной системе [2].

Цель статьи – повышение защищенности АС на основе разработки методики защиты данных ПРиУч АС.

Основная часть. Для защиты данных ПРиУч АС предлагается использовать метод «однократной записи», суть которого заключается в применении различных способов изготовления, изменения, копирования и размножения документов, которые позволяют обнаружить любое изменение в документе (запись не может быть заменена, вместо этого, в документе добавляется новая запись). В частности известен способ [3] реализации данного метода, который поясняется с помощью рис. 1.

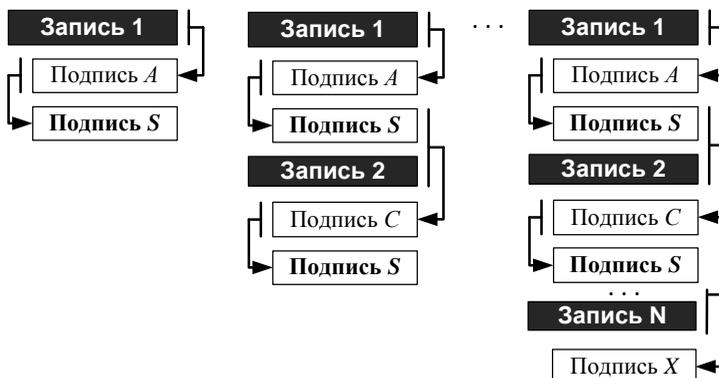


Рисунок 1 – Пояснение к способу «однократной записи»

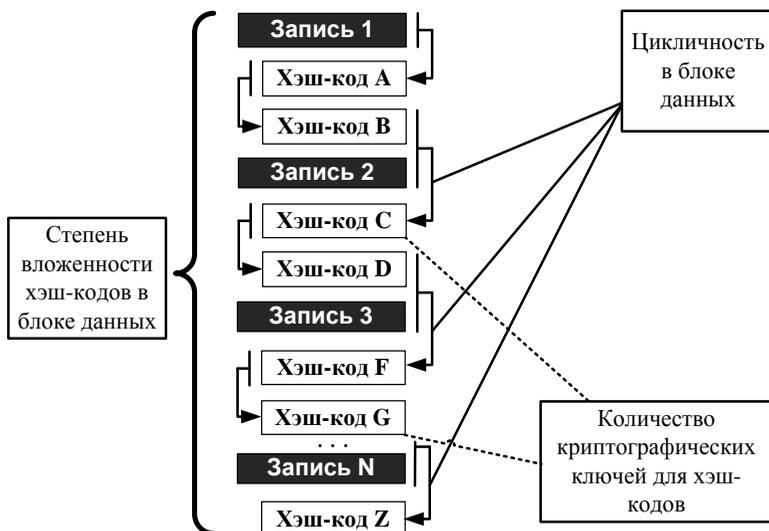


Рисунок 2 – Параметры способа «однократной записи»

В целях уменьшения сложности криптографических преобразований и избыточной информации целесообразно вместо электронных подписей использовать ключевые хэш-функции. В данном способе, основанном на методе «однократной записи» не определены следующие параметры (рис. 2):

степень вложенности хэш-кодов в блоке данных;
 цикличность в блоке данных;
 количество криптографических ключей. В соответствии с поставленной целью сформулируем задачу разработки методики защиты данных ПРиУч на основе применения хэш-кодов и метода «однократной записи».

Пусть:

$M_{\varepsilon}^* = \{\bar{m}_{t_i}, \bar{m}_{t_{i+1}}, \bar{m}_{t_{i+2}}, \dots, \bar{m}_{t_{i+k}}\}$ – множество k двоичных векторов произвольной конечной длины (множество строк событий аудита безопасности);

$\bar{m}_{t_{i+k}}$ – двоичный вектор произвольной конечной длины, представляющий строку события, соответствующий моменту времени t_{i+k} ;

d_i – криптографический ключ;

\bar{s}_{t_{i+k}, d_i} – хэш-код под строкой $\bar{m}_{t_{i+k}}$;

$\bar{s}_{t_{i+k}, d_i} \rightarrow E_{d_i} : h(\bar{m}_{t_{i+k}})$ – вычисление хэш-кода.

Для обеспечения целостности данных ПРиУч с одним ключом в качестве аргумента хэш-функции используем результат конкатенации двух двоичных векторов:

$$\bar{R}_{t_{i+k-1}, d_i}^{(k-1)} = \bar{m}_{t_{i+k-1}} \parallel \bar{s}_{t_{i+k-1}, d_i},$$

где « \parallel » – символ конкатенации.

Тогда \bar{s}_{t_{i+k}, d_i} для элементов из множества M_{ε}^* :

$$\bar{s}_{t_{i+k}, d_i} \rightarrow E_{d_i} : h(\bar{m}_{t_{i+k}} \parallel \bar{R}_{t_{i+k-1}, d_i}^{(k-1)}).$$

Схема получения хэш-кода включает: одну операцию хеширования и две операции конкатенации двоичных векторов (рис. 3).

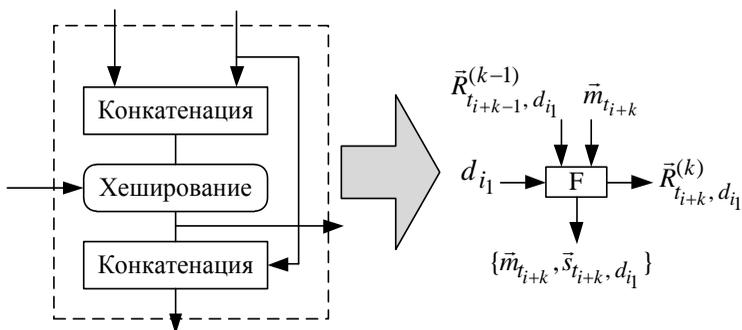


Рисунок 3 – Схема получения хэш-кода

Соответственно, F – блок получения хэш-кода $\bar{s}_{t_{i+k-1}, d_{i_1}}$.

Схема обеспечения целостности данных ПРиУч при переходе к обозначению блоков из F представлена на рис. 4.

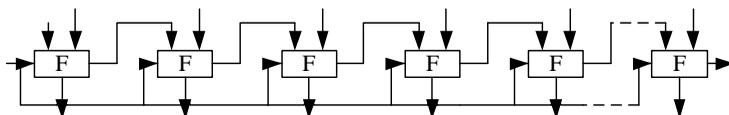


Рисунок 4 – Схема получения защищенного блока данных

Таким образом, используем следующее выражение для определения степени вложенности, цикличности и количество ключей:

$$\bar{R}_{t_{i+k-1}, d_i}^{(k-(s_1, s_2, \dots, s_h))} = \bar{m}_{t_{i+k}-(s_1, s_2, \dots, s_h)} \parallel \bar{s}_{t_{i+k}-(s_1, s_2, \dots, s_h), d_i}, \quad (1)$$

где s_1, s_2, \dots, s_h – коэффициенты, определяющие вложенность, h – цикличность, d_i – количество ключей.

Для оценки разработанной методики может быть использован такой показатель, как вероятность нарушения целостности – P_{i0} , который означает изменение (удаление) одной и более записей строк аудита безопасности одним или несколькими уполномоченными пользователями (рис. 5).

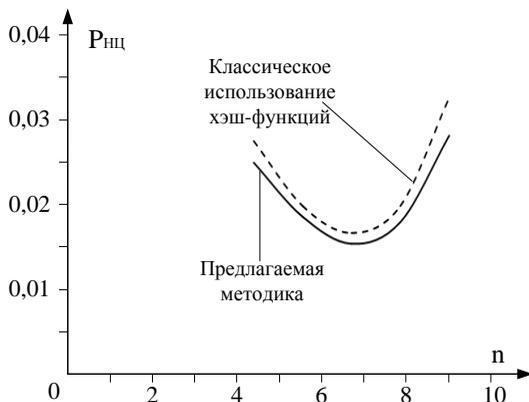


Рисунок 5 – Вариант зависимостей вероятности нарушения целостности

Выигрыш разработанной методики по сравнению с классическим использованием хэш-функций составил приблизительно 12 %.

Вывод. Разработана структурированная методика применения хэш-кодов, учитывающая такие параметры как: глубина вложенности, количество криптографических ключей, порядок их использования. Коэффициенты соответствующего выражения (1) могут быть как постоянными, так и переменными, что позволит решать задачу защиты данных ПРИУч в широком диапазоне требований технического задания заказчика.

Литература

1. Midsize Business Security Guidance. Microsoft Corporation. Security Monitoring and Attack Detection / Microsoft Corporation. – August 2006.
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-2 – 13. «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 2. Функциональные требования безопасности, 2008.
3. Atsushi Harada, Masakatsu Nishigaki, Masakazu Soga, Akio Takubo, Itsukazu Nakamura, A Write-Once Data Management System, Japan, 2002.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПОИСКА ПРАВИЛ В БАЗЕ ПРАВИЛ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ПО АПРИОРИ ЗАДАНЫМ ШАБЛОНАМ

А.А. Птицын (адъюнкт)

Филиал Военной академии связи (г. Краснодар, Россия)

Введение. В связи с развитием и распространением в Вооруженных силах Российской Федерации информационно-телекоммуникационных сетей общего пользования важную роль играют специализированные средства защиты информации (СЗИ), предназначенные для мониторинга и содержательного анализа циркулирующей служебной информации на предмет конфиденциальности.

Проведенный сравнительный анализ специализированных СЗИ (DLP-системы), предназначенных для предотвращения утечки конфиденциальной информации показал, что имеется ряд недостатков влияющих на эффективность защиты [1].

Цель статьи – повышение времени поиска и принятия решения интеллектуальной системой о наличии в электронном документе сведений конфиденциального характера.

Основная часть. Для повышения эффективности контроля и предотвращения фактов несанкционированной передачи информации конфиденциального характера за пределы контролируемой зоны, предлагается разработка интеллектуальной системы (ИС) семантической идентификации информации конфиденциального характера.

Предметной областью (ПрО) разрабатываемой ИС является Перечень сведений конфиденциального характера [2]. Указанный Перечень содержит семантические признаки конфиденциальных сведений. Все разделы Перечня представляют собой полную совокупность ПрО.

Функциональная структура БЗ состоит из двух основных компонентов: базы данных (словарь понятий ПрО) и базы правил (БП).

В настоящей статье рассматривается реализация параллельного поиска правил по априори заданным шаблонам по

средствам битовых операций над строками бинарной матрицы по 64-разрядным группам.

Бинарная строка наличия понятий в j -м пункте Перечня имеет вид (рис. 1):

p_i	p_1	p_2	p_3	...	p_c
b_i	0	1	0	...	0

Рисунок 1 – Бинарная строка наличия понятий

При $b_i = 0$ понятие p_i не входит в описание пункта Перечня, при $b_i = 1$ – входит.

Тогда БП ИС можно представить в форме бинарной матрицы правил M размером $k \times c$ (рис.2). Каждый пункт перечня описывается одним или более числом правил.

N правила	Понятия						
	П.Перечня	p_1	p_2	...	p_i	...	p_c
1	m_1						
2	m_2						
3	m_3	0	1	...	0	...	0
4	m_3						
5	m_3						
⋮	⋮						
f	m_k						

Рисунок 2 – Бинарная матрица лексических признаков понятий

где p_i – понятие из базы понятий, $1 \leq i \leq s$; c – количество понятий; m_j – пункты Перечня, $1 \leq j \leq k$; j – номер пункта перечня; k – общее количество Пунктов перечня; f – номер правила для j -го пункта Перечня.

Результаты поиска всех понятий словаря в предложении анализируемого текста представим в виде бинарной строки v_j (рис 3).

p_i	p_1	p_2	p_3	...	p_c
v_i	0	1	0	...	0

Рисунок 3 – Бинарная строка результата поиска

При $v_i = 0$ понятие p_i не найдено в предложении, а при $v_i = 1$ – найдено.

Выполнение одного правила осуществляется путём вычисления выражения:

$$q = v_i \& m_i \oplus m_i \quad (1)$$

При поиске во всей БП выражение имеет вид:

$$q = v_i \& M \oplus M \quad (2)$$

Выполнение каждого правила в БП:

$$Q = V \& M \oplus M, \quad (3)$$

где M – бинарная матрица правил БЗ; m_i – бинарная строка понятий из базы правил; v_i – бинарная строка поиска понятий в предложении анализируемого текста; q – результат выполнения одного правила; Q – результата выполнения каждого правила в БП; V – результат поиска понятий в каждом предложении анализируемого текста, представленный матрицей, составленной из бинарных строк v_i .

Параллельный поиск правил в базе правил

Параллельный поиск в БП по априори заданным шаблонам предлагается проводить посредством битовых операций над строками бинарной матрицы по 64-х разрядным группам. Алгоритм поиск в БП можно представить в виде следующих шагов:

Исходные данные: v_i – бинарная строка предложения;

M – бинарная матрица правил; d – количество потоков.

Шаг 1:

выполняется операция $h_{max} = \left\lceil \frac{k}{d} \right\rceil$ вычисления количества строк

бинарной матрицы, которые должен обработать каждый поток, где k – количество колонок бинарной матрицы;

Шаг 2:

распараллеливание потоков в зависимости от архитектуры ЭВМ и выполнение одного правила путём вычисления выражения $q_d = v_i \& m_{hd+d} \oplus m_{hd+d}$;

Шаг 3:

при $q_d = 0$ — признак j -го пункта Перечня в i -м предложении найден, при $q_d \neq 0$ — не найден, и цикл продолжает поиск правил в БП.

Блок-схема алгоритма параллельного поиска правил представлена на рис 5:

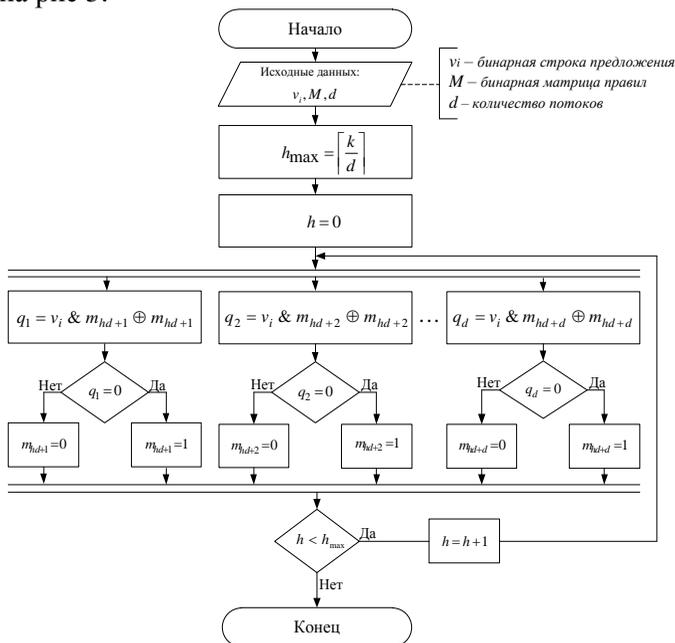


Рисунок 5 – Алгоритм распараллеливания поиска правил в БП

Вывод. Предложенный алгоритм, позволит повысить скорость поиска правил и принятия решения системой о наличии в электронном документе сведений конфиденциального характера.

Литература

1. Птицын, А.А. Анализ средств, предотвращения утечки защищаемой информации / А.А. Птицын, И.В. Савельев // Сб. трудов VII-IX Всероссийской научно-технической школы - семинар – Краснодар: ФАВС, 2014. – С. 216-222.

2. Указ Президента РФ № 351 от 17.03.2008 «О мерах по обеспечению информационной безопасности Российской Федерации при использовании информационно-телекоммуникационных сетей международного информационного обмена». – М.: 2008.

ОСОБЕННОСТИ РАЗВЕРТЫВАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

И.В. Заводцев (к.т.н., доц.), А.А. Усольцев (адъюнкт),
Е.В. Щеглов (адъюнкт)
Филиал Военной академии связи (г. Краснодар, Россия)

Естественным ходом развития информационных технологий является принципиальный переход от открытости к защищенности при построении информационных систем в целом, и систем электронного документооборота (СЭД) в частности. На сегодняшний день большая часть программного обеспечения, используемого в СЭД, уже обладает встроенными средствами защиты информации (СЗИ).

Однако, в общем случае, задача защиты должны строиться в предположении потенциальной уязвимости средств защиты и наряду с проблемами производительности, надежности и устойчивости функционирования СЭД, остро встает проблема защиты циркулирующей в системе информации от несанкционированного доступа (НСД.) Существующая статистика ошибок, обнаруженных в базовом программном обеспечении, а также сведения о недостаточной эффективности встроенных средств защиты, заставляет специалистов сомневаться в дости-

жении гарантированной защиты от НСД при их использовании и все больше внимания уделять добавочным СЗИ.

Данное обстоятельство заставляет разработчиков СЭД использовать большое число специализированных СЗИ [2, 3], количество которых растет, а, следовательно, требуются дополнительные ресурсные затраты на их развертывание и администрирование.

В тоже время высокие требования, предъявляемые к уровню информационной безопасности организаций, предопределяют необходимость проводить процесс администрирования СЗИ в сжатые сроки и с высоким качеством, с обязательной последующей технической поддержкой. Что обуславливает требование подготовки собственных специалистов по развертыванию инфраструктуры обеспечения информационной безопасности в системах электронного документооборота организаций.

Цель статьи – рассмотреть возникающие сложности при развертывании инфраструктуры обеспечения целостности в системах электронного документооборота и возможные способы их решения.

При проникновении в защищаемую информационную систему злоумышленник, как правило, попытается установить программные закладки, изменить системные файлы или отключить систему защиты, а также подменить циркулирующие в СЭД документы. В абсолютном большинстве случаев, все эти действия реализуются путем изменения каких-либо файлов (исполняемых, конфигурационных и динамических библиотек и т.п.).

Поэтому для защиты данных в системах электронного документооборота используется целевой контроль целостности файлов, который основан на пассивных, не оказывающих заметного влияния на работу СЭД методах проверки целостности самой системы и файлов с данными, а также объектов системы и их атрибутов. Такие методы чаще всего реализованы на криптографических алгоритмах – системах электронной подписи (ЭП).

Технически такой подход представляет собой относительно небольшое количество дополнительной цифровой ин-

формации, передаваемой вместе с подписываемым текстом [1]. Система ЭП включает две процедуры: 1) процедуру постановки подписи; 2) процедуру проверки подписи. В процедуре постановки подписи используется секретный ключ отправителя сообщения, в процедуре проверки подписи – открытый ключ отправителя.

Широкое использование в Российской Федерации получила программа КриптоАРМ, предназначенная для защиты и гарантии авторства документов и файлов, передаваемых по электронной почте и на машинных носителях информации.

В тоже время для обеспечения надежного функционирования систем криптографической защиты необходимо наличие надежной и устойчивой системы распределения ключевой информации. Эту задачу решает призван решить программно-аппаратный комплекс «КриптоПро Удостоверяющий Центр». В тоже время его установка и настройка являются нетривиальной задачей и требуют особого рассмотрения.

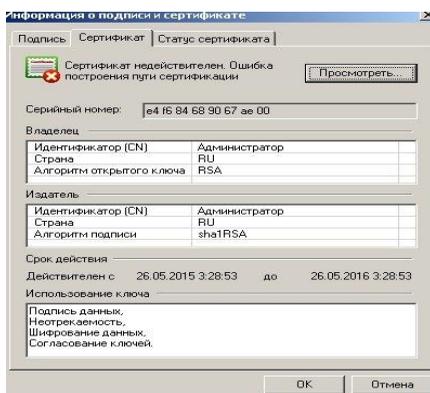


Рисунок 1 – Ошибка использования переданного сертификата

Удостоверяющий Центр КриптоПро предназначен для обеспечения участников информационных систем средствами и спецификациями для использования сертификатов открытых ключей в целях обеспечения:

применения электронной подписи;

контроля целостности информации, представленной в электронном виде, передаваемой в процессе взаимодействия участников информационных систем;

аутентификации участников информационных систем в процессе взаимодействия;

конфиденциальности информации, представленной в электронном виде,

передаваемой в процессе взаимодействия участников информационных систем.

Однако, часто при попытке передачи сертификата пользователя, сформированного СЗИ КриптоАРМ на другую автоматизированную рабочую станцию, возникала ошибка построения пути сертификата.

Данную проблему удалось решить путем построение защищенного пути выдачи/передачи сертификата с использованием «КриптоПРО УЦ». Порядок реализации предложенного подхода представлен ниже.

1. Создание сертификата при помощи web-ресурса «КриптоПроУЦ»
2. Подтверждение сертификата (рис. 2).
3. Получение заверенного сертификата (рис. 3).

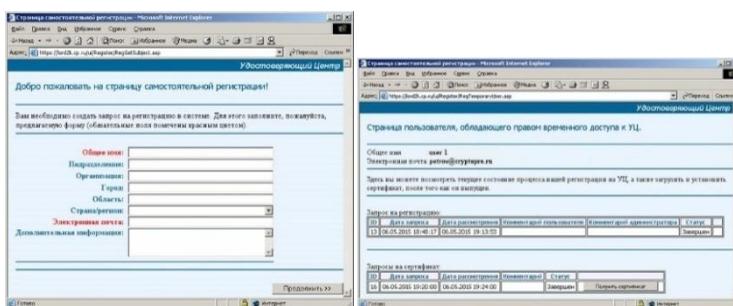


Рисунок 2 – Создание и подтверждение сертификата

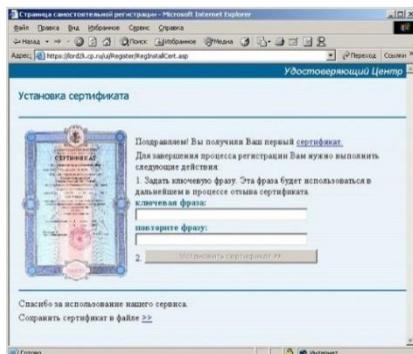


Рисунок 3 – Получение и выдача заверенного сертификата

Таким образом, в ходе практического исследования были установлены следующие особенности работы с ПАК «КриптоПРО УЦ»:

передача сертификатов вне защищенного соединения невозможна;

соединение осуществляется при помощи сервера ISS, куда вносятся корректировки в соответствии с законодательством РФ, реализуя технологии защищенной передачи данных TLS с поддержкой ГОСТ 28147-89;

взаимодействие центров регистрации и сертификации осуществляется путем встречной аутентификации за счет сертификатов, содержащих собственные открытые ключи;

центр сертификации не может быть привязан к какому-либо домену, а так же не может быть контроллером, он является изолированным сервером;

центр регистрации может быть как контроллером, так и членом домена, хотя такая конфигурация и является не рекомендуемой, так как это сопряжено с определёнными проблемами с аутентификацией между самими центрами;

после установки компонентов изменять их идентификацию нельзя, так как имена и принадлежность к домену записана в сертификаты и их изменение влечет отказ от работы web-приложений центров регистрации и сертификации как принадлежащие другим субъектам.

Литература

1. Федеральный Закон Российской Федерации от 25 марта 2011 года № 63–ФЗ «Об электронной подписи».
2. Федеральный закон Российской Федерации от 27 июля 2006 г. № 149–ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006 Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента ИБ. Требования.

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ИНЦИДЕНТАМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ИГР

И.В. Заводцев (к.т.н., доц.), Р.Е. Бирюков
Филиал Военной академии связи (г. Краснодар, Россия)

В условиях интенсивного развития и внедрения информационных и телекоммуникационных технологий особое внимание уделяется вопросам обеспечения безопасности критически важных объектов. Так как выведение таких объектов из строя может привести к тяжелым и даже катастрофическим последствиям, следовательно повышаются требования к их защите и обеспечению безопасности обрабатываемой ими информации [1].

В тоже время высокие требования, предъявляемые к уровню информационной безопасности организаций предопределяют необходимость проведения оценки эффективности таких систем защиты. Это сложная организационно-технологическая задача, решение которой осуществляется комплексно и требует системного подхода [1].

Однако в ряде случаев методы управления системами управления инцидентами информационной безопасности, ориентированные на применение количественных оценок, все еще не имеют достаточно развитого математического аппарата для их обоснования, что обусловлено несовершенством существующего нормативно-методического обеспечения информационной безо-

пасности в сложившихся в информационных технологиях подходах.

Совмещение подходов к оценке уровня информационной безопасности (риск-ориентированный подход) с теоретико-игровыми методами привело к появлению второго класса, т.е. «игр» информационной безопасности, ориентированных на получение оценок и анализ уровня защищенности вычислительных систем. Среди моделей этого класса наибольший интерес представляют исследования кооперативной игры защищающихся организаций [2].

Целью выполнения работы являются моделирование алгоритма выбора стратегий защиты для модуля принятия решений в разрабатываемых отечественных системах управления инцидентами информационной безопасности.

Рассмотрим возможность применения теоретико-игровых методов в задачах принятия решений средствами СУИИБ [1].

Пусть Ω – множество наблюдаемых элементарных событий безопасности. В настоящей работе *элементарным событием* будем считать единичную запись в журнале регистрации, так как для разрабатываемой СУИИБ важной является возможность выбора элементарных событий при начальной настройке системы.

Источниками информации для анализа СУИИБ, в общем случае, являются журналы различных компонент информационной системы: операционных систем, прикладного и общего программного обеспечения, а также средств защиты информации и др. Такие журналы содержат информацию о событиях безопасности, информация о которых представляет собой совокупность значений нескольких параметров (признаков). Поэтому каждому из элементарных событий безопасности сопоставим множество отслеживаемых параметров $I_{\omega \in \Omega}$.

В случае проведения злоумышленником сетевого вторжения, его действия можно представить в виде некоторой последовательности шагов, каждый из которых порождает некоторый вид активности в ПЭВМ, что и позволяет СУИИБ выявлять его.

При выявлении первого события безопасности, которое можно отнести к подозрительным, СУИИБ должна спрогнози-

ровать возможные последующие этапы атаки [1], что требует расширения множества $I_{\omega \in \Omega}$ наблюдаемых параметров.

Обозначим: $J_{\omega \in \Omega}$ – множество дополнительных параметров наблюдения; t_m – период времени, в течение которого СУИИБ будет наблюдать уже расширенный список параметров.

Так как до выявления подозрительной активности СУИИБ наблюдает базовый набор критических параметров, то в это время цена системных ресурсов постоянна.

Очевидно, что на мониторинг дополнительного множества $J_{\omega \in \Omega}$ СУИИБ вынуждена затрачивать дополнительные ресурсы ценой – $S(t)$. Для простоты будем предполагать, что $S(t)$ линейно зависит от t .

$$S(t) = \sum_{\omega \in \Omega} \sum_{j \in J} s(\omega, j, t) = fkt,$$

где f – средний весовой коэффициент, определяющий цену одного наблюдаемого параметра, k – количество наблюдаемых пар «событие – параметр».

Для анализа стратегий системы защиты (СУИИБ) и атакующего и оценки эффективности процесса мониторинга инцидентов безопасности рассмотрим некооперативную теоретико-игровую модель с ненулевой суммой и несколькими итерациями. Количество итераций, в этом случае, зависит от количества шагов возможной атаки.

Предположим, что система защиты и злоумышленник взаимно знают стратегии и функции полезности друг друга. Следовательно, СУИИБ при обнаружении подозрительных событий безопасности должна сделать выбор из следующей альтернативы: проигнорировать элементарное событие или усилить общий мониторинг. В последнем случае количество наблюдаемых параметров будет увеличено, а время их мониторинга будет выбраться из информационной базы СУИИБ согласно возможному сценарию атаки.

В этом случае злоумышленник также формирует свою стратегию на основе следующего множества действий: {«завершить атаку»; «продолжить без паузы»; «сделать паузу на некоторый период времени»}. В игре может быть несколько типичных периодов подобных пауз, осуществляемых злоумышленником. Их цель – разнести события во времени, тем самым снижая

вероятность правильной идентификации их как совокупности деструктивных действий.

Если СУИИБ идентифицирует весь набор элементарных событий как инцидент безопасности или же злоумышленник решает прекратить нападение, то выигрыш для системы защиты будет равным α , в противном случае $-\alpha$.

Причем злоумышленник также может выбрать несколько целей для своей атаки: проведение атаки на защищаемую информационную систему или же на саму систему защиты.

Поэтому рассмотрим оба варианта.

Вариант 1. В случае, когда злоумышленник проводит атаку на защищаемую информационную систему, тогда он получает выигрыш β в случае успешной атаки, иначе $-\beta$.

Обозначим $Z(t)$ – стоимость паузы для атакующего, которую, так же как и в случае с СУИИБ, для простоты примем линейно зависящей от времени:

$$Z(t) = gt,$$

где g – весовой коэффициент, определяющий стоимость единичного периода паузы. Таким образом, функция полезности для первого типа нападающих будет:

$$U_{at} = \begin{cases} 0, & NA, \\ \beta - R(t_a), & 0 \leq t_m \leq t_a, \\ -\beta - R(t_a), & t_m > t_a \geq 0, \end{cases}$$

где t_m – время мониторинга СЗИ, t_a – пауза между действиями нападающего, а NA – обозначает выбор злоумышленника завершить атаку.

Соответствующая *первому* типу атакующих функция полезности СУИИБ (U_{mon}^1) имеет вид:

$$U_{mon}^1 = \begin{cases} \alpha - R(t_m), & 0 \leq t_a < t_m, NA, \\ -\alpha - R(t_m), & 0 \leq t_m < t_a. \end{cases}$$

Вариант 2. В случае, когда злоумышленник проводит атаку на саму систему защиты, тогда функция полезности для второго типа нападающих будет:

$$U_{ov} = \begin{cases} 0, & NA, \\ \beta + f(n+k)t_m, & n < F(t_m k), \\ -\beta, & n \geq F(t_m k). \end{cases}$$

где n – количество генерируемых нападающим паттернов, зависящее от t_m и k , k – количество элементарных событий. Причем, если n меньше некоторой заданной величины $F(t_m k)$, то атаку следует считать успешной.

В этом случае функция полезности СУИИБ (U_{mon}^2), соответствующая второму типу, представляет собой выражение:

$$U_{mon}^2 = \begin{cases} \alpha - f(n+k)t_m, n \geq F(t_m k), NA, \\ -\alpha - f(n+k)t_m, n < F(t_m k). \end{cases}$$

Эта игра не может быть решена с использованием чистых стратегий, поэтому решение будет представлено в смешанных стратегиях. Ожидаемой выплатой для узловой САСИБ будет

$$U_T = \sum_a \sum_b U_{mon}(a, b)p(a)q(b),$$

где $U_{mon}(a, b)$ – выплата СУИИБ, когда игроки выбирают стратегии a и b , а $p(a)$ и $q(b)$ – вероятности выбора этих стратегий системой защиты и атакующим соответственно. Для вычисления равновесия Нэша можно использовать подход Gambit [4].

В работе рассмотрены варианты построения стратегий для системы защиты на примере систем управления инцидентами информационной безопасности в случае реализации некооперативной теоретико-игровой модели с ненулевой суммой и несколькими итерациями. Расчеты, приведенные в [3], показали, что такой подход существенно снижает количество затрачиваемых ресурсов при незначительном снижении точности обнаружения деструктивных событий и может быть использован при разработке отечественных СУИИБ.

Литература

1. Заводцев, И.В. Задачи разработки систем мониторинга событий информационной безопасности / Помещиков М.С., Стажинский Я.С., Заводцев И.В. // Материалы IV ежегодной международной научно-практической конференции «Перспективы развития информационных технологий». – Новосибирск : ЦРНС, 2011.
2. Лаврентьев, А.В. О применении методов теории игр для решения задач компьютерной безопасности / А.В. Лаврентьев

ев, В.П. Зязин // Безопасность информационных технологий. – 2013. – с.19–24.

3. Гермейер, Ю. Б. Игры с противоположными интересами. Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1976.

4. McKelvey R. D., McLennan A. M., Turocy T. L. Gambit: Software Tools for Game Theory, Version 13.1.0. <http://www.gambit-project.org> (accessed 01.10.13).

ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

О.А. Кулиш (к.т.н., доц.), С. Р.Шарифуллин (к.т.н., доц.),
А.А. Чебыкин (адъюнкт)

Филиал Военной академии связи (г. Краснодар, Россия)

В последнее время много научных исследований посвящено поиску практической архитектуры оптических схем для квантовых вычислений [1, 2]. Создание логических оптических вентилях на базе волоконной оптики сталкивается с рядом проблем. Типичная оптическая нелинейность среды является настолько малой, что эффективность сцепления фотон-фотон редко превышает величину 10^{-10} [2]. Из-за этого очень трудно построить двухкубитный вентиль, который работает на уровне одного фотона. Нелинейность показателя преломления полупроводника интегрально-оптических усилителей приблизительно в 10^8 раз больше. Кроме того, технология интегральной оптики позволяет соединить активные и пассивные устройства на одном чипе.

Полностью оптические квантовые логические вентилях, основанные на модуляции фазы в интерферометре Маха-Цендера, могут быть созданы с помощью технологий интегральной оптики [3]. Единицы квантовой информации кубиты реализуются в интегрально-оптических логических вентилях двумя ортогональными модами многомодовых волноводов. Геометрия волновода и оптическая длина волны выбираются таким образом, что структура поддерживает две нормальные моды TE_0 моду и TE_1 моду. Обозначим первую моду как

$\Psi_0(x, y)$, и вторую моду как $\Psi_1(x, y)$ с константами распространения β_0 и β_1 соответственно. Если профиль $n(x, y)$ независим от координаты z , то разветвитель в волноводе в положении z может быть описан суперпозицией двух нормальных мод $\Psi_0(x, y)$ (TE₀ мода) и $\Psi_1(x, y)$ (TE₁ мода). Таким образом, $\Psi(x, y, z) = C_0\Psi_0(x, y)e^{i\beta_0 z} + C_1\Psi_1(x, y)e^{i\beta_1 z}$, где C_0 и C_1 , амплитуды мод Ψ_0 и Ψ_1 . Распространение волноводных мод $\Psi(x, y, z)$ может быть описано рядом двойных уравнений, основанных на наборе нормальных мод $\{\Psi_0, \Psi_1\}$. Уравнения мод для соединенных волноводов имеют вид:

$$\frac{dC_j^{(k)}(z)}{dz} = -\frac{i\omega}{4} \frac{\beta_j^{(k)}}{|\beta_j^{(k)}|} \sum_{k'} \sum_{i=0,1} K_{jl}^{kk'} C_l^{(k')}(z) e^{i(\beta_j^{(k)} - \beta_l^{(k')})z}, \quad (1)$$

где

$$K_{jl}^{kk'} = \int \Psi_j^{(k)*} [n^2(x, y, z) - n^2(x, y)] \Psi_l^{(k')} dx dy,$$

$n(x, y, z)$ – z – зависимость профиля показателя преломления, индекс k обозначает номер волновода, индекс j – порядок моды. Чтобы представить логические 0 и 1, используются мода TE₀, $\Psi_0(x, y)$ и TE₁ мода, $\Psi_1(x, y)$, соответственно. Рассмотрим интерферометр Маха-Цендера на основе двухмодового волновода (показанный на рис. 1) со сдвигом фазы φ в одном из плеч. Анализ устройства состоит в обнаружении унитарного преобразования кубита для входной области разветвителя $|\Psi_i\rangle = C0i0 + C1i/1$ и выходной области $\Psi0 = C000 + C10/1$. При условии полного разделения мод $\Delta\beta \approx 0$ мы получаем унитарное преобразование

$$U = \begin{pmatrix} \cos(\varphi/2) & -i \sin(\varphi/2) \\ i \sin(\varphi/2) & \cos(\varphi/2) \end{pmatrix} \quad (2)$$

где символом φ обозначается любой сдвиг фаз между двумя плечами интерферометра, и

$$C_0^0 = \cos \frac{\varphi}{2} C_0^i - i \sin \frac{\varphi}{2} C_1^i, \quad C_1^0 = \cos \frac{\varphi}{2} C_1^i - i \sin \frac{\varphi}{2} C_0^i.$$

Интерферометр может формироваться с двумя сдвигами фаз $\varphi = 0$ и $\varphi = \pi$ и использован как квантовый NOT вентиль.

Можно выбрать сдвиг фазы $\varphi = \frac{\pi}{2} |0\rangle \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle + i|1\rangle), |1\rangle \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} (|1\rangle - i|0\rangle)$, который будет использоваться, чтобы получить желаемое состояние суперпозиции. Был выполнен расчет с использованием конечно-разностного метода распространения излучения (*FD-BPM*). Используемые параметры: показатели преломления сердцевин и оболочки волноводов $n_{core} = 1,57$, $n_{clad} = 1,55$, соответственно, ширина волновода $W = 3$ мкм, и длина волны излучения $\lambda = 1,064$ мкм. В результате моделирования квантового *NOT* вентиля, на основе интегрально-оптического интерферометра было показано, что при длине фазо переключателя $L = 1$ мм и разности показателей преломления волноводов $\Delta n = 0,0008$, состояние на входе $|0\rangle$ преобразуется к состоянию $|1\rangle$ на выходе устройства и наоборот.

Результаты, полученные в работе, показали, что рассмотренная схема квантового оптического вентиля может открыть новые перспективы для практических квантовых вычислений.

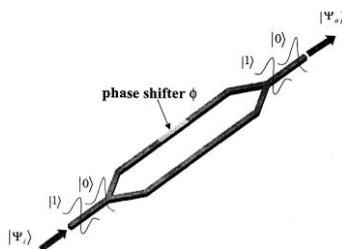


Рисунок 1 – Схема интегрально-оптического интерферометра, в одном из плеч которого вносится разность фаз

Литература

1. D. Jaksch et al. // Phys. Rev. Lett. 2000. V. 85. pp. 2208.
2. K. J. Resch, J. S. Lundeen, and A. M. Steinberg // Phys. Rev. Lett. 2002. V. 89. pp. 037904-1.
3. K. E. Stubkjaer // IEEE J. Sel. Top. Quant. Electron. 2000. V. 6. pp. 1428-1435.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ АУТЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ ЗАДАЧИ ОПОЗНАВАНИЯ В ГРУППЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Ю.В. Чернуха (к.т.н., доц.), Д.А.Белоконь (адъюнкт)
Филиал Военной академии связи (г. Краснодар, Россия)

Разработка и внедрение технологий военной робототехники является одним из приоритетных направлений создания новых и модернизации состоящих на вооружении образцов вооружения и военной техники. Роботизация вооружения и военной техники представляет собой комплекс взаимосвязанных военно-технических мер по освоению безлюдных военных технологий в целях придания нового качества образцам вооружения, снижения боевых потерь среди военнослужащих и повышения эффективности ведения боевых действий.

В связи с этим можно сформулировать ряд требований, реализация которых является приоритетным направлением при создании роботизированных комплексов (РТК) военного назначения[1]:

в первую очередь, РТК должны быть многофункциональны, совместимы и интегрируемы в существующие и перспективные структуры Вооруженных Сил и обладать способностью к самостоятельному выполнению задач в условиях неопределенности внешней обстановки. Они должны сохранять работоспособность в условиях воздействия всевозможных внешних факторов;

во-вторых, должен обеспечиваться групповой информационный обмен между робототехническими комплексами при выполнении задач в едином районе боевого управления в составе смешанной группы с возможностью одновременного применения и дистанционного, и автоматического, и автоматизированного управления требуемым количеством комплексов;

в третьих необходимо расширить разведывательные возможности, увеличить время автономной работы комплексов (вплоть до суток), улучшить тактико-технические характеристики и ударный потенциал, унифицировать подсистемы робототехнических комплексов.

Немаловажное значение, в том числе в рамках рассматриваемой в статье темы, играет требование по повышению помехозащищенности каналов управления и связи, совершенствованию систем технического зрения, решению проблем автоматического распознавания целей, анализа сцен и ситуаций, опознавания по принципу «свой-чужой».

Одной из таких разработок стала перспективная система вооружения, способная вести стрельбу с закрытых огневых позиций, осуществляя одновременно поиск и распознавание целей. Составной ее частью является боевая система опознавания на поле боя BCIS (BattlefieldCombatIdentificationSystem), в задачи которой входит решение вопросов, связанных с идентификацией целей. Система BCIS работает в миллиметровом диапазоне с частотой 38 ГГц. Он является системой опознавания типа «запрос - ответ» и полностью интегрирована с системой управления огнем (СУО) танка, БМП или БМПТУР.

Весь цикл «запрос - ответ» повторяется 3 раза в секунду. Сигнал запроса системы BCIS посылается каждый раз, когда наводчик делает замер дальности до цели с помощью дальномера [2].

Одним из решений задачи опознавания представляется способ предварительной загрузки координат позиций дружественных сил, куда огонь вести запрещено. Но данный способ работает только в условиях позиционных боевых действий. В условиях скоротечного боя, с быстро изменяющейся тактической обстановкой данный способ не подходит. В связи с этим возникает задача опознавания объектов, робототехническими боевыми комплексами на поле боя в автономном режиме. Для этого необходимы безопасные алгоритмы аутентификации в системах с динамическим составом участников. Эта задача может быть решена в частности на основе использования в РБК процедур опознавания объектов атаки по принципу «свой чужой».

Однако в случае захвата робота противником (например, при перехвате управления или других зафиксированных признаках «захвата») отсутствует возможность экстренного блокирования статуса робота «СВОЙ». В этом случае он будет и далее опознаваться как «СВОЙ». Что в конечном итоге может привес-

ти к серьезным последствиям.

В связи с вышеизложенным возникает задача разработки научно- методического комплекса для построения системы аутентификации РТК с динамически изменяемым составом участников.

Одним из решений задачи управления статусами целей при опознавании объектов робототехническими боевыми комплексами в автономном режиме является применение асимметричных алгоритмов аутентификации, с использованием сертифицированных открытых ключей.

Литература

1. Чернуха Ю.В., Белоконь Д.А. Актуальность задачи опознавания при применении роботизированных комплексов военного назначения. / Сб. статей XVIII НК курсантов и операторов НРФВАС (г. Краснодар) / Краснодар, ФВАС (г. Краснодар), 2014 . – С. 97-99.

2. <http://www.oborona.ru/includes/periodics/defense/2012/0801/20258963/prints.html>

ПРОГРАММА САМОАНИМАЦИОННОГО ПОСТРОЕНИЯ КАРТИНЫ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ КАСКАДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИИ ПАЗА

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

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

Для реализации алгоритма самоанимационного построения картины потокораспределения магнитной системы статора асинхронного двигателя каскадного электрического привода с учетом геометрии пазы [1-13] была разработана для двухслойной обмотки на двадцать четыре пазы.

На рис. 1 синим выделены окна для управлением программой.

Кнопка «Анимация» позволяет вывести на экран картину потокораспределения с шагом в 1.5 градуса. Кнопка «Операция» позволяют вывести картину потокораспределения с заданным углом сдвига. Кнопка «Стереть» позволяет очистить экран от картины потокораспределения. Кнопка «Анимация!» и «Остановить» позволяют выводить и останавливать автоматическое построение картины потокораспределения, также можно регулировать скорость построения. Кнопка «Заккрыть» позволяет выйти из программы.

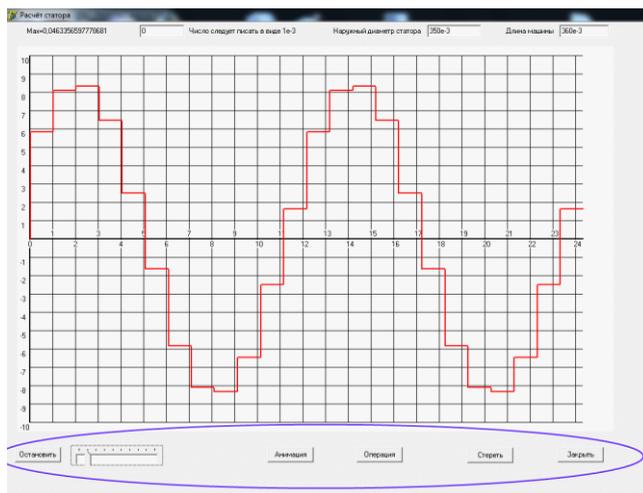


Рисунок 1 – Интерфейс разработанной программы с пояснениями

Литература

1. Карандей В.Ю. Управляемый каскадный электрический привод / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Пат. РФ № 2402857 – 27.10.2010 г.
2. Карандей В.Ю. Управляемый каскадный электрический привод с жидкостным токобъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Пат. РФ № 2461947 – 20.09.2012 г.

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

4. Карандей В.Ю. Концепция расчета магнитной системы асинхронного двигателя специального электропривода / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, // Известия высших учебных заведений, Пищевая технология. Научно-технический журнал. – 2008. – № 1. – С. 101-103.

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

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

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

8. Карандей В.Ю. Программа расчета параметров и анимационного построения потокораспределения компонента асинхронного каскадного электропривода / Карандей В.Ю., Базык А.В., Афанасьев В.Л. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2015615828 от 25 мая 2015 г .

9. Карандей В.Ю. Программа расчета параметров и анимационного построения потокораспределения компонента асинхронного каскадного электропривода / Карандей В.Ю., Ка-

рандей Ю.Ю., Базык А.В. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2015615826 от 25 мая 2015 г.

10. Карандей В.Ю. Программа задания конструктивных параметров компонента асинхронного каскадного электропривода, статорной обмотки и визуального построения полученного потока распределения / Карандей В.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2015615827 от 25 мая 2015 г.

11. Попова О.Б. Учёт неоднородности среды при расчёте магнитного поля. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №01(095). – IDA [article ID]: 0951401052. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/01/pdf/52.pdf>.

12. Попова О.Б. Решение полевых задач электротехники с помощью вторичных источников поля и рядов Фурье. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №09(093). – IDA [article ID]: 0931309040. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/09/pdf/40.pdf>.

13. Попова О.Б. Анализ связей в реальной и технической системах процесса оптимизации. Международный журнал экспериментального образования. – 2013, - №10, с. 405 – 408; URL: www.rae.ru/meo/?section=content&op=show_article&article_id=4259 (дата обращения: 22.10.2013)

**АЛГОРИТМ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕДУРЫ
САМОАНИМАЦИОННОГО ПОСТРОЕНИЯ КАРТИНЫ
ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ
СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
КАСКАДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА
С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИИ ПАЗА**

В.Ю. Карандей (к.т.н., доц.), Ю.Ю. Карандей (студент),
В.Л. Афанасьев (студент)
*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический
университет», (Россия, г. Краснодар)*

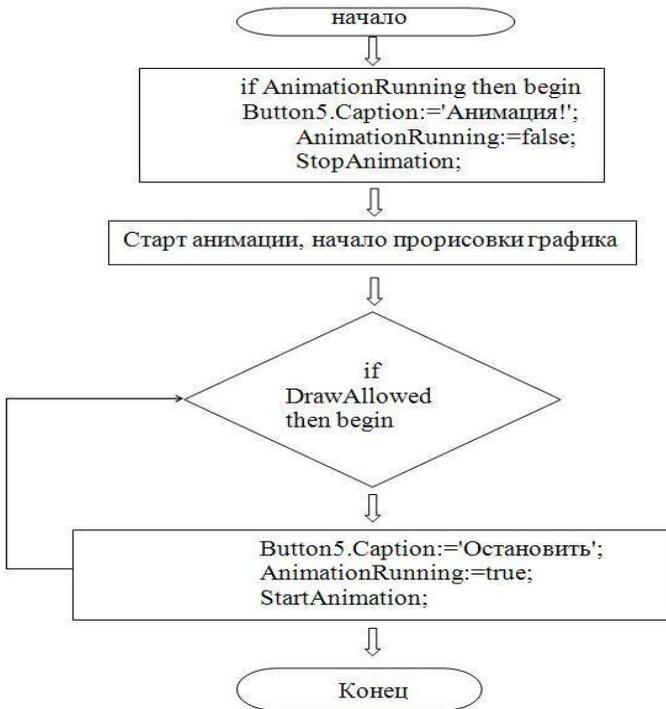


Рисунок 1 – Блок схема кнопки Анимация

По предложенному алгоритму составлена программа в среде программирования Delphi, которая позволяет исследовать потокораспределение в статоре асинхронного двигателя каскадного электрического привода [1-3] и изучить изменение магнитного потока в процессе работы машины [4-13].

Литература

1. Карандей В.Ю. Управляемый каскадный электрический привод / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Пат. РФ № 2402857 – 27.10.2010 г.
2. Карандей В.Ю. Управляемый каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Пат. РФ № 2461947 – 20.09.2012 г.
3. Карандей В.Ю. Аксиальный каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, О.Б. Попова // Пат. РФ № 2483415 – 11.03.2013 г.
4. Карандей В.Ю. Концепция расчета магнитной системы асинхронного двигателя специального электропривода / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, // Известия высших учебных заведений, Пищевая технология. Научно-технический журнал. – 2008. – № 1. – С. 101-103.
5. Карандей В.Ю. Математическое моделирование каскадных асинхронных электроприводов: в 3 т.: монография. ФГБОУ ВПО «КубГТУ». – Краснодар: Издательский Дом – Юг. Т. 1: Математическое моделирование магнитных систем электро-привода. – 2014. – 142 с., ISBN 978-5-91718-345-9 (Т. 1), ISBN 978-5-91718-344-2
6. Карандей В.Ю. Определение токов статора и ротора в каскадном электрическом приводе / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Известия высших учебных заведений, Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2008. – № 4. – С. 91-96.
7. Карандей В.Ю. Определение электромагнитной энергии и момента в каскадном электрическом приводе / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, А.В. Базык, Ю.Ю. Карандей // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского госу-

дарственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №03(097). – IDA [article ID]: 0971401039. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/39.pdf>, 0,625 у.п.л.

8. Карандей В.Ю. Программа расчета параметров и анимационного построения потокораспределения компонента асинхронного каскадного электропривода / Карандей В.Ю., Базык А.В., Афанасьев В.Л. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2015615828 от 25 мая 2015 г .

9. Карандей В.Ю. Программа расчета параметров и самоанимационного построения потокораспределения компонента асинхронного каскадного электропривода / Карандей В.Ю., Карандей Ю.Ю., Базык А.В. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2015615826 от 25 мая 2015 г .

10. Карандей В.Ю. Программа задания конструктивных параметров компонента асинхронного каскадного электропривода, статорной обмотки и визуального построения полученного потокораспределения / Карандей В.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2015615827 от 25 мая 2015 г .

11. Попова О.Б. Учёт неоднородности среды при расчёте магнитного поля. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №01(095). – IDA [article ID]: 0951401052. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/01/pdf/52.pdf>.

12. Попова О.Б. Решение полевых задач электротехники с помощью вторичных источников поля и рядов Фурье. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №09(093). – IDA [article ID]: 0931309040. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/09/pdf/40.pdf>.

13. Попова О.Б. Анализ связей в реальной и технической системах процесса оптимизации. Международный журнал экспериментального образования. – 2013, - №10, с. 405 – 408; URL: www/rae.ru/meo/?section=content&op=show_article&article_id=4259 (дата обращения: 22.10.2013)

СЕКЦИЯ 4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ И НИР

МЕТАДАННЫЕ В ПОМОЩЬ УЧЕБНОМУ ПРОЦЕССУ

И.И. Пашнина (к.п.н., доц.)

*ФГБОУ ВПО «Краснодарский государственный университет
культуры и искусств» (г. Краснодар, Россия)*

Ключевые слова: учебный процесс, метаданные в образовании, единая образовательная информационная среда, интернет-ресурсы.

Трудно отрицать происходящую на наших глазах виртуализацию учебного процесса. Проводимый из года в год опрос студентов позволяет сделать вывод, что библиотеку в образовательных целях посещают единицы, подавляющее большинство и не подозревают о существовании и возможностях систематического каталога и картотеки статей. В то же время отправной точкой поиска информации для подготовки к занятиям является Интернет. Но огромные объемы информации становятся преимуществом только тогда, когда разработаны механизмы их эффективного использования. К сожалению, современные поисковые системы далеко не всегда представляют релевантные ответы на запрос. На практике студенты, за редким исключением, просматривают не более первых 10-20 сайтов из сотен тысяч и порой даже миллионов, представленных поисковой машиной.

Преподавателями высших и средних учебных заведений все в большей степени используется эвристический потенциал мировых информационных ресурсов как метод повышения эффективности процесса обучения. [2] Этому способствует также интеграция образовательных информационных ресурсов в быстроразвивающуюся единую образовательную информационную среду. С этой целью в 2005-2008 гг. по заказу Федерального агентства по образованию была создана информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам", главным разработчиком про-

екта которой стало Федеральное государственное автономное учреждение Государственный научно-исследовательский институт информационных технологий и телекоммуникаций (ФГАУ ГНИИ ИТТ "Информика"). На сегодняшний день информационная система "Единое окно" объединяет в единое информационное пространство электронные ресурсы свободного доступа для всех уровней образования в России. Ее электронная библиотека является крупнейшим в Рунете хранилищем полнотекстовых версий учебных, учебно-методических и научных материалов с открытым доступом. Библиотека содержит более 30 000 материалов, поставщиками которых являются более трехсот российских вузов и других образовательных и научных учреждений. Основу наполнения библиотеки составляют электронные версии учебно-методических материалов, подготовленные в вузах, прошедшие рецензирование и рекомендованные к использованию советами факультетов, учебно-методическими комиссиями и другими вузовскими структурами, осуществляющими контроль учебно-методической деятельности.

Интегральный каталог образовательных интернет-ресурсов содержит представленные в стандартизированной форме метаданные внешних ресурсов, а также содержит описания полнотекстовых публикаций электронной библиотеки. Общий объем каталога превышает 56 000 метаописаний (из них около 25 000 - внешние ресурсы). Расширенный поиск в «Каталоге» осуществляется по названию, автору, аннотации, ключевым словам с возможной фильтрацией по тематике, предмету, типу материала, уровню образования и аудитории. В разделе «Избранное» представлены подборки наиболее содержательных и полезных, по мнению редакции, интернет-ресурсов для общего и профессионального образования. [1] Центральным хранилищем электронных образовательных ресурсов нового поколения является Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов (ФЦИОР). [6] Помимо этого, существует множество менее фундаментальных и авторитетных сайтов, предоставляющих доступ к образовательным информационным ресурсам. Так, сайт «Коллекции цифровых и электронных образо-

вательных ресурсов» посвящен движению ООР (открытые образовательные ресурсы).

Но как в этой уже достаточно полноводной реке сетевых образовательных ресурсов найти научную, доступную информацию именно по своей теме, предмету, специальности? С этой целью, помимо других средств, создают метаданные, назначение которых - управление процессами создания, хранения, обновления и обработки данных, а затем оптимального и выгодного применения. Именно с помощью метаданных потенциальный потребитель может оценить релевантность информационного ресурса.

Проблема наиболее эффективного поиска информации с использованием источников вторичной информации была на протяжении столетий предметом библиографии. Поэтому метаданные - это в основе своей далеко не новый феномен. Созданием и использованием источников вторичной информации для наиболее рационального поиска изначально занимались библиографы, разработавшие научно обоснованные, веками апробированные методики. Если еще 20-25 лет назад в качестве таких источников выступали, как правило, библиографические указатели, путеводители и другие издания на традиционных носителях, то в настоящее время это преимущественно электронные, сетевые аналоги: электронные каталоги и базы данных, содержащие разнообразную мультимедийную информацию. Разграничение данных и метаданных не является абсолютным. [3] Зачастую информационный ресурс можно рассматривать одновременно и как данные, и как метаданные, а метаданные отражают другие метаданные. Поскольку, в соответствии с обычным определением, метаданные являются данными, то можно создать метаданные на метаданные, метаданные на метаданные на метаданные и так далее, т.е. возможно создание мета-мета-...-метаданных.. Также как создавались библиографии библиографии - библиографические указатели 2-й степени, и даже библиографии 3-й степени. По уровню объекты метаописаний могут быть различны: от отдельных статей, разделов и глав монографий и научных трудов до огромных сложно структурированных массивов информации, сайтов, интернет-порталов, крупных архивов и библио-

тек. Большинство решений носит локальный, предметно-ориентированный характер, хотя есть тенденции использования для таких решений стандартных систем метаданных.

Стандарт метаданных предназначен для формального описания некоторой категории ресурсов (объектов, сущностей и т. п.). Такой стандарт обычно включает в себя набор полей (атрибутов, свойств, элементов метаданных), позволяющих характеризовать рассматриваемый объект. В сфере науки, культуры и образования используются форматы: DC, MODS, MARC, GILS, ONIX, PRISM, EADTD, CDWA MPEG7, LOM, CERIF. Так, упоминавшийся выше сайт ФЦИОР обеспечивает каталогизацию электронных образовательных ресурсов различного типа за счет использования единой информационной модели метаданных основанной на стандарте LOM (Learning Object Metadata).

Широкое внедрение метаданных для описания сетевых данных позволяет обеспечить поиск полезной информации по учебным дисциплинам. Но уже представленные на сайтах метаданные не охватывают все имеющиеся учебные курсы (тем более темы и вопросы) в системе высшего образования. Именно поэтому большую ценность имеют метаданные, созданные индивидуально каждым преподавателем по своей дисциплине, это гарантирует качество и релевантность каждого представленного в подобных метаданных информационного ресурса. Кроме того, это позволяет следовать принципам нестандартного, творческого подхода, рассмотрения различных точек зрения на ту или иную проблему. По мнению специалистов, помимо существующих международных стандартов метаданных, большую ценность имеют именно метаданные, созданные вручную.

В рабочих программах учебных дисциплин, создаваемых каждым преподавателем, есть раздел «Интернет-ресурсы», который, как нам кажется, должен представлять собой систему метаданных, отражающую ресурсы глобальной сети по всем разделам дисциплины, а в идеале – по всем темам и вопросам. Заметим попутно, что создание полноценной системы метаданных требует высокого профессионализма и огромных временных затрат, что на практике.

Одной из первоочередных задач при разработке метаданных в помощь учебному процессу должно стать установление минимальной глубины структуризации метаданных. Во многом глубина структуризации метаинформации зависит от объема самой учебной дисциплины, а также от количества удовлетворяющих требованиям сайтов в Интернете и доступности сетевых ресурсов (они могут быть платными). Исходя из этого, и узкопрофессиональные системы метаданных могут иметь достаточно большую степень детализации и структуризации данных. Следует помнить, что небольшая глубина ограничивает потенциал системы метаданных, но детальная разработка, а затем и наполнение структуры требует значительных временных затрат, усложняет процессы подготовки метаданных. В идеале необходимо выработать единую методику развития схем метаданных и детализации представления информации общую для всех учебных дисциплин, что позволит упростить процессы подготовки метаданных, а также в перспективе повысить функциональность системы.

В целом, помимо сайтов по тематике дисциплины, в метаданные можно включать сайты традиционных и электронных библиотек, сайты метаданных справочного характера. Рассмотрим подробнее каждый из предлагаемых компонентов.

Библиотеки. В настоящее время каждая уважающая себя библиотека, создав свой сайт, стремится развивать сетевые услуги, которые могут привлечь новых читателей и увеличить удаленную аудиторию пользователей. Прежде всего, критерием включения библиотек в систему метаданных может стать наличие у них литературы по профилю учебной дисциплины, а также возможность ее заказа в режиме электронной доставки документов. Поэтому преподаватель должен предварительно изучить соответствующие разделы электронного каталога и картотек, а в метаданных отразить соответствующую страницу сайта.

Электронные библиотеки. Это своеобразный вид информационно-поисковой системы. Как правило, электронная библиотека состоит из трех основных частей. Во-первых, фонда, состоящего из текстов, изображений, видео-, аудио- и метаданных, и включающе-

го как постоянную часть, так и временные коллекции с определенным периодом существования. Во-вторых, средств доступа, обладающих простой методикой поиска и механизмами обратной связи с пользователем. В-третьих, пользователей, которые работают с ресурсами электронной библиотеки без посредников, и не ограничены временем и местом. В Интернете из всего множества электронных библиотек можно выделить: тематические или научные репозитории, доступные в Сети и включающие документы/публикации; электронные репозитории с преобладанием элементов контента, созданных в рамках какого-либо проекта; коллекции публикаций или мультимедийных материалов, ранее существовавших в аналоговой форме, но оцифрованных для сетевого использования; веб-сайты библиотек, архивов, музеев и других организаций по культуре, которые можно определить как электронные библиотеки, поскольку они предлагают не только документацию и публикации, но и мультимедийные материалы.

Порталы. В отличие от сайта портал организует и облегчает доступ ко многим интернет-ресурсам, хаотично представленным в глобальной сети, достоверность и надежность которых трудно порой проверить. Порталы ориентированы, прежде всего, на специалистов (научных сотрудников, преподавателей и др.). Эта группа пользователей пользуется порталом, главным образом, для того, чтобы удовлетворить свои потребности, связанные с работой, приобретением на постоянной основе актуальных ноу-хау, проверкой информации, углублением знаний и т. п.

Сайты метаданных справочного характера. Старейшим по меркам Рунет (создан в 1996 году), но по-прежнему одним из самых популярных сайтов метаданных остается "Русская справочная библиотека". О его востребованности в сети говорит неизменное первое место по релевантности во всех ведущих поисковых системах. Сайт призван помочь ориентироваться в справочных ресурсах Интернета. Каждый источник снабжен краткой аннотацией, позволяющей оценить его пригодность для выполнения той или иной задачи. [5]

Одним из авторитетнейших сайтов метаданных является «Рубрикон». В настоящее время «Рубрикон» - крупнейший энциклопедический портал не только России, но и мира. На этом сайте представлено более пятидесяти наиболее известных отечественных энциклопедий, словарей и справочников. Все источники представлены в полнотекстовом виде с полным перечнем иллюстраций и пристатейными списками литературы. Внутренние ссылки между статьями превращены в гипертекстовые, что позволяет без труда переходить от статьи к статье, знакомясь со всеми аспектами изучаемой проблематики. Рубрикон отличает высокая скорость обработки запросов и комфортный пользовательский интерфейс. С июня 2003 года портал полностью перешел на коммерческое обслуживание клиентов по подписке. Предлагается несколько пакетов услуг, главный из которых "Все энциклопедии Рубрикона", включающий платный доступ ко всем источникам. При регистрации каждому клиенту предоставляется неделя бесплатного пробного доступа. К сожалению, сайт не содержит таких глубоких оценочных аннотаций как предыдущий. [4]

В Интернете можно найти и множество других менее авторитетных и популярных сайтов справочных метаданных. Но особый тип справочных сайтов – это веб-сайты типа вики. Это веб-сайт или совокупность гипертекстовых документов, редактировать которые могут сами пользователи. Каждая страница вики, как правило, содержит большое число ссылок на другие страницы. Ярким примером вики является всемирно известная и такая популярная у студентов Википедия (основана в 2001 г. под названием «Nupedia»). Если говорить о преподавателях, то большинство из них раздражают часто встречающиеся ошибки, искажение фактов, поверхностность суждений коллективных авторов Википедии, считающих себя профессионалами. Такому контенту не стоит безоговорочно доверять.

При анализе отобранных интернет-ресурсов важно оценивать каждый сайт не только с точки зрения соответствия дисциплине, теме, вопросу его контента, но и другие параметры. Экстраполируя требования к веб-сайту по культуре на сайт, включаемый в образовательные метаданные, можно руководствоваться Вось-

мым принципом качества проекта европейской сети MINERVA, который гласит: «Качественный веб-сайт должен быть связующим звеном между пользователями и другими веб-сайтами..., чтобы предоставить возможность легко находить те информационные ресурсы и услуги, которые могут быть необходимы пользователям». В соответствии с другими принципами качества веб-сайтов, разработанными членами сети MINERVA, веб-сайт должен предоставлять пользователям хорошо структурированный и организованный контент, удобство работы, включать функциональную графику, обладать простотой навигации. [7]

Другая проблема состоит в том, что студентам необходимо представлять не просто перечень рекомендуемых сайтов, но и сопровождать каждый из них сведениями о содержании отдельных документов и сайта в целом. В этом плане наиболее удобным непосредственно для человека (в отличие от автоматизированной системы) будет текст на естественном языке в виде аннотации. Поэтому аннотации должны стать важной частью систем метаданных, разрабатываемых преподавателями.

Размещать метаданные, на наш взгляд, необходимо на сайтах вузов, объединяя их в базах данных учебных дисциплин по каждой специальности. Каждая тема дисциплины будет сопровождаться метаданными, причем, представленные в метаданных сайты тут же активизируются по гиперссылке. Наиболее доступная каждому пользователю в настоящее время СУБД – это входящая в стандартный пакет Microsoft Office СУБД Microsoft Office Access. Практически каждый пользователь, работающий с Windows, имеет доступ к этой СУБД, поэтому логично для разработки и создания образовательных баз данных использовать именно эту программу, как наиболее простую и демократичную на сегодняшний день.

В настоящее время далеко не все сайты учебных заведений размещают профильные метаданные в помощь образовательному процессу. Задача создания метаданных по изучаемым специальностям должна быть поставлена перед коллективом преподавателей. В перспективе необходима постоянная актуализация представленных данных, дополнение и редактирование разделов новыми авторитетными сайтами, выделение новых разделов по всем дисциплинам, преподаваемым в вузе. Со временем по каждой учебной дис-

циплине система метаданных сможет соответствовать одной из важнейших ее характеристик - глубине структуризации.

При условии понимания всей объемности и кропотливости работы по созданию метаданных для каждой учебной дисциплины со стороны руководства вузов, а также соответствующей материальной стимуляции или включения этой деятельности в учебную нагрузку (с выделением достаточного количества часов), такой работой необходимо заниматься каждому преподавателю. Подобные разработки помогут удовлетворить потребности, связанные с учебной и работой студентов, аспирантов, слушателей курсов повышения квалификации, преподавателей.

Литература

1. Единое окно доступа к образовательным ресурсам [Электронный ресурс]. URL: [http:// window.edu.ru](http://window.edu.ru). (дата обращения: 1.12.2014).
2. Пашнина И.И. Использование эвристического потенциала метаданных музеев в учебном процессе// Культурное наследие: путь к единству: четырнадцатая медунар. конф. АДИТ. Краснодар, 2010. С. 40-43.
3. Пашнина И.И., Полюшкин В.Г. Проблемы создания и использования сайтов метаданных по музыкальной культуре в учебном процессе// Музыкальная педагогика, делающая мир лучше: международн. науч. конф. Нью-Йорк-Краснодар, 2014. С. 89-94.
4. Рубрикон. Энциклопедии. Словари. Справочники [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rubricon.com>. - Загл. с экрана. – Проверено 07.03.2011.
5. Русская справочная библиотека [Электронный ресурс]. URL: <http://library.vadimstepanov.ru>. (дата обращения: 15.03.2015).
6. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов [Электронный ресурс]. URL: [http:// fcior.edu.ru](http://fcior.edu.ru). (дата обращения: 15. 03.2015).
7. MINERVA EC Website [Электронный ресурс] URL: http://www.MINERVAeurope.org/publications/qualitycriteria1_2draft/cap1.htm. (дата обращения: 1. 03.2015).

ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ САПР В ПРЕПОДАВАНИИ ГРАФИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

А.П. Борзунов (к.т.н., доц.)

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

Технологии и методики применения современных систем автоматизированного проектирования (САПР) в преподавании графических дисциплин в техническом вузе в настоящее время представляют собой одну из важных проблем при организации учебного процесса [1]. В силу ряда причин, в том числе из-за отсутствия начальной чертежной подготовки в средней школе достижение требуемого качества графической подготовки студентов в технических вузах является насущной педагогической проблемой. Для ее решения требуются новые технологии и методики, новые инновационные подходы к теории моделирования системы обучения графическим дисциплинам в техническом вузе [2]. Одним из таких подходов представляется разработка и внедрение в учебный процесс информационно-технологической педагогической системы на основе функционального и дидактического потенциала САПР, которые будут являться базовой основой при изучении как традиционных дисциплин «ручной» графики, так и освоении компьютерного моделирования, в том числе в условиях дефицита учебного времени [2].

В настоящее время требования к знаниям и умениям студентов по использованию САПР в курсовом и дипломном проектировании в технических вузах постоянно возрастают. В то же время использование САПР в промышленном производстве для создания конструкторской и технологической документации по факту признано обязательным требованием, что накладывает особую ответственность за подготовку будущих специалистов в вузе по данному вопросу. Необходима разработка и обоснование концептуальной модели процесса графической подготовки студентов с использованием информационной обра-

зовательной среды на основе САПР, осуществление проектирования его информационно-дидактического обеспечения [3].

Использование САПР в учебном процессе позволит повысить эффективность обучения студентов работе с интеллектуальными компьютерными системами автоматизированного проектирования, поднять общий уровень подготовки студентов по графическим и общеинженерным дисциплинам, способствуя формированию компетентности будущих специалистов по использованию конструкторско-графических модулей параметрических систем автоматизированного проектирования [3].

Литература

1. «Применение современных информационных и инновационных технологий в преподавании графических дисциплин в техническом вузе» «Технические и технологические системы». Материалы V Межд. научно-практ. конф. 10-11 октября 2013г. Краснодар, 2013.

2. Вязанкова, В.В. Квалиметрическая диагностика степени информатизации образовательного процесса / В.В. Вязанкова, М.Л. Романова// Открытое образование. – 2013. – №4. Режим доступа: URL. – www.e-joe.ru/

3. Вязанкова, В.В. Информатизация образования как фактор формирования информационной компетентности студентов / В.В. Вязанкова, М.Л. Романова//Открытое и дистанционное образование. – 2014. – №1(53). С. 54-59.

МЕТОД УСИЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТА В ДИСТАНЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ

О.Б. Попова (к.т.н., доц.), Б.К. Попов (к.т.н., доц.)
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

Цель нашего исследования – поиск и реализация новых методов в системе дистанционного образования.

В ВУЗах, в основном, используется модульное обучение, позволяющее контролировать предлагаемый учебный материал,

последовательность его изучения, уровень и качество его усвоения. Новые технологии используются лишь в отдельных единичных лекциях или лабораторных работах с личными авторскими разработками. Например, проблемная лекция.

Решением может стать новый способ представления учебной информации посредством встроенных элементов курса, соединяющий модульное обучение с трендами дистанционного обучения.

Нами предложено применить принципы искусственного интеллекта в системе дистанционного образования. Мы выделили нужные нам направления в реализации искусственного интеллекта, а также методы усиления интеллекта, которые можно реализовать в системе дистанционного образования.

Эти методы базируются на индивидуальном или коллективном опыте, который используется для решения задач выбора. Эта концепция соответствует современным методологиям дистанционного обучения. К сожалению, она редко используется в классическом и дистанционном обучении.

В этой концепции должен быть использован метод усиления человеческого интеллекта, включающий передовые способы представления данных – учебных знаний, предлагаемых студентам в обучаемой дисциплине, то есть структурирование информации в пригодном для запоминания виде [3 – 5, 7].

Для структурирования материала надо иметь глубокие комплексные знания. Но не все могут самостоятельно это делать. Студенты, так же, при большом объёме информации, могут испытывать достаточные затруднения.

Эффективным современным методом усиления интеллекта мог бы стать метод ментальных карт, который использует структурирование исходной информации. Его можно было бы использовать в наших целях. Но данный метод построен на запоминании учебной информации наизусть, не фокусируя внимание на сути запоминаемого материала. Следовательно, для усиления интеллекта в дистанционном обучении требуется усовершенствование метода ментальных карт.

Естественное же структурирование учебной информации позволяет усилить свой интеллект самостоятельно. Если же сочетать данный алгоритм с возможностями вычислительной техники, то можно получить более продуктивный метод усиления интеллекта.

Поэтому мы предлагаем структурировать учебную информацию при помощи бинарного дерева системы вопросов и ответов [1, 6].

Студентам можно предложить построить указанное дерево системы вопросов и ответов, как решение поискового исследования по заданной теме.

Такое задание может выполняться в рамках лабораторной работы, курсового проекта или научного исследования аспиранта [1]. Результат выполнения можно легко проверить и оценить по следующим параметрам – достоверность полученной структуры, степень проработки каждой группы учебной информации, личный вклад студента. Так же можно провести тестирование по учебной информации.

Нами был предложен метод реализации бинарного дерева системы вопросов и ответов в открытой системе дистанционного обучения. Для этого мы изучили элементы курса и ресурсы, встроенные в открытую систему дистанционного обучения, например, moodle. Среди всех элементов нами был подобран один элемент, который смог отразить элементы и свойства бинарного дерева системы вопросов и ответов – это Лекция.

Литература

1. Попова О.Б. Интеллектуальная система выбора как результат выполнения учебно-исследовательских проектов. [Текст]/ Научные труды Кубанского государственного технологического университета, 2014, №54. С. 262-264.

2. Попова О.Б. Бинарное дерево выбора знания из области знания, используя систему вопросов и ответов. Теория и практика. [Текст]/ Попов Б.К., Ключко В.И.: монография, ООО «Издательский Дом – Юг». Краснодар, 2013.

3. Попова О.Б. Определение связей в технической системе процесса выбора знания из области знаний. [Текст]/ Попов Б.К. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2013, №92. С. 416 – 425.

4. Попова О.Б. Исследование реальной системы процесса выбора знания из области знаний. [Текст]/ Попов Б.К. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2013, №91. С. 509 – 520.

4. Попова О.Б. Рекомендации к использованию разработанной теории для синтеза технической системы (ТС) процесса выбора знания из области знания. [Текст]/ Попов Б.К., Ключко В.И. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2013, №93. С. 628 – 645.

5. Попова О.Б. Функция выбора, как математический объект и её правила, реализованные бинарным деревом системы вопросов и ответов. [Текст]/ Научные труды Кубанского государственного технологического университета, 2014, №2. С. 61 – 70.

6. Попова О.Б. Применение теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) для решения задач выбора. [Текст]/ Научные труды Кубанского государственного технологического университета, 2014, №6. С. 74 – 76.

ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ГОРОДЕ КРАСНОДАРЕ

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

*ФГБОУ ВПО «Краснодарский государственный университет культуры и искусств» (г. Краснодар, Россия)

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

В настоящее время состояние атмосферного воздуха – самая насущная и актуальная проблема современного общества. Последствия этого воздействия сказываются не только на нынешнем поколении, но и могут отразиться и на будущем поко-

лении, если не принимать серьёзные меры по снижению и даже устранению последствий воздействия [1].

Под атмосферным загрязнением понимают присутствие в воздухе газов, паров, частиц, твердых и жидких веществ, тепла, колебаний, излучений, которые неблагоприятно влияют на человека, животных, растения, климат, материалы, здания и сооружения [2].

В городе Краснодаре, по данным наблюдений на трех пунктах наблюдения загрязнения (ПНЗ), отмечается тенденция к снижению уровня загрязнения атмосферного воздуха взвешенными веществами, сероводородом и бенз(а)пиреном. Загрязнение атмосферы диоксидом азота, оксидом азота, диоксидом серы, фенолом и формальдегидом повышается.

Токсичность атмосферного определяется, в основном, оставшимся 0,1-1% объема отработавших газов, в который входят вещества, образующиеся в результате термического синтеза из воздуха при высоких температурах (оксиды азота NO_x), продукты неполного сгорания топлива (монооксид углерода CO , углеводороды C_xH_y , дисперсные твердые частицы, основным компонентом которых является сажа), а также оксиды серы SO_x , альдегиды, продукты конденсации и полимеризации [3].

Доля NO_x в суммарных токсичных выбросах составляет 30-80% по массе и 60-95% по эквивалентной токсичности. Токсичность N_2O в семь раз выше токсичности NO [2]. Из оксидов азота 80-90% приходится на монооксид азота NO и 10-20% – на диоксид азота. Монооксид азота является нестабильным компонентом. В атмосфере при нормальных условиях монооксид азота NO окисляется до диоксида NO_2 в течение от 0,5 до 100 часов, в зависимости от концентрации в воздухе.

Из газообразных выбросов оксиды серы SO_x и ее соединения занимают одно из лидирующих положений по степени опасности для природы и человека. Диоксид серы сохраняется в атмосфере от нескольких часов до нескольких дней, а затем окисляется до высшего оксида (триоксида) SO_3 [3].

Показатель загрязнения атмосферного воздуха в целом по городу Краснодару в 2014 году, с учетом измененных нормативов ПДКс.с. и ПДКм.р. формальдегида, значительно уменьшился по сравнению с предыдущим годом, и загрязнение оценивалось как повышенное (II степень). На протяжении длительного ряда предыдущих лет загрязнение города оценивалось как высокое (III степень). Изменения величин ПДК формальдегида, согласно Постановлению Главного государственного санитарного врача РФ от 17 июня 2014 года № 37, резко уменьшили статистические характеристики этой примеси, и, как следствие, расчетный уровень загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА) в целом по городу.

Таблица 1. Основные вредные свойства отработавших газов в атмосферном воздухе

Компонент отработавших газов	Вредное свойство
Оксид углерода, оксиды азота, оксиды серы, углеводороды, альдегиды	Токсичность
Акролеин, формальдегид, оксиды серы, углеводороды	Раздражение слизистых носа, горла и глаз
Бенз(а)пирен	Канцерогенное действие
Альдегиды, углеводороды	Неприятный запах
Сажа, смолы, минеральные аэрозоли, частицы и пары топлива и масла	Дымность

Монооксид углерода (угарный газ) CO присутствует в атмосфере в очень малых количествах, а в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания его содержание может достигать очень значительных величин. Монооксид углерода CO по сравнению с диоксидом CO₂ менее стабилен. Время его существования в атмосфере составляет от 2 до 42 месяцев.

Углеводороды C_xH_y – это многочисленная группа соединений, представляющих следующие гомологические ряды: парафины, олефины, нафтены, ароматические углеводороды (в том числе – полициклические ароматические углеводороды – ПАУ). Наиболее значимыми из них являются легкие газообразные углеводороды (метан CH_4 , этан C_2H_6 , пропан C_3H_8 , этилен C_2H_4 , ацетилен C_2H_2 и ряд других) и ПАУ. На долю метана приходится лишь 2-6%. Наиболее представительными из них являются неканцерогенные пирен, флуорантен и слабо-токсичный хризен, а наиболее опасным – фенантрен $C_{14}H_{10}$ и особенно, бенз(а)пирен $C_{20}H_{12}$.

Наиболее загрязнен воздух в районе поста наблюдения, расположенного вблизи автомагистрали с интенсивным движением транспорта (пересечение улиц Ставропольская и Таманская). Загрязнение воздуха здесь обусловлено примесями, поступающими с выхлопными газами: формальдегид, бенз(а)пирен, оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, фенол. Наибольшее значение показателя НП относится к оксиду углерода (НП = 2%). ИЗА в этом районе выше, чем в целом по городу и составляет 5,4 (7,1 – с учетом прежней ПДКс.с формальдегида).

Бенз(а)пирен является наиболее типичным химическим канцерогеном окружающей среды, он опасен для человека даже при малой концентрации, поскольку обладает свойством биоаккумуляции. Будучи химически сравнительно устойчивым, бенз(а)пирен может долго мигрировать из одних объектов в другие. В результате многие объекты и процессы окружающей среды, сами не обладающие способностью синтезировать бенз(а)пирен, становятся его вторичными источниками. Бенз(а)пирен оказывает также мутагенное действие. Из сотен полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) различного строения, обнаруженных в объектах окружающей среды, бенз(а)пирен наиболее приоритетен для мониторинга.

Сажа является одним из наиболее значимых токсичных компонентов отработавших газов. Сажа состоит, в основном, из углерода С (95-98%) и химически связанного водорода Н (3-5%).

Загрязнение атмосферы города Краснодара в последнее десятилетие явилось итогом промышленно-хозяйственной деятельности человека по сравнению с другими составляющими природной среды (вода, почва, растительность).

Общее количество веществ, выброшенных стационарными и передвижными источниками, составляет свыше 200, значительная часть которых является токсичными.

Сероводород, диэтиловый эфир, хлор, серная кислота, хлористый водород, ацетон и другие высокотоксичные вещества выбрасываются предприятиями нефтехимической, химической и медицинской промышленности. Твердые и газообразные вещества - сернистый ангидрид, оксиды углерода и азота, углеводороды - выбрасываются в атмосферу строительными, металлургическими, топливными предприятиями. Оксид углерода, оксиды азота, углеводороды выбрасываются карбюраторными двигателями, а оксид азота и сажа – дизельными.

Проблема состояния воздуха города Краснодара требует постоянного поиска эффективных способов снижения токсичности газов, попадающих в воздушный бассейн.

Литература

1. Щавелев, Д.В. Экологически безопасный судовый двигатель / Д.В. Щавелев // Всероссийская выставка научно-технического творчества молодежи / Сб. материалов. – М.: ГАО ВВЦ, 2004. – С.262-264.
2. Комплексная очистка дымовых газов теплогенерирующих установок. Монография. / Комиссаров К.Б., Лутков С.А., Филь А.В. – Ростов н/Д.: Филиал ФГОУ ВПО «Морская государственная академия имени адмирала Ф.Ф. Ушакова» в г. Ростове-на-Дону, 2007. – 134 с.
3. Доклад «О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2014 году».
4. Чумаковский, Н.Н., Экология Краснодарского края: Учебное пособие./ Н.Н. Чумаковский, С.Б. Криворотов, – Краснодар.: КСЭИ, Куб ГУ, 2003.- 295 с.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ

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

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

** *ФГБОУ ВПО «Краснодарский государственный университет
культуры и искусств» (г. Краснодар, Россия)*

Загрязнение атмосферного воздуха является одним из главных факторов, негативно влияющих на здоровье населения. Проблема загрязнения атмосферного воздуха наиболее характерна для городов края. Качество атмосферного воздуха в Краснодарском крае определяется выбросами загрязняющих веществ от стационарных источников, расположенных на его территории, и передвижных источников.

На состояние атмосферного воздуха в Краснодарском крае также негативно влияют следующие природные факторы: высокая интенсивность солнечной радиации, слабые ветры, застои атмосферного воздуха, которые способствуют протеканию фотохимических реакций с образованием загрязняющих веществ и их последующему накоплению в приземном слое атмосферы[2].

Система управления качеством атмосферного воздуха в Краснодарском крае включает: государственный мониторинг качества атмосферного воздуха; установление нормативов выбросов вредных веществ в атмосферный воздух стационарными и передвижными источниками на основании результатов расчёта концентраций вредных веществ, содержащихся в выбросах, в приземном слое атмосферы; контроль соблюдения установленных нормативов выбросов; разработку и выполнение планов мероприятий, направленных на снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу[2].

Мониторинг является важнейшей частью экологического контроля, который осуществляет государство. Главная цель мониторинга – наблюдение за состоянием окружающей среды и уровнем ее загрязнения. Не менее важно своевременно оценить

и последствия антропогенного воздействия на биоту, экосистемы и здоровье человека, а также эффективность природоохранных мероприятий. Но мониторинг – это не только слежение и оценка фактов, но и экспериментальное моделирование, прогноз и рекомендации по управлению состоянием окружающей среды. По территориальному охвату различают три ступени, или блока, современного мониторинга локальный биоэкологический, санитарно-гигиенический, региональный (геосистемный, природно-хозяйственный) и глобальный (биосферный, фоновый) [3].

Мониторинг атмосферного воздуха Краснодарского края включает систему наблюдений за состоянием загрязнения атмосферного воздуха и происходящими в нём природными явлениями, оценку и прогноз состояния атмосферного воздуха. На постах наблюдения проводятся инструментальные наблюдения за состоянием загрязнения атмосферного воздуха (на стационарных постах автоматического контроля и на передвижных маршрутных постах).

Постоянным наблюдениям подвергаются следующие загрязняющие вещества, наиболее опасные для природных экосистем и человека: оксиды углерода, азота, диоксид серы, озон, пыль, аэрозоли, тяжелые металлы, радионуклиды, пестициды, бенз-а-пирен, азот, фосфор, углеводороды.

Данные о содержании (концентрации) вредных веществ в атмосферном воздухе, полученные в процессе инструментальных наблюдений, используются для расчёта и оценки интегрального показателя загрязнённости воздушного бассейна населенного пункта – индекса загрязнения атмосферы (ИЗА). Результаты анализа данных наблюдений и выводы о сохранении, либо изменении уровней загрязнения атмосферного воздуха, о существовании и значимости проблем в данной сфере являются важным элементом информационной поддержки реализации задач государственного надзора и контроля соблюдения на территории края воздухоохранного законодательства, в первую очередь, соблюдения хозяйствующими субъектами установленных нормативов выбросов вредных веществ в атмосферу.

Экологический мониторинг является комплексным мониторингом биосферы. Он включает в себя контроль изменений состояния окружающей среды под влиянием как природных, так и антропогенных факторов [2].

Подготовленная информация ориентирована также на её использование в целях комплексной оценки последствий влияния неблагоприятных факторов окружающей среды на состояние здоровья населения, наземные и водные экосистемы, а также подготовки управленческих решений по планированию и финансированию воздухоохраных мероприятий. Кроме того, информация о динамике и фактических уровнях загрязнения атмосферы позволяет использовать эти данные для оценки эффективности осуществления воздухоохраных мероприятий с учётом тенденций и динамики происходящих изменений [1, 2].

При существующих темпах развития промышленного комплекса и роста числа автотранспортных средств на территории Краснодарского края на ближайшие годы можно прогнозировать увеличение объёмов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и, как следствие, ухудшение экологической ситуации. Для решения проблемы загрязнения воздушного бассейна городов края необходимо разработать единую систему мониторинга источников загрязнения атмосферного воздуха на территории края, что позволит существенно повысить эффективность управления качеством атмосферного воздуха, а также обеспечить более активное инвестирование в воздухоохранную деятельность.

Литература

1. Белюченко, И.С. Экология Краснодарского края (Региональная экология): Учебное пособие./И.С. Белюченко. – Краснодар.: ФГОУ ВПО «Кубанский ГАУ», 2010. - 356 с.
2. Доклад «О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2014 году».
3. Чумаковский, Н.Н., Экология Краснодарского края: Учеб пособ./ Н.Н. Чумаковский, С.Б. Криворотов. – Краснодар.: КубГУ, 2003. – 295 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ КОАКСИАЛЬНОЙ ПАРЫ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Н.В. Руденко* (к.т.н., доц.), В.В. Животиков**

**Донской государственный технический университет*

*** Ростовский филиал Московского государственного технического
университета гражданской авиации
(г. Ростов-на Дону, Россия)*

Актуальность вопроса. При формировании компетенций бакалавров по направлениям подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и 162500 «Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов» в рамках дисциплин «Теория электрических цепей» и «Теория электромагнитного поля» особую актуальность приобретает изучение электромагнитных процессов в коаксиальном кабеле на основе новых информационно-педагогических технологий.

Этот вид кабеля широко применяется для передачи высокочастотного сигнала в различных областях техники: в системах связи; в вещательных и компьютерных сетях, в антенно-фидерных системах, в системах дистанционного управления, измерения и контроля, в системах объективного контроля и видеонаблюдения, в каналах связи различных радиоэлектронных устройств летательных аппаратов и др. [1].

Таким образом, применение методов компьютерного моделирования электромагнитных процессов в коаксиальных парах, а также информационно-педагогических технологий обучения на их основе с целью повышения эффективности учебного процесса является актуальной научно-технической задачей.

Решение. Благодаря совпадению осей обоих проводников у идеального коаксиального кабеля оба компонента электромагнитного поля полностью сосредоточены в пространстве между проводниками (в диэлектрической изоляции). Диаграмма

изменения напряженности магнитного поля при прохождении тока по обоим проводникам приведена на рис. 1.

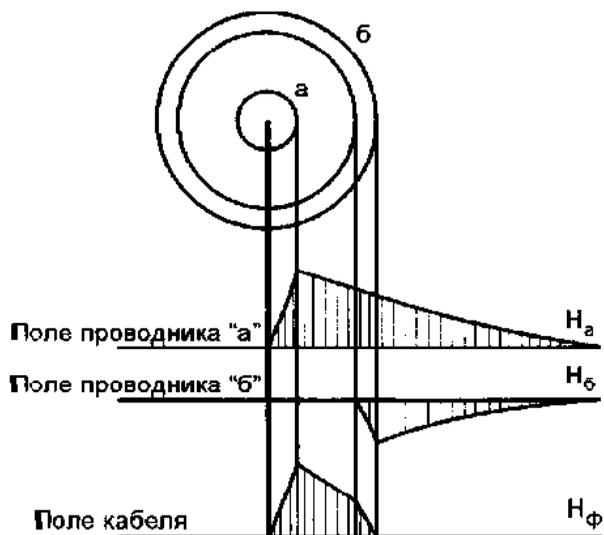


Рисунок 1 – Магнитное поле коаксиальной пары

На рис. 1 обозначено: H_a – напряженность поля, создаваемая током во внутреннем проводнике, H_b – напряженность поля, создаваемая током во внешнем проводнике.

Ток во внешнем проводнике имеет обратное направление, следовательно, напряженность имеет отрицательный знак. Из диаграммы видно, что магнитное поле, создаваемое обоими токами, сосредоточено, главным образом, между проводниками, а за пределами внешнего проводника оно практически отсутствует. При отсутствии магнитного поля отсутствуют потери в ближайших металлических массах (оболочке, броне). Это исключает потери электромагнитной энергии на излучение и защищает кабель от внешних электромагнитных наводок [1-2].

Анализ численные методов расчета электромагнитных процессов позволил сделать вывод о целесообразности исполь-

зования для исследования электромагнитного поля коаксиальной пары методом конечных разностей (МКР) [3].

Анализ возможностей наиболее доступных программ для инженерно-математических расчетов показал, что в настоящий момент единственным программным продуктом, позволяющим визуализировать решение, полученное методом конечных разностей, является программа *MATLAB*. В современных версиях *MATLAB* входит модуль для решения рассматриваемых задач *Toolbox Partial Differential Equations (PDE)*.

Алгоритм работы с данным модулем *MATLAB* при решении задач численного моделирования электромагнитного поля (ЭМП) предусматривает отработку следующих вопросов [4]:

- выбор типа решаемой задачи;
- формирование на экране компьютера плоской области поиска решения (программа решает только двухмерные задачи);
- задание значений числовых параметров, входящих в уравнение Максвелла, описывающее поле в решаемой задаче;
- задание граничных условий для характеристики поля;
- формирование расчетной сетки;
- настройка параметров графического представления решения;
- решение задачи с помощью процедуры МКР;
- вывод на экран результатов решения задачи.

Рассмотрим последовательность действий при решении задачи виртуального исследования ЭМП в программе *MATLAB*. Чтобы открыть окно модуля *Toolbox Partial Differential Equations*, необходимо запустить программу кнопкой *Start*, затем в меню инструментов *Toolboxes* выбрать *Partial Differential Equations*. Окно *MATLAB* после запуска модуля *PDE* показано на рис. 2.

В начале решения новой задачи необходимо в меню *Options* выбрать тип решаемой задачи (*Application*). Выберем *электростатику*.

В рабочем окне программы формируется область поиска решения. При этом используются *пиктограммы* с изображения-

ми геометрических фигур (прямоугольников, окружностей и др.) или меню рисования *Draw*, в котором указаны их названия.

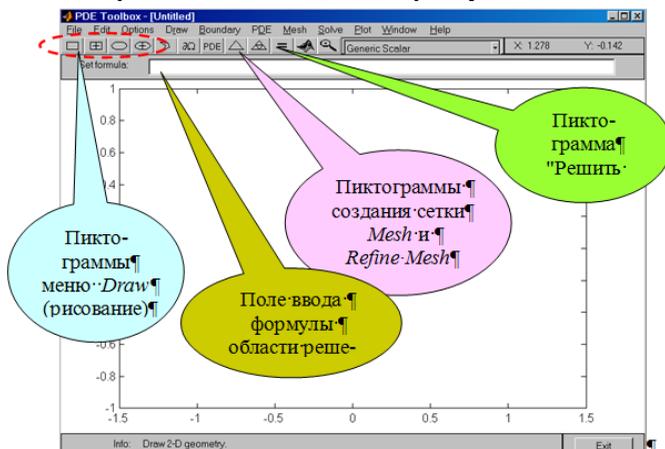


Рисунок 2 – Рабочее окно модуля *PDE*

Для расчета электростатического поля между двумя цилиндрами нарисуем область $E1$ и из неё вычитаем область $E2$ (рис. 3).

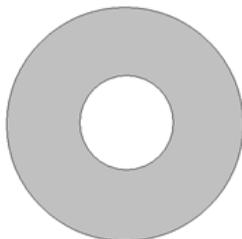


Рисунок 3 – Область поиска решения после обработки формулы $E1 - E2$

Зададим числовые параметры решаемого дифференциального уравнения. Для этого в меню *PDE* выбирается пункт *PDE Specification*. В результате на экране появится соответствующее диалоговое окно (рис. 4).

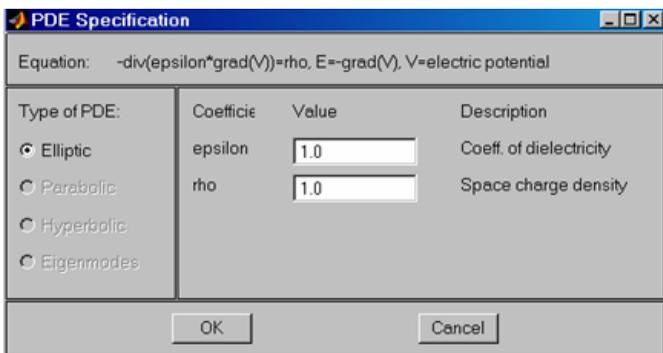


Рисунок 4 – Окно задания параметров решаемого уравнения

В рассматриваемом случае электростатической задачи по умолчанию решается уравнение Пуассона, записанное в виде

$$-\operatorname{div}(\varepsilon_a \operatorname{grad} V) = \rho.$$

В правых полях ввода задаются параметры уравнения:

- относительная диэлектрическая проницаемость ε (*coeff. of dielectricity*) - по умолчанию равна 1,0;
- объемная плотность заряда ρ (*Space charge density*) - по умолчанию равна 1,0.

Зададим граничные условия. Для этого в меню *Boundary* включается режим *Boundary Mode*. В результате на экране все границы области решения, разделенные на сектора (*Boundary Subdomain*) выделяются красным цветом (рисунок 5). Щелчком мыши выбирается участок границы, который окрашивается в черный цвет (при необходимости объединения нескольких сегментов нужно щелкнуть по всем ним, удерживая при этом клавишу " \uparrow Shift"). Затем включается режим численного определения граничных условий *Specify Boundary Condition*.

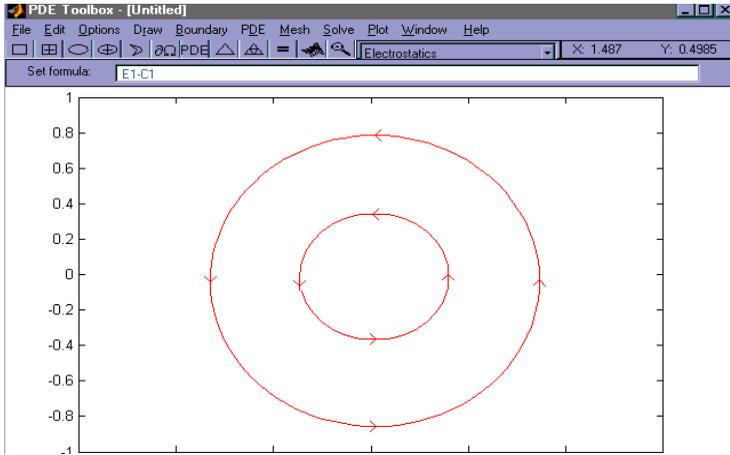


Рисунок 5 - Вид окна *MATLAB* в режиме *Boundary*

В полях ввода соответствующего диалогового окна задаются граничные условия в форме Дирихле или в форме Неймана.

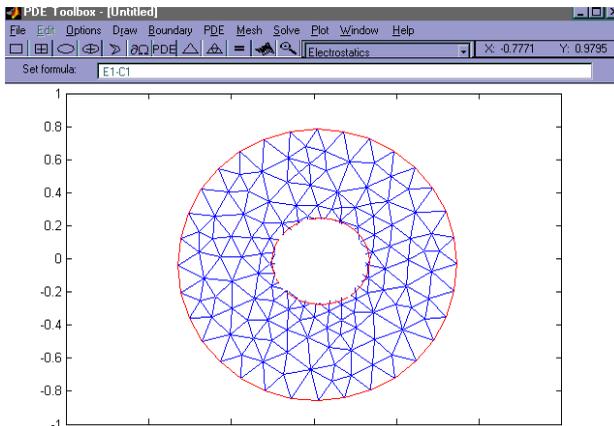


Рисунок 6 – Расчетная сетка на области поиска решения

Формируем расчетную сетку для решения задачи методом конечных элементов. Область решения накрывается расчет-

ной сеткой с помощью команды *Mesh Mode* меню *Mesh* или щелчком по пиктограмме "▲" (рис. 6).

При необходимости увеличить точность решения (уменьшить шаг сетки) выполняется команда *Refine Mesh* (рис. 7).

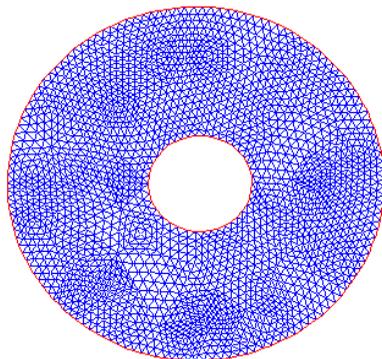


Рисунок 7 - Расчетная сетка с уменьшенным шагом

Запускаем процедуру решения уравнения. Для этого необходимо выполнить команду меню *Solving* или просто щелкнуть мышью на пиктограмму «= \Rightarrow ». По умолчанию на экран будет выведена картина распределения электрического потенциала в цветовой гамме "Cool". Содержание выводимой на экран информации можно корректировать с помощью меню *Plot* в окне подменю *Plot params* (рис. 8).

Программа позволяет отобразить на экране картину распределения всех известных характеристик поля - в поле ввода *Property* выбираем напряженность \vec{E} , индукцию \vec{D} или потенциал V . Для этих же величин могут быть изображены эквипотенциальные поверхности "Contour". Для векторных величин могут быть изображены силовые линии поля "Arrows". Результат решения может быть изображен в различной цветовой гамме "Colormap".

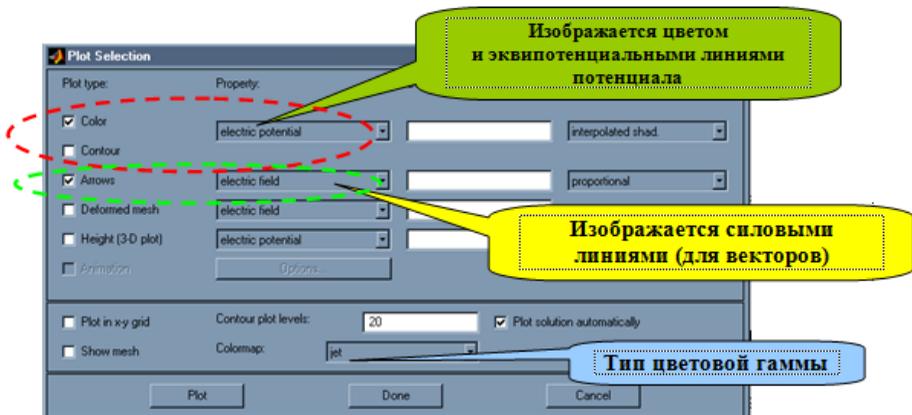


Рисунок 8 – Настройка отображаемой информации - решения задачи

На основе изложенного выше алгоритма можно получить выполнить моделирование электрического поля коаксиальной пары. Результаты этого моделирования представлены на рис. 9. Здесь показаны эквипотенциальные линии электрического потенциала и векторы напряжённости электрического поля.

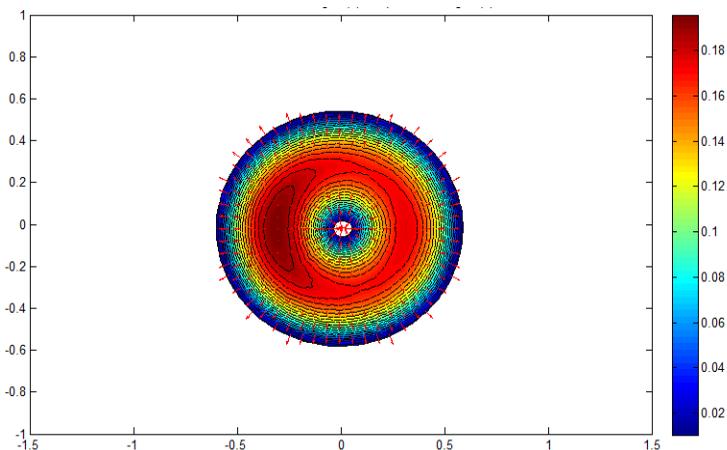


Рисунок 9 – Результаты моделирования электрического поля коаксиальной пары

С помощью с помощью меню *Plot* можно представить эту модель в объемном виде на рис. 10

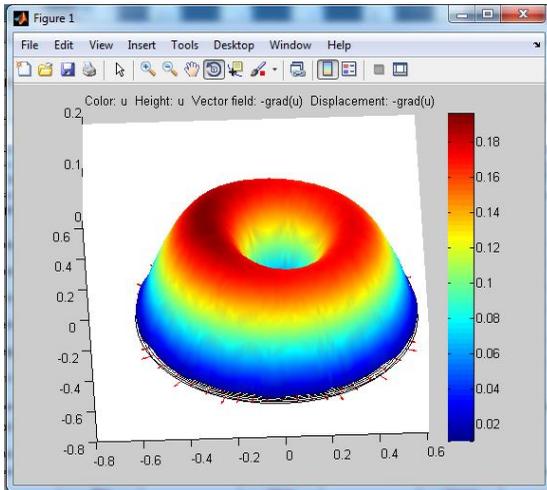


Рисунок 10 – Объемная модель электрического поля коаксиальной пары

В цветовой гамме "Jet" изображено распределения потенциала V , а силовые линии показывают направление вектора E .

С помощью цветовой палитры показано распределение в пространстве электрического потенциала, убывающего пропорционально квадрату расстояния от заряда. Кроме того, на рисунке показаны силовые линии электрического поля, начинающиеся на заряде и радиально направленные в пространство.

Возможности исследования разработанной модели для исследования представлены на рис. 11.

Она позволяет исследовать зависимость электрического потенциала и напряженности поля от радиуса. При этом используется следующая функция модуля *PDE*: для определения точного значения характеристики поля в конкретной точке необходимо навести указатель мыши в эту точку. При этом, в верхнем правом углу экрана показываются координаты X и Y , а при на-

жати правой кнопки мыши в нижней части экрана показывает величина изображенной характеристики поля.

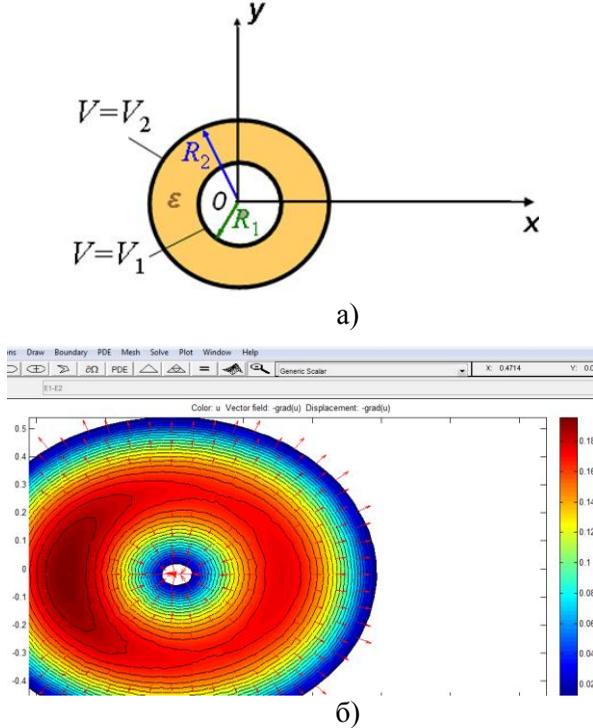


Рисунок 11 - Исследование зависимостей электрического потенциала и напряженности поля от радиуса $V(r)$ и $E(r)$: а) к условию задачи; б) увеличенная и детализированная картина поля

Выводы

1. Целесообразно при решении задач расчета электромагнитных полей использовать встроенные в программные пакеты процедуры численных методов, в том числе МКР.
2. Среди доступных программных продуктов для решения задачи расчета ЭМП выделяется программа *MATLAB*, существенными достоинствами которой являются:

- простота и естественность процедуры ввода параметров уравнений Максвелла и задания граничных условий;

- наглядность и разнообразие способов графического отображения полученных решений.

3 Внедрение предложенного программно-методического обеспечения позволит студентам более глубоко уяснить физические процессы в коаксиальной паре на лабораторных занятиях и в ходе самостоятельной работы.

Литература

1. Парфенов Ю.А. Кабели электросвязи. М.: Эко-Трендз, 2003. 256 с.

2. Портнов Э.Л., Зубилевич А.Л. Электрические кабели связи и их монтаж: Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2005. 264 с.

3. Руденко Н.В. [и др.] Моделирование стационарного электромагнитного поля заземлителя радиоэлектронных средств с помощью информационных технологий // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, часть 1. - Ростов-на-Дону.: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2014. С. 333-336.

4. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в *MATLAB*, *SimPowerSystems* и *Simulink*. М.: ДМК-Пресс; Спб.: Питер, 2008. 288 с.

**СЕКЦИЯ 5.
ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОЙ
И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
НА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ**

**ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ
ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ ГТУ
С ВОДОГРЕЙНЫМ КОТЛОМ-УТИЛИЗАТОРОМ**

А.М. Гапоненко (д.т.н., проф.), Б.В. Бирюков (к.т.н., доц.),
В.В. Шапошников (аспирант)

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

За последние годы производство электроэнергии в Краснодарском крае выросло более чем на 20% за счет ввода в эксплуатацию нового энергоблока на Краснодарской ТЭЦ, а также запуска Адлерской ТЭЦ. Но, несмотря на это, регион по-прежнему остается одним из самых энергодефицитных в России. Большинство вводимых в эксплуатацию энергообъектов построено на базе газотурбинных технологий. На фоне большого износа оборудования отопительных котельных г. Краснодара и Краснодарского края целесообразно переоборудование последних в газотурбинные ТЭЦ.

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.

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].

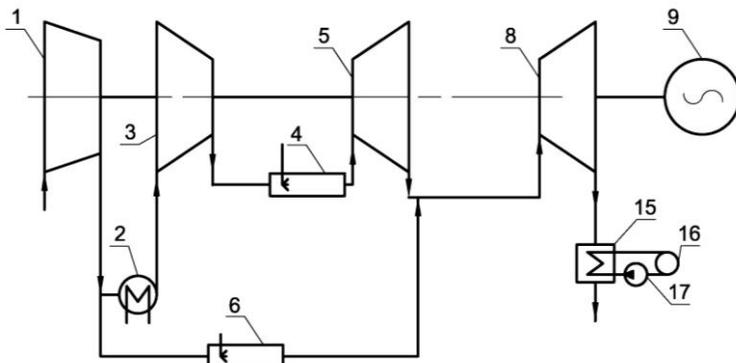


Рисунок 1. Схема ГТУ-ТЭЦ с двухступенчатым сжатием воздуха в компрессорах, параллельной камерой сгорания и водогрейным котлом-утилизатором

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.

Для определения теплотехнических показателей был выполнен расчет характеристик ГТУ с использованием данных АД–31СТ: массовый расход сжимаемого в воздушном компрессоре воздуха – 61,0 кг/с; внутренний КПД компрессора – 0,8741; внутренний КПД турбины – 0,918; механический КПД – 0,98; КПД электрогенератора – 0,96687. Эффективный КПД базовой установки составил 36,5%, а полезная мощность ГТУ 20,0 МВт при давлении сжатого в компрессоре воздуха 2,1 МПа и температуре газов на входе в турбину $T_3=1523,15\text{K}$ [3].

Оптимизация параметров исследуемых схем производилась с помощью программы для ЭВМ «Система автоматизированного расчета ГТУ и ПГУ смешения» [4]. Экстремальное значение КПД в зависимости от давления на выходе из компрессора далеко выходит за пределы реально существующих установок (около 3 МПа). В исследовании предельной величиной этого параметра выбрано 5 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 5,0 МПа и составляет 36,581%. Электрическая мощность ГТУ при этом составила $N_{ГТУ}=32,019$ МВт, расход топлива $B_{ГЭС}=1,994$ кг/с.

Таблица 1.

Характеристики исследуемой ГТУ-ТЭЦ при различных давлениях на выходе из КВД

P2 МПа	X -	Нкв кВт	Qвкв кВт	Nпгу кВт	B кг/с	КПД %	КИТ %
2,0	1,599	28427	54299	36496	2,67	31,18	77,56
2,3	1,550	29524	49642	36173	2,56	32,22	76,43
2,6	1,508	30472	45745	35776	2,46	33,07	75,36
2,9	1,471	31306	42417	35336	2,38	33,79	74,35
3,2	1,439	32050	39528	34871	2,31	34,40	73,39
3,5	1,409	32720	36989	34395	2,24	34,91	72,46
3,8	1,382	33330	34733	33914	2,19	35,35	71,56
4,1	1,357	33889	32709	33434	2,13	35,73	70,69
4,4	1,334	34405	30880	32956	2,08	36,06	69,85
4,7	1,313	34884	29216	32485	2,04	36,34	69,02
5,0	1,293	35331	27693	32020	1,99	36,58	68,22

На рис. 2 и рис. 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.

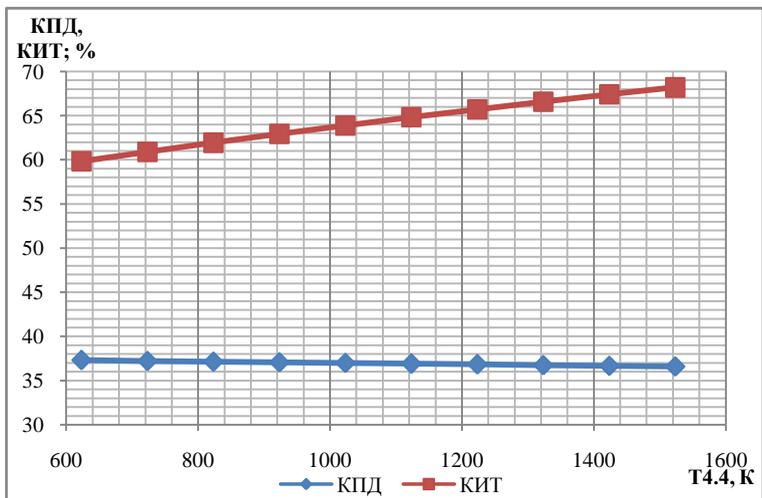


Рисунок 2. Зависимость эффективного КПД и КИТ ТЭС – ПГУ от температуры на выходе из камеры сгорания №2 при P2=5,0 МПа.

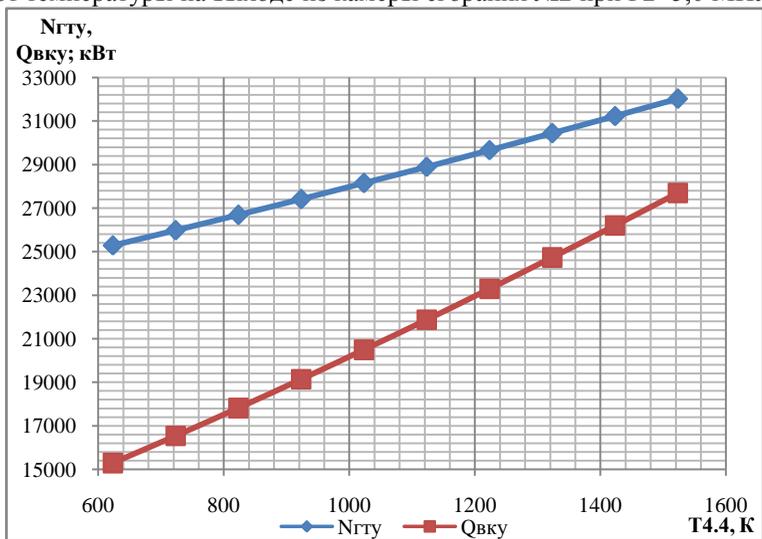


Рисунок 3. Зависимость полезной мощности установки и тепловой мощности ВКУ от температуры на выходе из камеры сгорания №2 при P2=5,0 МПа.

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 МПК F02C 3/00 Газотурбинная установка / Б.В. Бирюков, В.В. Шапошников (РФ). – № 2013149764/06; опубл. 27.02.14, Бюл. № 6.

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 Система автоматизированного расчета ГТУ и ПГУ смешения / В.В. Шапошников, Б.В. Бирюков, (РФ). Опубл. 31.02.15.

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЭС-ПГУ С ДВУХСТУПЕНЧАТЫМ СЖАТИЕМ ВОЗДУХА И ВПРЫСКОМ СУХОГО НАСЫЩЕННОГО ПАРА В РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЬ

Б.В. Бирюков (к.т.н., доц.), В.В. Шапошников (аспирант)
*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический
университет» (г. Краснодар, Россия)*

В последние годы наметилась тенденция по замене паросиловых электрогенерирующих мощностей установками на базе газотурбинных технологий. Это связано с большей их эффективностью, однако ее предел еще не достигнут. Повышения КПД ГТУ, в том числе, можно достичь схемными решениями.

Одним из наиболее действенных методов повышения эффективности газотурбинных установок является впрыск водяного пара из котла утилизатора в газовый тракт. Благодаря увеличению массового расхода рабочего вещества в газовой турбине, увеличению его калорийности и внутрицикловой утилизации тепла уходящих газов происходит значительный рост полезной мощности и КПД установки.

В литературе [1] приводятся рекомендации, согласно которым для впрыска необходимо использовать слегка перегретый пар, а в качестве точки смешения выбирать камеру сгорания. Однако в [2] было высказано предположение о возможности использования для впрыска сухой насыщенный пар. Схема ПГУ с двухступенчатым сжатием воздуха в компрессорах и впрыском из котла-утилизатора сухого насыщенного пара в регенеративный воздухоподогреватель приведена на рис. 1. Для унификации в ней использована нумерация согласно обобщенной схеме ГТУ [3].

Для определения теплотехнических показателей был выполнен расчет характеристик ПГУ с использованием данных АД – 31СТ: массовый расход сжимаемого в воздушном компрессоре воздуха – 61,0 кг/с; внутренний КПД компрессора – 0,8741; внутренний КПД турбины – 0,918; механический КПД – 0,98; КПД электрогенератора – 0,96687. Эффективный КПД базовой

установки составил 36,5%, а полезная мощность ГТУ 20,0 МВт при давлении сжатого в компрессоре воздуха 2,1МПа и температуре газов на входе в турбину $T_3=1523,15\text{K}$ [4].

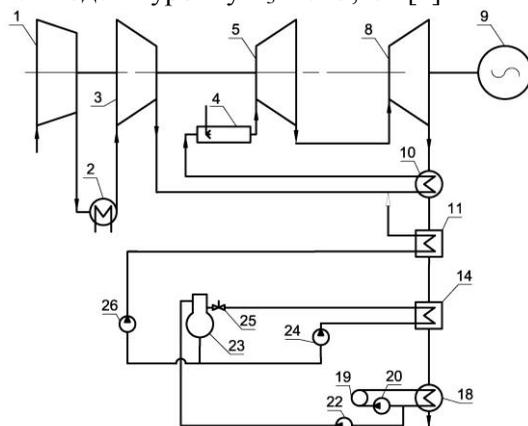


Рисунок 1 – Схема ПГУ с двухступенчатым сжатием воздуха в компрессорах и впрыском из котла–утилизатора сухого насыщенного пара в регенеративный воздухоподогреватель

1 – компрессор низкого давления, 2 – охладитель воздуха, 3 – компрессор высокого давления, 4 – камера сгорания, 5 – турбина высокого давления, 8 – турбина низкого давления, 9 – электрогенератор, 10 – регенератор высокого давления, 11 – паровой котел-утилизатор, 14 – экономайзер подпиточной воды, 18 – контактный газоохладитель, 19 – аппарат воздушного охлаждения, 20 – циркуляционный электронасос, 22 – конденсатный электронасос, 23 – деаэратор перегретой воды, 24 – подпиточный электронасос, 25 – редукционный клапан, 26 – питательный электронасос №1.

Оптимизация параметров исследуемых схем производилась с помощью программы для ЭВМ «Система автоматизированного расчета ГТУ и ПГУ смешения» [5]. Для выбранной схемы основным ограничивающим фактором стал температурный напор регенеративного воздухоподогревателя. Температура подогрева в регенеративном воздухоподогревателе принята равной 360°C.

На рис. 2 приведена зависимость КПД исследуемых схем в зависимости от давления на выходе из воздушного компрессора. Расчеты показали, что максимальное значение КПД достигается

ется при давлении парогазовой смеси на входе в турбину высокого давления 2,8 МПа и составляет 46,991% (Табл. 1). Электрическая мощность ГТУ при этом составила $N_{ГТУ}=33,961$ МВт, расход топлива $B_{ТЭС}=1,646$ кг/с.

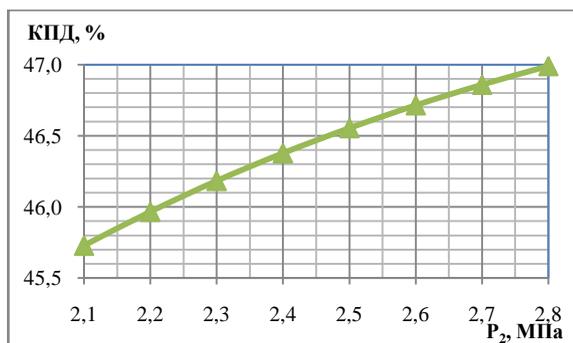


Рисунок 2. Зависимость эффективного КПД ТЭС – ПГУ от давления парогазовой смеси на входе в газовую турбину высокого давления

Таблица 1.

Характеристики исследуемой ТЭС-ПГУ при различных давлениях на выходе из КВД

P_2 МПа	$N_{КВ}$ кВт	Q_p кВт	$Q_{пкУ}$ кВт	$Q_{г0}$ кВт	$N_{ГТУ}$ кВт	B кг/с	КПД %	Δt_p К	$\Delta t_{пкУ}$ К
2,1	22400	10353	12886	23693	33000	1,644	45,728	152	124
2,2	22826	10158	12893	23287	33179	1,644	45,967	144	118
2,3	23236	9970	12900	22907	33342	1,645	46,183	136	112
2,4	23631	9789	12905	22552	33490	1,645	46,378	129	106
2,5	24013	9614	12910	22218	33625	1,645	46,555	123	101
2,6	24382	9445	12915	21903	33747	1,646	46,714	116	95
2,7	24739	9280	12919	21607	33859	1,646	46,859	110	91
2,8	25086	9121	12922	21327	33961	1,646	46,991	104	86

Выводы:

1. Применение парогазовых ТЭС с двухступенчатым сжатием воздуха и впрыском сухого насыщенного пара из котлов–утилизаторов в регенеративный воздухоподогреватель позволяет производить электроэнергию при высоком значении КПД=46,991%.

2. Увеличение эффективного КПД ТЭС–ПГУ с двухступенчатым сжатием воздуха и впрыском сухого насыщенного пара из котлов–утилизаторов в регенеративный воздухоподогреватель по сравнению с базовой ТЭС–ГТУ (36,5%) стало возможным благодаря более полной внутрицикловой утилизации тепла и использованию воздухоподогревателя для перегрева пара.

Литература

1. Повышение эффективности использования газа на компрессорных станциях / В.А. Динков [и др.]. – М.: Недра, 1981. – 296 с.

2. Патент на полезную модель 140778 Российская Федерация МПК F01K 21/00 Парогазовая установка / Б.В. Бирюков, В.В. Шапошников (РФ). – № 2014102850/06; заявл. 28.01.14; опубл. 20.05.14, Бюл. № 14.

3. 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.

4. Ольховский, Г.Г. Газотурбинные и парогазовые установки в России / Г.Г. Ольховский // Теплоэнергетика. – 1999. – №1. – С.2-9.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015613955 Российская Федерация Система автоматизированного расчета ГТУ и ПГУ смешения / В.В. Шапошников, Б.В. Бирюков, (РФ). – № 2015610564; заявл. 04.02.15; опубл. 31.02.15.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РОСТА ВТОРИЧНЫХ ПУЗЫРЕЙ ПАРА ПРИ КИПЕНИИ ПЕРЕГРЕТЫХ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ И ВОДЫ

Н.И. Васильев, Е.Н. Даценко, Н.Н. Авакимян
*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический
университет» (г. Краснодар, Россия)*

Экспериментально, с помощью скоростной микрокиносъемки установлено, что непосредственно вблизи поверхности растущего в перегретой воде или нефтяных углеводородах первичного пузыря, возникающего либо спонтанно, либо вследствие воздействия волны сжатие-растяжение на перегретую жидкость могут возникнуть и расти паровые пузыри названные вторичными (или инициированными). Вблизи поверхности этих вторичных пузырей возможно возникновение вторичных пузырей второго порядка и т.д.

Схема механизма возникновения вторичных пузырей основана на том, что перегретая жидкость, окружающая растущий первичный пузырь, подвергается быстрой деформации, скорость которой наибольшая на поверхности первичного пузыря. При этом докритический зародыш вторичного пузыря деформируется так же, как и жидкость, т.е. подвергается растяжению в плоскости, нормальной радиус-вектору положения докритического зародыша и сжатию вдоль этого радиус-вектора, преобразуясь при этом из первоначально сферической формы в форму сплюснутого эллипсоида. Быстрое испарение внутрь эллипсоида и действие сил поверхностного натяжения поддерживает его форму близкую к сфере, радиус которой может достигать величины, равной критическому радиусу зародыша. После этого критический зародыш может расти по известным схемам, описанным в литературе. Таким образом, величина зародыша парового пузыря, расположенного вблизи поверхности растущего первичного пузыря определяется тремя факторами: скоростью деформации жидкости, окружающей растущий первичный пузырь, скоростью испарения жидкости внутрь деформированного зародыша, скоростью движения жидкости, окружающей

деформируемый зародыш, под действием сил поверхностного натяжения.

1) Эволюция во времени большой и малой полуосей эллипсоида – $a(t), b(t)$ первоначально сферического докритического зародыша, расположенного вблизи поверхности первичного пузыря, который растёт в соответствии с инерционной схемой описывается зависимостями:

$$a(t) = \frac{R_n (R_{кр.} + k(t + t_0))}{R_{кр.} + kt_0}, \quad (1)$$

$$b(t) = \frac{R_n (R_{кр.} + kt_0)^2}{(R_{кр.} + k(t + t_0))^2}, \quad (2)$$

где R_n – радиус возникшего докритического зародыша, $R_{кр.}$ – радиус критического зародыша, из которого вырастает первичный пузырь; t_0 – момент достижения первичным пузырём критического радиуса; $k = \dot{R}_n(t_0)$ для времени роста первичного пузыря менее 10^{-3} с. Из оценок скорости роста величин $a(t)$ и скорости восстановления сферичности зародыша из-за испарения внутрь пузыря с той поверхности деформированного докритического зародыша, которая имеет меньшую кривизну и следовательно большую скорость испарения видно, что скорость деформации много меньше скорости восстановления сферичности. Поэтому форма деформированного зародыша незначительно отличается сферы.

2) Уравнение, аналогичное уравнению Релея, но учитывающее влияние вязкости и поверхностного натяжения на рост недеформируемого сферического пузыря в перегретой жидкости:

$$R_n(t)\ddot{R}_n(t) + \frac{3}{2}\dot{R}_n^2(t) + \frac{4\eta}{\rho} \frac{\dot{R}_n(t)}{R_n(t)} + \frac{2\sigma}{\rho R_n(t)} = \frac{1}{\rho}(P(T) - P_\infty), \quad (3)$$

где P_∞ – внешнее давление; $P(T)$ – давление внутри докритического зародыша, η , σ , ρ – вязкость, поверхностное натяжение и плотность жидкости, соответственно. Величину $R(t) = a(t)$ –

большую полуось эллипсоида при учете только собственного движения, зависящего от поверхностного натяжения, в точке А представляем в виде:

$$a(t) = R_n(t) + \varepsilon(t), \quad \frac{|\varepsilon(t)|}{R_n} \ll 1, \quad (4)$$

где R_n – эквивалентный радиус эллипсоида; $\varepsilon(t)$ - малое возмущение межфазной границы в точке пересечения её с большой полуосью.

Используя (1–4) получим уравнение, описывающее изменение во времени величины больших полуосей эллипсоида, учитывающее действие только сил поверхностного натяжения и вязкости:

$$\ddot{\varepsilon} + \frac{4\eta}{\rho R_n^2} \dot{\varepsilon} - \frac{2\sigma}{\rho R_n^3} \varepsilon = 0. \quad (5)$$

Изменение во времени радиуса возникшего докритического зародыша определяется зависимостью, полученной из (1) и (5):

$$R(t) = \frac{R_n(R_{kp} + k(t + t_0))}{R_{kp} + kt_0} + \frac{kR_n}{(R_{kp} + kt_0)(\lambda_1 - \lambda_2)} (e^{\lambda_1 t} - e^{\lambda_2 t}), \quad (6)$$

где $\lambda_1, \lambda_2 = -\frac{\beta}{2} \pm \sqrt{\frac{\beta^2}{4} + \omega}$, $\frac{4\eta}{\rho R_n^2} = \beta(R_n)$, $\frac{2\sigma}{\rho R_n^3} = \omega(R_n)$.

На рис. 1 представлены зависимости радиуса возникших докритических пузырей от времени, найденных из зависимости (6) при различных их начальных радиусах при $t = 0$ для н-пентана. Видно, что возникшие при $t = 0$ докритические зародыши пузырей, имеющие радиус $(6 - 8) \cdot 10^{-7}$ м в течение времени около 10^{-7} с исчезают. Однако зародыш пузыря, имеющий радиус 10^{-6} м достигает, под действием деформации при росте первичного пузыря критического радиуса, и в дальнейшем его рост может проходить самостоятельно.

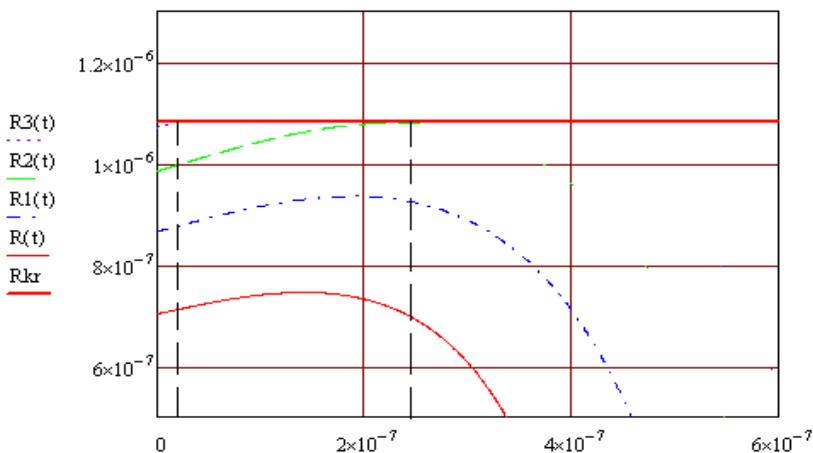


Рисунок 1 – Зависимость эффективного радиуса деформируемого пузырька от времени (н-пентан, $\Delta T=10$ К); $t_0 = 3 \cdot 10^{-6}$ с; $\chi_1=0,65$; $\chi_2=0,9$; $\chi_3=0,96$; $\chi_4=0,99$, ($\chi_4 = R_n / R_{кр}$).

Таким образом, математическая модель процесса перехода докритических зародышей паровых пузырьков в критические, которые возникают в непосредственной близости от поверхности растущего первичного пузыря построена с помощью известных уравнений механики жидкости, представлениях молекулярно-кинетической теории и известных и применяемых соотношениях для расчета величины роста пузыря в перегретой жидкости. Установлено также на основе математической модели, что докритические пузырьки могут переходить в критические вблизи первичного растущего пузыря в течение времени ($10^{-7} \div 10^{-5}$) с после зарождения и начала роста первичного пузыря. Сравнение выводов модели с экспериментально установленными особенностями процесса возникновения и роста вторичных пузырей показало их удовлетворительное совпадение.

Аналогичные зависимости построены и для перегретой воды.

Процесс возникновения и роста вторичных пузырей на поверхности растущих первичных пузырей пара в перегретом пограничном слое парожидкостного потока в расчётных моделях котлоагрегатов увеличивает, например расчётную межфазную поверхность пар – жидкость на 0,5 %.

Учёт этого процесса при моделировании газлифтных нефтяных скважин увеличивает скорость возникновения газовой фазы в перенасыщенной жидкости, что увеличивает расчётный дебит скважины на 4%.

Литература

1. Скрипов В.П. Метастабильная жидкость. М.: Наука, 1972. – 312 с.

2. Павлов П.А. Динамика вскипания сильно перегретых жидкостей. Свердловск: УрОАН СССР, 1988, – 244 с.

3. Афган И. Перегрев кипящих жидкостей. М.: Энергия, 1979. –79 с.

4. Авакимян Н.Н., Даценко Е.Н. Образование пузырей пара на поверхности первичного пузыря, растущего в перегретом пентане. // «Ашировские чтения»: Труды Международной научно-практической конференции. Самара, 2006. – С. 124–126.

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАМЕНЫ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИЕЙ В ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ

И.О. Орлова, Е.Н. Даценко

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

Современная экологическая ситуация как в России, так и в Краснодарском крае, характеризуется наличием сложных и острых проблем. Основными источниками загрязнения окружающей среды в Краснодарском крае являются автомобильный транспорт, деятельность нефтеперерабатывающего завода, предприятий пищевой промышленности и отопительные котельные.

По выбросам оксида углерода в атмосферу на первом месте стоит автомобильный транспорт. Второе место занимают отопительные котельные, которые на единицу вырабатываемой теплоты выбрасывают в атмосферу в 20 раз больше CO, чем промышленные котельные, и в 50 раз больше, чем ТЭЦ. Котельные являются необходимым источником теплоснабжения жилых и промышленных зданий, а с другой стороны – потребителями углеводородного топлива (ресурсов) и источниками загрязнения атмосферного воздуха. Защита атмосферы от вредных выбросов отопительных котельных является одной из важнейших задач. Необходимость сокращения вредных выбросов с продуктами сгорания вызвана также тем, что отопительные котельные расположены обычно в жилых зонах.

Существующие методики оценки влияния котельных на окружающую среду, как правило, основываются только на подсчете прямого ущерба, наносимого экологии района, в котором расположены котельные [1]. Однако с учетом развития альтернативной энергетики следует обратить внимание на такие критерии оценки ущерба, как сэкономленное топливо, вода на обслуживание котельных, сохраненный кислород и др., т.е. затраты на разработку систем солнечного теплоснабжения (замены традиционных котельных) можно отнести к предотвращенному эколого-экономическому ущербу.

В общем виде величину предотвращенного эколого-экономического ущерба можно представить в виде суммы разнообразных предотвращенных ущербов

$$ПЭУ = \sum_i X_i D_i, \quad (1)$$

где ПЭУ – предотвращенный эколого-экономический ущерб, вызванный натуральными изменениями i -го фактора, руб; X_i – натуральные изменения i -го фактора, D_i – денежная оценка i -го фактора, руб.

Применительно к отопительным котельным объектам ЖКХ при частичном или полном замещении углеводородного топлива солнечной энергией:

$$\sum_i X_i D_i = X_1 D_1 + X_2 D_2 + \dots + X_7 D_7 \quad (2)$$

Рассмотрим составляющие этой формулы. Снижение потребляемого топлива (природных ресурсов):

$$X_1 D_1 = B_m K_\beta C_{\beta m}, \quad (3)$$

где B_m – количество топлива, замещаемого солнечной энергией, м³; K_β – коэффициент, учитывающий вид природного ресурса (для газа $K_\beta=1,5$); $C_{\beta m}$ – рыночная цена 1 тонны природного ресурса, руб/м³.

Снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу:

$$X_2 D_2 = \sum_{j=1}^i B_i K_j Q_j C_j, \quad (4)$$

где B_i – количество замещаемого i -го топлива солнечной энергией, м³; K_j – коэффициент эмиссии j -го вещества, выбрасываемого в атмосферу, кг/МДж; Q_j – низшая теплота сгорания замещаемого топлива, Дж/кг; C_j – цена за 1 тонну выбрасываемого j -го вещества в окружающую среду, руб/тонна.

Снижение потребляемой свежей воды:

$$X_3 D_3 = B_i Z_3 C_3, \quad (5)$$

где B_i – количество замещаемого i -го топлива солнечной энергией, м³; Z_3 – коэффициент, учитывающий долю потребляемой свежей воды от i -го вида топлива, C_3 – цена за 1 м³ потребляемой воды, руб/м³.

Снижение сброса сточных вод:

$$X_4 D_4 = B_i Z_4 C_4, \quad (6)$$

где B_i – количество замещаемого i -го топлива солнечной энергией, м³; Z_4 – коэффициент, учитывающий количество сточных вод от i -го вида топлива; C_4 – цена за сброс 1 м³ сточных вод, руб/м³.

Снижение потребляемой соли (NaCl) от i -го вида топлива:

$$X_5 D_5 = B_i Z_5 \Pi_5, \quad (7)$$

где B_i – количество замещаемого i -го топлива солнечной энергией, м^3 ; Z_5 – коэффициент, учитывающий количество потребляемой соли от i -го вида топлива; Π_5 – цена NaCl (для регенерации фильтров), руб/тонна.

Снижение потребляемого из природной среды кислорода $X_7 D_7$, необходимого для осуществления горения, (м^3) определяется из стехеометрического уравнения [2]:

$$V_{O_2}^o = \frac{M_{O_2}}{\rho_{O_2}} = \frac{1}{1,428 \cdot 100} (2,67C^p + 8H^p - O^p), \quad (8)$$

где C^p , H^p и O^p – содержание углерода, водорода и кислорода в 1 м^3 рабочего топлива. После преобразования получаем:

$$V_{O_2}^o = 0,0187C^p + 0,56H^p + 7 \cdot 10^{-3} O^p. \quad (9)$$

Для котельной мощностью 1 МВт за отопительный период и круглогодичное обеспечение жителей горячим водоснабжением потребуется кислорода $37744 \text{ м}^3/\text{год}$. Тополь, например, выделяет кислорода в сутки 40 кг, липа – 12 кг, кедр – 10 кг, ель – 6 кг. Следовательно, при наличии котельной мощностью 1 МВт должно быть посажено в пределах санитарно-защитной зоны тополей 370 шт., либо лип – 1028 шт., либо кедров – 1427 шт., либо елей – 2462 шт. Таким образом

$$X_7 D_7 = \left[(10^3 B_i V_{O_2}^o) / O_2^D \right] \Pi_D, \quad (10)$$

где B_i – количество i -го вида топлива, замещаемого солнечной энергией в течение заданного времени, м^3 ; $V_{O_2}^o$ – количество потребляемого кислорода при горении замещаемого топлива солнечной энергией в течение заданного времени, м^3 ; O_2^D – приведенное количество кислорода, выделяемого лесонасаждением в

течение заданного времени, м³; C_d – приведенная стоимость саженцев на один м³ сжигаемого топлива, руб/м³.

Экономический эффект от замены углеводородного топлива солнечной энергией будет представлять собой:

$$\mathcal{E} = Z / (ПЭУ + УЭ), \quad (11)$$

где Z – совокупные затраты; $ЭУ$ – экономический ущерб, связанный с компенсацией последствиям загрязнений.

Литература

1. Вусов А.В. Обзор методов стоимостной оценки экологического вреда в России и мире // Материалы международной заочной научно-практической; Конференции: «Экономика и управление: теоретические и практические аспекты». – Новосибирск: Априори, 2011, – С. 21–24

2. Буркова Е.В. Оценка уровня экологической безопасности при теплоснабжении коммунальных объектов (на примере Балаклавского района)// Альтернативная энергетика и экология. – 2014, №15. С.134–137

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКАЯ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Р.А. Пахомов (к.т.н., доц.), Н.Г. Андрейко, А.А. Шипулина
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

Надежность отвода тепла с поверхностей нагрева котла обеспечивается надлежащим образом организованным тепловым режимом работы. Для нормальной работы необходимо, чтобы величины параметров, которые определяют теплотехническую работоспособность котельного агрегата (т.е. обеспечить нормальный теплоотвод без расплавлений, пригораний и т.д.), не превышали в любой момент эксплуатации котла критических для каждого параметра значений.

Эти параметры мы будем называть определяющими параметрами. Критическими будем называть такие значения определяющих параметров, превышение которых приводит к нару-

шению нормального теплоотвода и, как следствие этого, к опасным необратимым изменениям в конструкциях и материалах: разрушениям, расплавлениям, пригораниям.

Сформулированное выше требование надежного теплоотвода в котле в любой момент эксплуатации [1]:

$$f_{jk} = \left\{ \min_{(noz)} \frac{[x_{jкр}(z) - x_j(z)]}{x_j(z)} \right\}_k > 0 \quad (1)$$

(для всех $k = 1, 2, \dots, k^*$; $j = 1, 2, \dots, j^*$).

Здесь $x_j(z)$ - фактическое значение j -го параметра в k -й поверхности нагрева; z - текущая координата; $x_{jкр}(z)$ - критическое значение для параметра $x_j(z)$; k - номер (индекс) поверхности нагрева с одинаковыми номинальными условиями теплоотвода, т.е. с одинаковыми или приблизительно одинаковыми номинальными значениями конструкционных и режимных параметров (k^* - полное число таких групп каналов); j^* - количество определяющих параметров котельного агрегата.

Неравенство (1) можно записать в более компактной форме:

$$f_{jk} = \eta_{jk} - 1 > 0 \quad (\text{для всех } j, k)$$

Основными определяющими параметрами теплоэнергетических установок (ТЭУ) [2,3] могут быть:

1. Температура пара на выходе из пароперегревателя - средняя.
2. Температура пароперегревателя, локальная температура.
3. Мощность котельного агрегата Q^k .
4. Концентрация в дымовых газах окислов азота и серы.

Следует иметь в виду, что общую надежность котлоагрегата могут характеризовать и многие другие параметры. Поэтому нас не будут интересовать процессы не характеризующие надежность теплового режима котла.

Таким образом, в соответствии с перечисленными выше группами определяющих параметров для различных поверхно-

стей нагрева котла возможны следующие определяющие функции: $q_{доп}$ – допустимое значение удельного теплового потока, превышение которого приводит к разрушению материалов труб поверхностей нагрева; $t_{н.п.м.р}^{доп}$ – допустимая температура материала труб пароперегревателя; $P^{кп}$ – предельно допустимое давление в барабане котла; $T_{ух}^{доп}$ – предельно допустимая температура уходящих газов.

Естественно, что в принципе возможны и другие определяющие функции, связанные со спецификой конкретного котлоагрегата. Однако в каждом случае теплотехническую надежность обычно характеризуют одна, две из перечисленных функций. Остальные функции, как правило, несущественны при оценке надежности теплоотвода в котле.

Любая определяющая функция котлоагрегата представляет собой функцию конструкционных и режимных параметров труб поверхностей нагрева. Истинное значение каждого из этих параметров точно не известно. Известны лишь номинальные значения параметров x_n и возможные максимальные отклонения от этих номинальных значений $\pm \Delta x$, равные половине поля допуска ($|\Delta x| = \delta x$), установленного для каждого параметра. Фактические значения параметров являются либо случайными величинами, либо стационарными случайными функциями времени $x(t)$. Определяющая функция f_j обычно зависит от средних случайных величин:

а) проходного сечения; б) поверхности теплосъема; в) точности используемых при расчете f_j экспериментальных формул и констант.

Определяющая функция f_j зависит также от следующих стационарных случайных функций времени: а) тепловой мощности; б) расхода теплоносителя; в) давления теплоносителя; г) температуры на входе, здесь индекс «н» - номинальное значение

ние; величина δ – половина поля допуска для соответствующего параметра.

Отклонения всех перечисленных параметров от номинальных значений в пределах полей допусков определяются либо локальными причинами, либо причинами, общими для всех труб поверхностей нагрева, или теми и другими вместе.

Локальные причины отклонений – это в основном факторы, заложенные еще до эксплуатации котлоагрегата и в период эксплуатации остающиеся, как правило, неизменными. Поэтому локальные причины приводят к постоянным случайным отклонениям параметров (не зависящим от времени) или к случайным величинам Δx^h .

В свою очередь общие причины, т.е. причины, заложенные еще до эксплуатации котлоагрегата и в период эксплуатации, остающиеся неизменными, случайными факторами, переменными во времени, что приводит к случайным колебаниям основных режимных параметров. Следовательно, общие причины приводят к таким случайным отклонениям параметров, которые представляют собой сумму случайных величин Δx^e и случайных стационарных функций (или процессов) $\Delta x^e(t)$.

Итак, в любой момент времени t в период эксплуатации котельного агрегата отклонения всех перечисленных выше параметров, от которых зависят определяющие функции котлоагрегата, можно записать следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \Delta S &= \Delta S^h = const; \Delta F = \Delta F^h = const; \Delta Q = \Delta Q^h + \Delta Q^o + \Delta Q^o(t); \\ \Delta G &= \Delta G^h - \Delta G^o + \Delta G^o(t); \Delta P = \Delta P^k + \Delta P^o(t); \\ \Delta t_{ex} &= \Delta t_{ex}^o + \Delta t_{ex}^o(t); \Delta T_{\phi} = \Delta T_{\phi}^h = const \end{aligned} \right\}$$

Таким образом, поскольку параметры S, F, T_{ϕ} представляют собой непрерывные случайные величины [4], а параметры Q, G, P, t_{ex} – стационарные случайные функции и поскольку все вместе они являются аргументами определяющей функции f_j , то сама определяющая функция будет стационарной случайной

функцией $f_j(t)$ со своим номинальным значением f_j^H и полем допуска $f_j^H \pm \delta f_j$:

$$\left. \begin{aligned} f_j^H &= f_j(Q^H, G^H, p^H, t_{ex}^H, S^H, F^H, T_\phi^H = 1) \\ \delta f_j &= f_j^H - f_j(Q^H + \delta Q, G^H - \delta G, p^H \pm \delta p, t_{ex}^H + \delta t_{ex}, \\ &S^H \pm \delta S, F^H - \delta F, 1 \pm \delta T_\phi); \end{aligned} \right\}$$

(в выражении для δf_j знак перед предельным отклонением каждого из параметров выбирается таким, чтобы величина f_j убывала при этом изменении параметра, или, как говорят, отклонялась в неблагоприятную сторону).

Существенным в данном случае является то, что случайная функция $f_j(t)$ будет совершать случайные колебания около стационарного уровня f_{jcm} (рис. 1), положение которого внутри поля допуска $f_j^H \pm \delta f_j$ целиком и полностью определяется случайными величинами и именно тем, какие конкретные значения будут иметь эти величины после изготовления, сборки и отладки данного котлоагрегата. Таким образом, величина стационарного уровня f_{jcm} сама является случайной величиной. Истинное значение f_{jcm} может быть установлено лишь с определенной степенью вероятности. В свою очередь характер колебаний случайной функции $f_j(t)$ будет полностью определяться только поведением стационарных случайных функций.

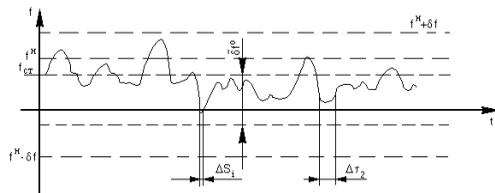


Рисунок 1 – Поведение во времени определяющей функции f

Из всего сказанного следует, что неравенство будет выполняться только с некоторой определенной вероятностью, зависящей от этого времени t .

Литература

1. Клемин А. И., Полянин Л. Н., Стригулин М. М. Теплогидравлический расчет и теплотехническая надежность ядерных реакторов – М. : Атомиздат, 1980 . – 261 с.

2. Пахомов Р.А. Разработка методики определения отклонений теплотехнических параметров и долговечности при термопульсациях в элементах котлоагрегатов / Пахомов Р.А. // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Краснодар, 2002.

3. Расчеты нестационарных процессов в элементах энергооборудования / Пахомов Р.А., Андрейко Н.Г., Марченко Л.А., Самородов А.В. // моногр., Краснодар, 2013, Издательский дом-Юг, 68 с.

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

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ В ЦЕЛЯХ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Е.В. Кочарян (к.т.н., доцент)

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

В настоящее время в целях снижения нагрузок на системы вентиляции и отопления в жилых, общественно-административных и производственных зданиях применяют новые теплоизоляционные материалы, дежурный режим отопления, рекуперацию, установку автоматических термодатчиков у отопительных приборов, утилизацию теплоты вытяжного воздуха с промежуточным теплоносителем в системах механической вентиляции и т.п. Существенное значение в доли тепловых трансмиссионных потерь зданий приходится на потери через оконные проемы (по разным оценкам, от 20 до 80% общего объема). Основной величиной, характеризующей этот показатель, является приведенная величина термического сопротивления всего оконного блока, хотя наибольшие потери приходятся на его светопрозрачную часть [1]. В большинстве стран мира принимаются нормативные требования, направленные на повышение теплотехнических характеристик светопрозрачных конструкций. Ведущие производители профиля уже разработали эффективные системы, позволяющие обеспечить новые требования, например многокамерный профиль, напыление на стекла теплоотражающего покрытия и т.д. Однако, эти решения достаточно дороги и, в целом, не дают кардинального улучшения по теплопотерям. Применение некоторых из данных энергосберегающих мероприятий имеет и другие недостатки, например, снижение светопропускной способности окон.

При этом не учитывается, что использование окон по назначению, т.е. для естественного освещения, необходимо для жилых домов в течение светового дня (10-16 часов), а для административных – только в рабочее время (8 часов). Относительная длительность светового дня (табл. 1), например, для отопительного периода Краснодара не превышает 50 %, для Москвы – 50 %, для Норильска – 35 % [2].

Т а б л и ц а 1 – Среднемесячные значения длительности светового дня в сутках, %

Месяц	Краснодар	Москва	Норильск
Ноябрь	39,7	34	23
Январь	36,4	32	6
Март	49,9	49	32

Следовательно, окно как светопрозрачная конструкция, предназначенная для освещения помещения, например для Москвы, в течение 3 082 ч (или 129 условных суток) отопительного периода представляет собой ограждающую конструкцию, обладающую существенно более низкими теплозащитными показателями по сравнению с теплозащитными показателями традиционных ограждающих конструкций наружных стен.

Проблему повышения теплозащиты окон в ночное время можно решить, если рассмотреть окно как конструкцию, обладающую переменной теплозащитой в зависимости от времени суток, т. е. в зависимости от дневного и ночного периодов времени. Давно известен достаточно простой способ снижения теплопотерь через окна – устройство с наружной стороны окна экрана, выполненного из теплоизоляционных пластин. Опущенный на ночь экран или закрывающиеся ставни позволят уменьшить поток тепла, излучаемый остеклением наружу, и создать дополнительную воздушную прослойку, являющуюся хорошей теплоизоляцией.

В большинстве случаев в качестве средства повышения теплозащитных качеств остекленных конструкций предлагают использовать межстекольные экраны, выполненные из эффективных теплоизоляционных материалов [2, 3] Однако, несмотря на доказанную эффективность этого мероприятия он не находит широкого применения. Основной причиной этого является сложность монтажа таких устройств даже при строительстве новых зданий, а тем более в уже построенных.

В данной работе проведена оценка возможности снижения теплопотерь через окна за счет закрытия оконных проемов наружным теплозащитным экраном в темное время суток.

В качестве теплозащитного экрана использованы стандартные алюминиевые рольставни с пенополиуретановым наполнителем ламелей. Два окна со стандартными стеклопакетами были выбраны в одном помещении и имели равные характеристики и ориентацию. На одном окне рольставни закрывались в темное время суток, на другом не закрывались. Производились замеры температуры внутри помещения, снаружи, а также температура воздуха в слоях, контактирующих со стеклом с обеих сторон в дневное и ночное время. Показания температур снимались датчиком температуры с погрешностью не более $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 3-х суток. Температура внутри помещения поддерживалась постоянной на уровне $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Уличная температура изменялась от $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Т а б л и ц а 2 - Параметры зданий

Тип здания	Теплопотери без экрана, МДж/сут	Теплопотери с установкой экрана, МДж/сут	Эффект от мероприятия, %
Трехэтажное административное здание	218	212	2,75
Девятиэтажный жилой дом	2984	2925	1,97
Пятиэтажный жилой дом	330	325	1,57

В результате экспериментов отмечено снижение Δt (разницы между температурой воздуха у поверхности ограждающей конструкции) относительно начального значения в среднем на 21 %. В результате пропорционально снизятся тепловые потери через окно – $Q_{ок}$. Зафиксированное снижение теплопотерь достигается за счет теплозащитных свойств рольставни и слоя воздуха между стеклом и ламелями, а также отражения инфракрасного излучения из теплого помещения экраном. Существующие центральные (или индивидуальные) системы управления на основе датчика света (фотоэлемента) или программируемого таймера автоматически могут опускать защитные тепловые экраны

в нужное время суток, обеспечив снижение тепловых потерь через окна.

Проведем примерную оценку относительной величины экономии для реального объекта с учетом времени закрытия окон рольставнями для климата г. Краснодара. Для жилых зданий время закрытия принимаем 12 часов, для административных 16 часов. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Исходя из приведенных данных, можно утверждать, что эффект от энергосберегающего мероприятия – установка теплозащитного экрана, лежит в диапазоне от 1,5 до 2,8 % от тепловых потерь здания через стены. Применение в темное или нерабочее время суток теплоотражающих металлических экранов, повышающих коэффициент сопротивления теплопередаче окон, приводит к уменьшению отопительной нагрузки, тем самым вызывая увеличение надежности работы системы теплоснабжения и уменьшения затрат на энергоресурсы по данной статье в диапазоне до 15 % (с учетом длины светового дня) в зависимости от географической широты расположения объекта и климатических данных для региона. В отличие от конструкций с использованием теплоотражающих покрытий, нанесенных на стекло, окна с регулируемым сопротивлением на основе экранов не вызывают увеличения потребления электрической энергии на искусственное освещение, что особенно актуально для производственных цехов с высокими нормами освещенности рабочих мест.

Литература

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебник для вузов. – 2-е изд., пераб. И доп. – М.: Высш. Школа, 1982. - 418 с.
2. Табунщиков Ю.А. Ночные окна – окна с существенно переменной теплозащитой. Энергосбережение, М., 2008, № 1.
3. Захаров В.М., Смирнов Н.Н., Лапатеев Д.А. Снижение нагрузок на системы теплоснабжения зданий при использовании энергосберегающих окон с теплоотражающими экранами. Энергосовет, М., 2012, № 4.

ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА ВЛАГИ В АДсорбЦИОННО-ДЕсорбЦИОННОМ МЕТОДЕ ПОЛУЧЕНИИ ВОДЫ

А.С. Магомадов (д.т.н., проф.), Ю.В. Королёва
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар, Россия)

Создание установки на основе адсорбционно-десорбционного метода получения воды требует разработки физико-математической модели тепловых процессов протекающих при этом в используемых адсорбентах. Согласно литературным данным [1, 2] процесс адсорбции водяных паров из воздуха можно разделить на три этапа. На первом этапе сухой адсорбент поглощает водяные пары разветвлённой поверхностью. Основным термодинамическим уравнением, описывающим процесс адсорбции, является уравнение Гиббса.

Математическая модель процесса адсорбции влаги из воздуха может быть представлена следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}\frac{dm}{d\tau} &= \beta F(p_n - p); \\ \frac{p}{p_s} &= a + \frac{c}{\varepsilon}; \\ \frac{dh}{d\tau} &= kS(T_r - T_a) + Sq\beta(P_n - P),\end{aligned}$$

где m – масса вещества, поглощенного адсорбентом, кг; β – коэффициент массообмена, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па}}$; p_n и p – парциальное давление поглощенного вещества соответственно в потоке и над поверхностью поглотителя, Па; S – площадь поверхности поглощения, м^2 ; p_s – давление насыщенного пара; a и c – постоянные величины, зависящие от типа раствора, его температуры и концентрации; h – энтальпия адсорбента; k – коэффициент теплоотдачи между потоком и адсорбентом; T_r и T_a – температура газа и адсорбента соответственно; q – тепловой эффект сорбции, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Для системы поглощения влаги из воздуха (с помощью твердого поглотителя) необходимо знать время, в течение которого сорбционная установка с данным количеством адсорбента и данной контактной поверхностью будет работать так, чтобы концентрация поглощающего вещества достигала заранее за-

данной величины. Выражение, описывающее влияние разных параметров на процесс изотермического поглощения было получено в результате представления математической модели в безразмерном виде:

$$\bar{x} = \bar{P} - (\bar{P} - \bar{x}_0) \exp(-\bar{A});$$

Экспериментальное исследование показало, что процесс поглощения резко замедляется при $\bar{x} > 0,9\bar{P}$, а при $\bar{x} = 0,9\bar{P}$ цикл абсорбции практически закончен, и в данном случае можно записать

$$\bar{A}_k = 2,302 + \ln \left[1 - \frac{\bar{x}}{\bar{P}} \right],$$

где \bar{A}_k – безразмерный параметр \bar{A} в конце цикла абсорбции.

После заполнения всей поверхности адсорбента одним или несколькими слоями молекул воды, процесс поглощения их продолжается в многочисленных капиллярах и порах адсорбента [3]. При этом, как показывает опыт, адсорбент частично растворяется в воде.

Дальнейшее поглощение водяных паров из воздуха осуществляется раствором воды насыщенным адсорбентом. Известно, что согласно закону Рауля для идеальных растворов давление насыщенного пара над раствором уменьшается пропорционально молярной концентрации растворителя. Таким образом, относительная влажность паров вблизи границы воздух-раствор будет уменьшаться за счет конденсации влаги в растворе [4].

Интегрируя по всему пространству скоростей, находим количество молекул пара, приходящееся на единицу площади в единицу времени, пересекающих площадку в одном направлении:

$$\frac{dN}{d\tau dS} = \frac{1}{4} \int v dn = \frac{1}{4} n \int_0^\infty v f(v) dv = \frac{1}{4} n \langle v \rangle,$$

где $\langle v \rangle$ - средняя скорость молекул пара.

На этот поток накладывается встречный поток молекул из жидкой фазы в газообразную:

$$\frac{dN_2}{dt S} = n_2 \sqrt{\frac{RT_2}{2\pi \mu}}.$$

Умножив результирующий молекулярный поток на массу одной молекулы, и, учитывая, что $m_0 n = \rho$ – парциальная плотность пара, получаем выражение для интенсивности конденсации:

$$j = \frac{dm}{dt S} = j_1 - j_2.$$

В состоянии равновесия жидкости с паром $j = 0$, откуда находим:

$$j_2 = \sqrt{\frac{RT_2}{2\pi\mu}} \rho_S;$$

$$j = \sqrt{\frac{R}{2\pi\mu}} \left(\sqrt{T_1} \rho - \sqrt{T_2} \rho_S \right),$$

где ρ_S – плотность насыщенного пара при температуре T_2 .

Учитывая, что $\rho \leq \rho_S$ и ρ_S растет с ростом температуры, из последней формулы следует, что для конечной интенсивности конденсации, следует поддерживать жидкую фазу при более низкой температуре, чем газообразную, что приводит к необходимости охлаждения и снижает эффективность пароулавливания. Этого можно избежать, применяя в качестве жидкой фазы раствор нелетучего вещества, например, соли. Согласно законам Рауля, для идеальных растворов давление насыщенного пара над раствором уменьшается пропорционально молярной концентрации растворителя:

$$P_S = (1 - iX_B) P_{0S},$$

где i – изотонический коэффициент Вант-Гоффа, позволяющий учитывать электролитическую диссоциацию; P_S, P_{0S} – парциальные давления насыщенного пара при наличии и в отсутствии

растворенного вещества (B); $X_B = \frac{V_B}{V_A + V_B}$ – молярная доля

растворенного вещества с учетом диссоциации.

Подставляя выражение давления через плотность

$P = \frac{\rho}{\mu} RT$, получаем:

$$j = \sqrt{\frac{R}{2\pi\mu}} \left(\sqrt{T_1} \rho - \sqrt{T_2} (1 - iX_B) \rho_{0S} \right).$$

Будем считать, что процесс конденсации протекает в изотермическом режиме, и, вводя относительную влажность

$\varphi = \frac{\rho_1}{\rho_{0S}}$, получаем:

$$j = \sqrt{\frac{RT}{2\pi\mu}} \rho_{0S} (\varphi + iX_B - 1).$$

Относительную влажность пара φ и молярную концентрацию X_B следует понимать локально, на границе раздела двух сред. Вследствие конечной скорости протекания процесса конденсации, относительная влажность пара φ и молярная концентрация X_B вблизи границы будут уменьшаться (раствор разбавляется конденсируемой влагой, а пар – непроникающим через поверхность воздухом).

Для исследования влияния метеорологических параметров на режим работы предлагаемой системы, сопоставление экспериментальных результатов с рассчитанными нами была смонтирована экспериментальная лабораторная установка, представляющая собой герметичный ящик размером 330*550*100 мм, нижняя крышка которого изготовлена из теплоизоляционного материала толщиной 50 мм, а верхняя – из прозрачного материала (оргстекла). Для приготовления сорбента в качестве пористого материала использовалась многослой-

ная хлопчатобумажная ткань в виде прямоугольника размером 320*540*30 мм и два типа раствора CaCl_2 и LiCl с концентрацией 30%. В дневное время под действием солнечного излучения абсорбент нагревается. При этом из сорбента выделяется водяной пар и конденсируется на поверхности прозрачного материала, а теплота конденсации рассеивается в окружающую среду. После захода солнца абсорбент с крепким раствором и низким парциальным давлением водяного пара удаляется из установки. В ночное время, когда температура воздуха понижается, начинается процесс поглощения водяного пара раствором. В начале дня, при восходе солнца, абсорбент вводится в установку и повторяется процесс регенерации.

Энергию связи L (уменьшении свободной энергии ΔF), которую необходимо затратить для отрыва одного моля влаги при постоянной температуре, определяется по формуле:

$$-\Delta F = L = RT \ln \frac{p_H}{p_U},$$

где R – газовая постоянная, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$; p_H – давление насыщенного пара свободной воды, Па; p – парциальное давление равновесного пара над материалом с влагосодержанием.

Изменение теплоты парообразования, которое при этом наблюдается, определяется из формулы

$$\Delta g = g_U - g_H,$$

где g_U - теплота испарения воды, связанной с материалом определенной влажности, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$; g_H - теплота испарения свободной воды, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Изменение энтальпии при изохорно-изобарно-изотермическом процессе отрыва свободной воды определяется по формуле Гибса-Гельмгольца

$$\Delta h = \Delta F - T \frac{\partial(\Delta F)}{\partial T}.$$

Если принять для небольшого интервала температур

$$\frac{\partial(\Delta z)}{\partial T} = 0,$$

то получим выражение для определения давления пара над связанной водой:

$$p_U = p_H \exp\left(-\frac{\Delta z}{RT}\right).$$

Таким образом, десорбция (выделение воды) осуществляется в дневное время под действием солнечного излучения на адсорбент, который помещают в замкнутое пространство. При этом из сорбента выделяются пары воды, и, в замкнутом паровоздушном пространстве поднимается давление. При достижении его давления насыщенного пара воды при температуре внутренней поверхности верхней крышки (стеклянной поверхности), пары воды начинают конденсироваться над этой поверхностью. Теплота конденсации рассеивается в окружающее пространство через поверхность оргстекла. Капли воды во внутренней стеклянной поверхности стекают в водоприемник.

Применяя полученные уравнения, можно определить совместное влияние различных факторов на поглощаемое количество влаги из воздуха. Это в свою очередь даёт далее возможность выбрать конструктивные параметры поглотителя (m , ε_0 , S) для любых условий атмосферного воздуха, которые позволяют при минимальном расходе поглотителя извлечь из воздуха максимальное количество воды.

Литература

1. Магомадов А.С., Королёва Ю.В. Альтернативный метод получения пресной воды на основе возобновляемых источников энергии. Краснодар: «Технические и технологические системы», 2014, с. 463-470.
2. Лыков А.В. Теплообмен. (Справочник). – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
3. Н.В. Кельтцев. Основы адсорбционной техники . М.: Химия, 1984, 592с.
4. В.Г. Чередниченко, А.С. Магомадов. Физико-математическая постановка нестационарной задачи формирования концентрационно-поляризационного слоя в баромембранных процессах. М.: Обозрение прикл. и промышл. матем., 2009, Т.16, Вып. 5, с. 946-947.

ЭФФЕКТ ВТОРИЧНОЙ ПЕРКОЛЯЦИИ В ПРОЦЕССАХ ПЕРЕНОСА В ПРЕДЕЛЬНО НЕОДНОРОДНЫХ МАКРОСКОПИЧЕСКИХ НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ СРЕДАХ

Б.П. Колесников (к.т.н., доц.)

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

В работах, посвящённых процессам переноса в макроскопических неупорядоченных средах (МНС), использующих положения теории перколяции [1, 2, 3], в большинстве случаев, рассматриваются процессы вблизи и на самом пороге протекания при формировании фрактальной структуры перколяционного (бесконечного, стягивающего) кластера [4]. Однако в области перехода (кроссовера) от фрактальной структуры перколяционного кластера к его однородному состоянию характер процессов переноса, на наш взгляд, изучен недостаточно.

В данной работе исследуется влияние на эффективную проводимость МНС изменения структуры проводящего перколяционного кластера (ПК) и его подструктуры - остова перколяционного кластера (ОПК) в области кроссовера. В качестве объекта исследования рассматривали двух компонентные трёхмерные предельно (сильно) неоднородные макроскопические неупорядоченные среды (ПНМНС), состоящие из структурных элементов (изометрических частиц) проводящего компонента с относительной объёмной концентрацией ϑ и непроводящего (изолятора) компонента с относительной объёмной концентрацией $1 - \vartheta$. Характерный размер неоднородности рассматриваемой ПНМНС намного больше любых характерных микроскопических длин процесса. Предметом исследования являлась эффективная проводимость ПНМНС, характеризующая среду в целом (на размерах много больше характерных размеров макроскопических неоднородностей), которая в рассматриваемом случае зависит от концентрации компонентов и не требует усреднение по реализациям [1].

ОПК представляет собой активную часть фрактальной структуры ПК, участвующую в процессах переноса [4] и со-

гласно [5] относительную (безразмерную) эффективную проводимость ПНМНС в области существования фрактальной структуры ОПК можно представить в виде

$$\Lambda_0(\vartheta) = \theta_{\text{опк}}(\vartheta)^2 \quad (1)$$

где $\Lambda_0 = \frac{\lambda_0(\vartheta)}{\lambda_k}$ безразмерная проводимость ОПК; $\lambda_0(\vartheta)$, λ_k – соответственно проводимость ОПК и проводимость полностью консолидированной ПНМНС, состоящей только из проводящих элементов; $\theta_{\text{опк}}(\vartheta)$ – объёмная концентрация (плотность) ОПК численно равная вероятности того, что случайным образом выбранный проводящий элемент принадлежит ОПК.

Для нахождения $\theta_{\text{опк}}(\vartheta)$ сначала рассмотрим процесс формирования ПК и ОПК при изменении концентрации проводящего компонента от нуля до единицы. При увеличении концентрации ϑ от нулевого значения происходит консолидация отдельных проводящих элементов в изолированные кластеры (ИК), размер которых растёт. При достижении ϑ критического значения – нижнего порога протекания ϑ_c^\downarrow (НПП) [5, 6] образуется ПК и его подструктура ОПК, обладающие скейлингом (условием геометрического подобия) с фрактальными структурами имеющими соответственно фрактальные размерности d_f и d_b [4]. Полагаем, что при дальнейшем увеличении ϑ вплоть до другого критического значения – верхнего порога протекания ϑ_c^\uparrow (ВПП) [5, 6] структуры ПК и ОПК свободно развиваются и увеличение плотности ПК – $\theta_{\text{пк}}(\vartheta)$ и ОПК – $\theta_{\text{опк}}(\vartheta)$ происходит по степенному закону [4] при неизменных их фрактальных размерностях. При $\vartheta = \vartheta_c^\uparrow$ все проводящие элементы консолидируются в составе ПК ($\theta_{\text{пк}}(\vartheta_c^\uparrow) = \vartheta_c^\uparrow$) и его структура становится однородной с фрактальной размерностью трёхмерного пространства $d = 3$, а дальнейшее увеличение

плотности ПК происходит по линейному закону $-\theta_{\text{ПК}}(\vartheta) = \vartheta$ вплоть до $\vartheta = 1$. Что касается ОПК, являющегося подструктурой ПК, то при $\vartheta = \vartheta_c^\uparrow$ не все элементы ПК входят в его состав, так как часть из них принадлежит оставшимся «мёртвым» концами ИК [3, 4]. С этого момента, при дальнейшем увеличении ϑ , свободное развитие структуры ОПК прекращается и начинается процесс изменения фрактальной размерности ОПК от значения d_b до значения фрактальной размерности трёхмерного пространства $d = 3$. Кроссовер заканчивается при некотором критическом значении $\vartheta = \vartheta_d$ – предельной фрактальной плотности (ПФП) [5], при которой структура ОПК становится однородной (все проводящие элементы принадлежат ОПК и соответственно ПК), что соответствует условию $\theta_{\text{ОПК}}(\vartheta_d) = \theta_{\text{ПК}}(\vartheta_d) = \vartheta_d$. Дальнейшее увеличение плотностей ПК и ОПК происходят по единой зависимости $-\theta_{\text{ПК}}(\vartheta) = \theta_{\text{ОПК}}(\vartheta) = \vartheta$ вплоть до $\vartheta = 1$.

Известно, что плотность ПК вблизи перколяционного перехода ϑ_c^\downarrow описывается показательной функцией [4]

$$\theta_{\text{ПК}}(\vartheta) \propto (\vartheta - \vartheta_c^\downarrow)^\beta, \quad (2)$$

где: β – фрактальный критический показатель, характеризующий увеличение плотности ПК, $\beta = \nu(d - d_f)$, ν – фрактальный критический показатель, d_f – фрактальная размерность ПК, $d = 3$ – размерность 3-х мерного пространства [4].

Изменение плотности ПК по зависимости (2) характерно вблизи нижнего перколяционного перехода, когда масштаб длины L меньше корреляционной длины ξ [4]. Выше нижнего порога протекания ($\vartheta > \vartheta_c^\downarrow$) корреляционная длина $\xi(\vartheta)$ имеет конечное значение и характеризует средний размер «пустот» внутри ПК, что позволяет рассматривать её как типичное расстояние до которого ПК является самоподобным, т.е.

обладающим фрактальной структурой. На масштабах длин $L(\vartheta) = \vartheta$ больших $\xi(\vartheta)$ структура ПК не является самоподобной и ПК становится однородным [4].

Определим диапазон применимости зависимости (2). Будем считать, что ПК обладает фрактальной структурой начиная от $\vartheta = \vartheta_c^\downarrow$ до значения ВПП $-\vartheta = \vartheta_c^\uparrow$, выше которого ПК становится однородным. Для нахождения ϑ_c^\uparrow запишем плотность фрактального ПК в виде

$$\theta_{\text{ПК}}(\vartheta) = A(\vartheta - \vartheta_c^\downarrow)^\beta, \quad (3)$$

а плотность однородного ПК в виде

$$\theta_{\text{ПК}}(\vartheta) = \vartheta. \quad (4)$$

ВПП найдём из условия, что при $\vartheta = \vartheta_c^\uparrow$ функция (3) будет касательной к (4)

$$A\beta(\vartheta_c^\uparrow - \vartheta_c^\downarrow)^{\beta-1} = 1. \quad (5)$$

Решение системы уравнений (3) и (5) даёт значение верхнего порога протекания

$$\vartheta_c^\uparrow = \vartheta_c^\downarrow(1-\beta)^{-1}. \quad (6)$$

Полученное значение ϑ_c^\uparrow определяется универсальным критическим показателем β , не зависящим от типа перколяции, а только от размерности пространства задачи. Значение коэффициента A определяется из условия $\theta_{\text{ПК}}(\vartheta) = A(\vartheta - \vartheta_c^\downarrow)^\beta = \vartheta_c^\uparrow$,

$$A = \vartheta_c^\uparrow(\vartheta_c^\uparrow - \vartheta_c^\downarrow)^{-\beta}. \quad (7)$$

Подставляя (7) в выражение (3) получим

$$\theta_{\text{ПК}}(\vartheta) = \vartheta_c^\uparrow \left(\frac{\vartheta - \vartheta_c^\downarrow}{\vartheta_c^\uparrow - \vartheta_c^\downarrow} \right)^\beta. \quad (8)$$

Выражение (8) применимо в диапазоне $\vartheta_c^\downarrow < \vartheta \leq \vartheta_c^\uparrow$. При $\vartheta > \vartheta_c^\uparrow$ плотность ПК определяется зависимостью (4), так как он

становится однородным, а, следовательно, при значении $\vartheta = \vartheta_c^\uparrow$ выполняется равенство

$$\xi(\vartheta_c^\uparrow) = \theta_{\text{ПК}}(\vartheta_c^\uparrow) = L(\vartheta_c^\uparrow) = \vartheta_c^\uparrow. \quad (9)$$

Учитывая, что корреляционная длина $\xi(\vartheta)$ описывается показательной функцией

$$\xi(\vartheta) \propto (\vartheta - \vartheta_c^\downarrow)^{-\nu}, \quad (10)$$

где: ν - фрактальный критический показатель, характеризующий корреляционную длину [4], а также условие $\xi(\vartheta) = 0$ при $\vartheta = 1$, найдём зависимость (10) в виде

$$\xi(\vartheta) = D \left(\frac{\vartheta - \vartheta_c^\downarrow}{1 - \vartheta_c^\downarrow} \right)^{-\nu} - D = D \left[\left(\frac{1 - \vartheta_c^\downarrow}{\vartheta - \vartheta_c^\downarrow} \right)^\nu - 1 \right], \quad (11)$$

коэффициент D определяется из равенства выражений (9) и (11) при $\vartheta = \vartheta_c^\uparrow$ с использованием (6)

$$D = \frac{\beta^\nu (\vartheta_c^\downarrow)^{\nu+1}}{(1-\beta) \left[(1-\beta)^\nu (1 - \vartheta_c^\downarrow)^\nu - \beta^\nu (\vartheta_c^\downarrow)^\nu \right]}.$$

Для нахождения закономерности формирования фрактального ОПК (в диапазоне $\vartheta_c^\downarrow > \vartheta \geq \vartheta_c^\uparrow$), по аналогии с (3), запишем его плотность в виде

$$\theta_{\text{ОПК}}(\vartheta) = B (\vartheta - \vartheta_c^\downarrow)^{\beta_b} \approx B (\vartheta - \vartheta_c^\downarrow), \quad (12)$$

где: B - коэффициент пропорциональности; $\beta_b = \nu(d - d_b) \approx 1$ - фрактальный критический показатель, характеризующий увеличение плотности ОПК, d_b - фрактальная размерность ОПК [4]. Из условия скейлинга фрактальных ПК и ОПК должно соблюдаться соотношение

$$F = \frac{\theta_{\text{ОПК}}(\vartheta_c^\uparrow)}{\theta_{\text{ПК}}(\vartheta_c^\uparrow)} = \text{const}. \quad (13)$$

Рассмотрим три возможных варианта выполнения условия (13):

1) $F = 1$ при $B = \beta^{-1}$; 2) $F = \beta$ при $B = 1$; 3) $F = \beta(1 - \vartheta_c^\downarrow)^{-1}$ при $B = (1 - \vartheta_c^\downarrow)^{-1}$.

Первый вариант предусматривает одновременный переход ПК и ОПК к однородному состоянию, при котором плотность фрактального ОПК описывается зависимостью

$$\theta_{\text{опк}}(\vartheta) = (\vartheta - \vartheta_c^\downarrow) \beta^{-1}, \quad (14)$$

которая при $\vartheta = \vartheta_c^\uparrow$ принимает значение $\theta_{\text{опк}}(\vartheta_c^\uparrow) = \vartheta_c^\uparrow$.

Изменение плотности ОПК по зависимости (14) (рис.1) мало вероятно, что подтверждают исследования, указывающие на присутствие оставшихся «мертвых» концов и ИК в ПК [3, 4].

Второй вариант, рассмотренный в работе [5], учитывает существование кроссовера и предусматривает следующее формирование плотности фрактального ОПК до значения ВПП

$$\theta_{\text{опк}}(\vartheta) = (\vartheta - \vartheta_c^\downarrow), \quad (15)$$

которое при $\vartheta = \vartheta_c^\uparrow$ принимает вид $\theta_{\text{опк}}(\vartheta_c^\uparrow) = \beta \vartheta_c^\uparrow$. Изменение плотности ОПК по зависимости (15), предполагает увеличение плотности фрактального ОПК с темпом, характерным для развития однородной 3-d системы – формула (4) (рис.1). Однако, в этом случае, при $\vartheta = 1$ значение плотности ОПК $\theta_{\text{опк}}(1) = (1 - \vartheta_c^\downarrow) \neq 1$, что вносит некоторое внутреннее противоречие для использования зависимости (16). Поэтому выражения (14) и (15) можно рассматривать как крайние возможные варианты формирования ОПК.

Третий вариант учитывает существование кроссовера и условно удовлетворяет требованию (13) в виду незначительной флуктуации значений ϑ_c^\uparrow характерных для устойчивых случайных формирований МНС [3, 5, 7]–

$$\theta_{\text{опк}}(\vartheta) = (1 - \vartheta_c^\downarrow)^{-1} (\vartheta - \vartheta_c^\downarrow). \quad (16)$$

Зависимость (16) при $\vartheta = \vartheta_c^\uparrow$ принимает значение $\theta_{\text{опк}}(\vartheta_c^\uparrow) = (1 - \vartheta_c^\downarrow)(\vartheta_c^\uparrow - \vartheta_c^\downarrow)$, а при $\vartheta = 1$ – значение $\theta_{\text{опк}}(1) = 1$ и она взята за основу для получения дальнейших результатов.

Как было отмечено выше, при $\vartheta \geq \vartheta_c^\uparrow$ свободное развитие структуры ОПК по закону (16) прекращается в связи с трансформацией фрактальной структуры ПК к однородному состоянию, и при $\vartheta \rightarrow \vartheta_d$ происходит кроссовер. Предельную плотность ϑ_d находим как корень выражения

$$D \left[\left(\frac{\vartheta_c^\downarrow}{\vartheta_d - \vartheta_c^\downarrow} \right)^v - 1 \right] = (1 - \vartheta_c^\downarrow)^{-1} (\vartheta_d - \vartheta_c^\uparrow) \quad ,$$

полученного из условия равенства $\xi(\vartheta_d) = \theta_{\text{опк}}(\vartheta_d)$ при использовании зависимостей (11) и (16) – на рис.1 ϑ_d определяется точкой пересечения этих зависимостей.

Характер изменения плотности ОПК в диапазоне $\vartheta_c^\uparrow < \vartheta \leq \vartheta_d$ можно описать формулой

$$\theta_{\text{опк}}(\vartheta) = \left(\vartheta_d - \frac{\vartheta_c^\uparrow - \vartheta_c^\downarrow}{1 - \vartheta_c^\downarrow} \right) \left(\frac{\vartheta - \vartheta_c^\uparrow}{\vartheta_d - \vartheta_c^\uparrow} \right)^\rho + \frac{\vartheta_c^\uparrow - \vartheta_c^\downarrow}{1 - \vartheta_c^\downarrow} \quad , \quad (17)$$

где $\rho = (\vartheta_d - \vartheta_c^\uparrow)(\vartheta_c^\uparrow - \vartheta_c^\downarrow)(1 - \vartheta_c^\downarrow)^{-1}$. С учётом (16) и (17) получим выражение для плотности ОПК во всей фрактальной области $\vartheta_c^\downarrow \leq \vartheta \leq \vartheta_d$

$$\theta_{\text{опк}}(\vartheta) = \frac{\vartheta - \vartheta_c^\downarrow}{1 - \vartheta_c^\downarrow} H \left(\begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right) + \left[\left(\vartheta_d - \frac{\vartheta_c^\uparrow - \vartheta_c^\downarrow}{1 - \vartheta_c^\downarrow} \right) \left(\frac{\vartheta - \vartheta_c^\uparrow}{\vartheta_d - \vartheta_c^\uparrow} \right)^\rho + \frac{\vartheta_c^\uparrow - \vartheta_c^\downarrow}{1 - \vartheta_c^\downarrow} \right] H \left(\begin{matrix} 0 \\ 1 \end{matrix} \right) \quad , \quad (18)$$

где $H\left(\begin{smallmatrix} 1 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)$ – единичная функция, $H\left(\begin{smallmatrix} 1 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)=0$ при $\vartheta \leq \vartheta_c^\downarrow$ и $\vartheta > \vartheta_c^\uparrow$,
 $H\left(\begin{smallmatrix} 1 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)=1$ при $\vartheta_c^\downarrow < \vartheta \leq \vartheta_c^\uparrow$; $H\left(\begin{smallmatrix} 0 \\ 1 \end{smallmatrix}\right)$ – единичная функция,
 $H\left(\begin{smallmatrix} 0 \\ 1 \end{smallmatrix}\right)=0$ при $\vartheta < \vartheta_c^\downarrow$, $H\left(\begin{smallmatrix} 0 \\ 1 \end{smallmatrix}\right)=1$ при $\vartheta_c^\uparrow < \vartheta \leq \vartheta_d$.

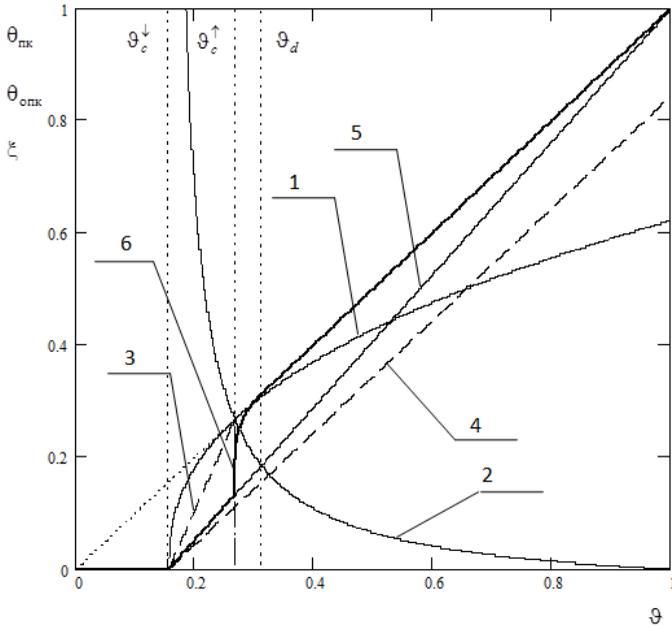


Рисунок 1 – Зависимости: $\theta_{\text{пк}}(\vartheta)$ – 1, $\xi(\vartheta)$ – 2, $\theta_{\text{опк}}(\vartheta)$ – расчёт по формулам: (14) – 3, (15) – 4, (16) – 5, (18) – 6.

Приведённые на рис.1 зависимости получены в результате расчёта при значениях: $\beta=0.417$, $\nu=0.875$, $\nu=0.875$, $d_f=2.54$, $d_b=1.855$ из [4] и $\vartheta_c^\downarrow=0.156$ из [5].

Рассчитанные значения ВПП и ПФП хорошо согласуются с выводами, приведёнными в работе [3].

На рис. 2 приведены зависимости относительной эффективной проводимости ПНМС рассчитанные по формуле (1) с использованием выражений (14), (15), (16) и (18) и взятые из [7].

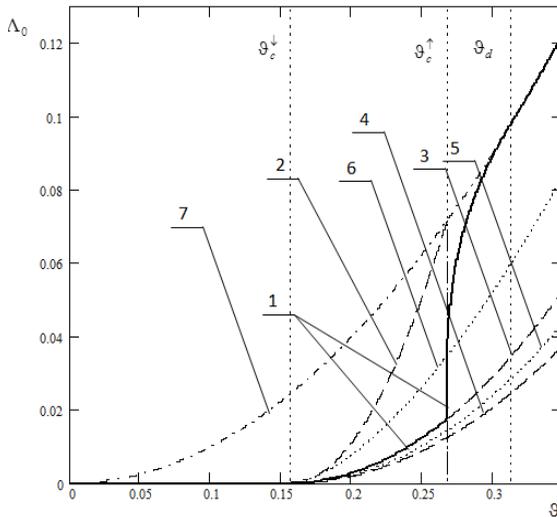


Рисунок 2 – Относительная эффективная проводимость ПНМС: 1, 2, 3, 5 – рассчитанная по формуле (1) с использованием выражений: (18) – 1, (14) – 2, (17) – 3, (16) – 4; 5 –

$$\Lambda_0(\vartheta) = 1.16(\vartheta - \vartheta_c^\downarrow)^2 \quad [7]; \quad 6 - \Lambda_0(\vartheta) = 1.16(\vartheta - \vartheta_c^\downarrow)^{1.6} \quad [7];$$

$$7 - \Lambda_0(\vartheta) = \vartheta^2 \quad [5]$$

Сравнительный анализ полученных результатов показывает, что расчёты с использованием зависимостей (14) и (15) ограничивают область неопределённости, сопоставимую с результатами расчётов по формуле $\Lambda_0(\vartheta) = 1.16(\vartheta - \vartheta_c^\downarrow)^k$, где $k = 1.8 \pm 0.2$ [7]. Зависимость $\Lambda_0(\vartheta)$, полученная с использованием (18), согласуется с формулой, характерной для

области вблизи перколяционного перехода $(\mathcal{G}_c^\downarrow < \mathcal{G} \leq \mathcal{G}_c^\uparrow)$ – $\Lambda_0(\mathcal{G}) \propto (\mathcal{G} - \mathcal{G}_c^\downarrow)^t$, где $t = 2\beta_d = 2\nu(d - d_b) = 2[1, 2]$, а в диапазоне $\mathcal{G}_c^\uparrow < \mathcal{G} \leq \mathcal{G}_d$ она описывает кроссовер и при $\mathcal{G} \geq \mathcal{G}_d$ принимает вид $\Lambda_0(\mathcal{G}) = \mathcal{G}^2$, характерный для однородных систем с взаимопроникающими компонентами [5, 7], что позволяет сделать вывод об отсутствии внутренних противоречий в полученной зависимости во всей области существования фрактальной структуры ОПК.

Предложенный подход позволил выявить эффект «перколяционной» (или «дополнительной») перколяции при значении \mathcal{G}_c^\uparrow , когда происходит резкое увеличение проводимости в процессе кроссовера, описываемое зависимостью (17).

В дальнейшем, представляет интерес проведения дополнительных экспериментов (компьютерного моделирования) в области скейлинга для более детального подтверждения выявленного эффекта дополнительной перколяции.

Литература

1. Снарский А. А., Безсуднов И. В., Севрюков В. А. Процессы переноса в макроскопически неупорядоченных средах: От теории среднего поля до перколяции. – М.: ЛКИ, 2007. – 304 с.
2. Виноградов А. П. Электродинамика композитных материалов. М: URSS, 2001. – 208 с.
3. Лекция № 10. Моделирование ансамблей и решеток частиц и пор. <http://do.gendocs.ru/docs/index-80225>.
4. Тарасевич Ю.Ю. Перколяция: теория, приложение, алгоритмы. Учебное пособие. М.: Едиториал УРСС, 2002. – 112 с.
5. Колесников Б.П. Проводимость предельно неоднородных гетерогенных систем. Международная научно-техническая конференция «современные методы и средства исследования теплофизических свойств веществ» 20–22 мая 2015 г.: Сборник трудов. – Спбю: НИУ ТТМО; ИХ и БТ, 2015. с. 64 – 65.
6. Колесников Б.П. Математическая модель

перколяционного кластера.// XXII Международная конференция «Математика. Экономика. Образование». VIII Межд. симпозиум «Ряды Фурье и их приложения». Труды. Изд-во Фонд науки и образования, Ростов н/Д, 2015. с. 82 - 86.

7. Дульнев Г.Н., Новиков В.В. Процессы переноса в неоднородных средах. Л., Энергоатомиздат, 1991. 246 с.

СЕКЦИЯ 6. НАУКИ О ЗЕМЛЕ

ГАЗОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОВЫХ И ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ СКВАЖИН

Е.О. Петрушин*, А.С. Арутюнян**

* ЗАО «ННК» ОАО «Печоранефть»

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

*Цели, задачи и классификация методов
газогидродинамических исследований вертикальных скважин*

Источником информации о газоносном пласте и скважинах газовых и газоконденсатных месторождений являются газогидродинамические методы исследования (ГДИ) скважин при стационарных и нестационарных режимах фильтрации.

Газогидродинамическими методами исследования скважин и пластов называются методы, теоретически основанные на так называемых «обратных» задачах подземной газогидродинамики. При этом с помощью характеристики выходящего из пласта газа (давления, расхода, качественного и количественного анализа продукции) определяются осреднённые по дренажной зоне скважины параметры пласта:

- неоднородность его по мощности и площади;
- параметры призабойной зоны скважины, зависящие от условий вскрытия пласта и ряда факторов при эксплуатации;
- максимально возможные дебиты скважин с учётом предохранения призабойной зоны от разрушения и проникновения в неё конусов и языков нефти.

Задача прогнозирования разработки газового месторождения сводится к предсказанию характера изменения технологических параметров системы на основе исходной информации о её структурных параметрах.

Целью исследований газовых скважин как раз и является определение исходных параметров разрабатываемой системы.

Задачи и объём ГДИ газовых и газоконденсатных скважин определяются стадией освоения месторождения и его геолого-промысловый характеристикой.

Частота проведения газогидродинамических исследований при стационарных и нестационарных режимах фильтрации определяется изменчивостью устанавливаемых параметров.

Промысловые исследования скважин позволяют определить:

- общие размеры газоносных залежей, изменение толщины пласта по площади и разрезу, наличие экранов и непроницаемых включений, положение газодляного контакта (ГВК) и газонфтяного контакта (ГНК) и их изменения в процессе разрабтки;

- коллекторские и фильтрационные свойства отдельных пропластков (пористость, проницаемость, гидропроводность, пьезопроводность, газонасыщенность), а также пластовое, забойное и устьевое давления и температуры, и характер изменения этих параметров по площади и по разрезу залежи;

- физико-химические свойства газа, нефти (при наличии оторочки), конденсата и воды: вязкость, плотность, коэффициенты сжимаемости, влажность газов, давление начала конденсации и максимальной конденсации, состав газа, нефти, конденсата и воды, минерализация воды, наличие коррозионно-активных компонентов в составе добываемой продукции, а также характер изменения перечисленных параметров при различных давлениях и температурах;

- термобарические условия эксплуатации в стволе скважины, условия разрушения, скопления и выноса твёрдых частиц и скопления и выноса жидкости, условия гидратообразования;

- технологический режим эксплуатации скважин при влиянии различных факторов: деформации пласта, подошвенной воды, температуры газа и окружающей ствол среды, неоднородности, многопластовости, типа конструкции и свойств применяемого оборудования для скважин и наземных коммуникаций и др.

В целом все методы исследований, позволяющие получать информацию о залежи, можно разделить на:

- *прямые*, изучающие непосредственно образцы пород и содержащиеся в них флюиды;

- *косвенные*, изучающие физические свойства продуктивных пластов с использованием связи между параметрами пласта и поддающимися измерению величинами.

К косвенным исследованиям относятся геофизические и газогидродинамические методы исследования скважин. Значительную часть информации получают газогидродинамическими методами исследования газовых и газоконденсатных скважин при стационарных и нестационарных режимах фильтрации.

Газогидродинамические методы исследования делятся на:

- первичные;
- текущие;
- специальные;
- комплексные.

Первичные исследования проводятся на всех разведочных и добывающих скважинах и позволяют определить: параметры пласта, его продуктивную характеристику, установить добычные возможности скважины, а также связь между дебитом, забойным и устьевым давлениями и температурой, режим эксплуатации скважины с учётом наличия и выноса жидких и твёрдых частиц в потоке, начальное пластовое давление, степень и качество вскрытия пласта и др.

Текущие исследования проводятся на добывающих скважинах в процессе разработки месторождения. Основная цель этих исследований заключается в получении информации, необходимой для анализа и контроля за разработкой. Такие исследования проводятся также до и после проведения в скважинах интенсификационных или ремонтно-профилактических работ.

Специальные исследования проводятся для определения отдельных параметров, обусловленных специфическими условиями данного месторождения. К специальным исследованиям относятся: исследования по контролю за положением ГВК, изучение степени коррозии скважинного оборудования, определение степени истощения отдельных пластов в процессе разработки,

изучение влияния влаги и разрушения пласта на производительность скважины и др.

Комплексные исследования включают: газогидродинамические исследования при стационарных и нестационарных режимах фильтрации, промыслово-геофизические исследования продуктивного разреза, определение продуктивной толщины пласта, газоконденсатные исследования в промысловых и лабораторных условиях, исследования образцов керна из различных интервалов, исследования проб газа, нефти, воды и др.

Такие исследования позволяют:

- определить неоднородность продуктивного разреза и использовать эту информацию при прогнозировании добычи газа, конденсата, нефти, воды;
- оценить возможность обводнения скважин и степень истощения всего эксплуатируемого объекта;
- прогнозировать потери и извлечение конденсата, возможные улучшения и ухудшения продуктивности скважин, необходимость ингибирования скважин, необходимость проведения таких мероприятий как перевод на вышележащий горизонт, перфорация хвостовиков, дополнительная перфорация обсадных колонн, зарезка горизонтальных боковых стволов, гидроразрывы пласта и др.

Также ГДИ скважин делят на 2 вида:

1) *при стационарных режимах фильтрации* – базируются на связи между забойным давлением и дебитом на различных режимах работы и позволяют определить:

- изменение давления, температуры и дебита на различных режимах;
- коэффициенты фильтрационного и гидравлического сопротивления;
- количество жидких и твёрдых примесей в продукции скважины;
- технологический режим эксплуатации;
- эффективность проведения ремонтно-профилактических работ и др.

2) *при нестационарных режимах фильтрации* – базируются на процессах перераспределения давления в пласте и позволяют определить:

- среднюю проницаемость в дренируемой области независимо от степени несовершенства скважины;
- проницаемость призабойной зоны;
- степень засорения этой зоны в процессе бурения и после проведения ремонтно-профилактических работ;
- выделить область пласта с ухудшенной проницаемостью, наличие экранов.

В процессе разведки исследуются все без исключения скважины для выяснения промышленной газоносности залежи и ввода её в дальнейшую разработку. В период опытной эксплуатации исследуются все пробуренные разведочные и эксплуатационные скважины.

В период разработки залежи объём исследований можно сократить путём подбора необходимого числа разнохарактерных скважин, представляющих всё разнообразие скважин данного месторождения. Геологическая служба месторождения совместно с проектным институтом определяет объём и частоту исследования эксплуатационных, наблюдательных и пьезометрических скважин [1].

Литература

1. Алиев З.С., Шеремет В.В. Определение производительности горизонтальных скважин, вскрывших газовые и газоконденсатные пласты. – М.: Недра, 1995. – 131 с.

2. Применение горизонтальных скважин на начальном этапе разработки Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения [Электронный ресурс] Режим доступа:

http://knowledge.allbest.ru/geology/3c0b65625b2bc78b4c53a88421216c26_0.html

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

Е.О. Петрушин*, А.С. Арутюнян**, Е.Н. Даценко**

* ЗАО «ННК» ОАО «Печоранефть»

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

Цели и задачи геофизических исследований газовых скважин

Исследование скважин проводят в процессе разведки, опытной и промышленной эксплуатации с целью получения исходных данных для определения запасов газа, проектирования разработки месторождений, обустройства промысла, установления технологического режима работы скважин, обеспечивающего их эксплуатацию при оптимальных условиях без осложнений и аварий, оценки эффективности работ по интенсификации и контроля за разработкой и эксплуатацией месторождения.

Геофизические методы исследования скважин (каротаж) – это методы геологической и технической документации проходки скважин, основанные на изучении в них различных геофизических полей. Наиболее широкое применение геофизические методы получили при изучении нефтяных и газовых скважин в процессе их бурения, опробования и эксплуатации. Исследование скважин геофизическими методами проводится в четырёх направлениях:

- 1) изучение геологических разрезов скважин;
- 2) изучение технического состояния скважин;
- 3) контроль разработки месторождений нефти и газа;
- 4) проведение прострелочно-взрывных и других работ в скважинах геофизической службой.

Изучение геологических разрезов скважин – самое важное направление. В нём используются электрические, магнитные, радиоактивные, термические, акустические и другие методы. Применение их основано на изучении физических естественных и искусственных полей различной природы. Интенсивность этих изучений зависит от физических свойств горной породы. В этом направлении решаются следующие задачи:

- литологическое расчленение пород;

- выделение пород-коллекторов;
- определение пород-коллекторов;
- изучение технического состояния скважины.

Существует много методов исследования скважин и технических средств для их осуществления. Все они предназначены для получения информации об объекте разработки, об условиях и интенсивности притока нефти, воды и газа в скважину, об изменениях, происходящих в пласте в процессе его разработки. Такая информация необходима для:

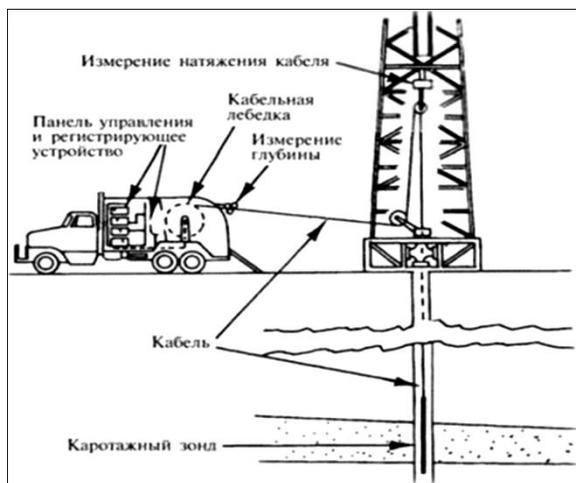
- организации правильных, экономически оправданных процессов добычи нефти;
- осуществления рациональных способов разработки месторождения;
- обоснования способа добычи нефти и выбора оборудования для подъема жидкости из скважины;
- установления наиболее экономичного режима работы этого оборудования при наиболее высоком коэффициенте полезного действия.

В процессе выработки запасов нефти условия в нефтяной залежи и в скважинах изменяются. Скважины обводняются, пластовое давление снижается, газовые факторы могут изменяться. Это заставляет постоянно получать непрерывно обновляющуюся информацию о скважинах и о пласте или нескольких пластах, являющихся объектом разработки. От наличия такой достоверной информации зависит правильность принимаемых решений по осуществлению на скважинах или на объекте разработки (или на отдельных частях такого объекта) тех или иных геолого-технических мероприятий.

Классификация методов исследования по виду и по назначению

Геофизические методы исследования скважин и геологического разреза на стадиях бурения этих скважин, их заканчивания, а также текущей эксплуатации дают обильную информацию о состоянии горных пород, их параметрах и об их изменениях в процессе эксплуатации месторождения и часто используются при осуществлении не только геологических, но и чисто технических

мероприятий на скважинах. В силу своей специфичности, необходимости знания специальных предметов, связанных с физикой земли, горных пород, а также с ядерными процессами, эти методы исследования, их теория, техника осуществления и интерпретация результатов составляют особую отрасль знаний и выполняются геофизическими партиями и организациями, имеющими для этой цели специальный инженерно-технический персонал, оборудование и аппаратуру. Геофизические исследования скважин – это различного рода каротажи, т.е. прослеживание за изменением какой-либо величины вдоль ствола скважины с помощью спускаемого на электрокабеле специального прибора, оснащённого соответствующей аппаратурой.



Электрокаротаж

Одним из важнейших методов является *электрический каротаж скважин*, который позволяет проследить за изменением самопроизвольно возникающего электрического поля в результате взаимодействия скважинной жидкости с породой, а также за изменением так называемого кажущегося удельного сопротивления этих пород. Электрокаротаж и его разновидности, такие как боковой каротаж (БК), микрокаротаж, индукционный каротаж (ИК), позволяют дифференцировать горные породы разреза, на-

ходить отметку кровли и подошвы проницаемых и пористых коллекторов, определять нефтенасыщенные пропластки и получать другую информацию о породах.

Методы электрического каротажа, основанные на дифференциации горных пород по УЭС, называют *методами сопротивления*. Их реализуют с помощью измерительных установок – зондов. Существуют *нефокусированные* и *фокусированные зонды*.

Электрический каротаж нефокусированными зондами

Электрический каротаж нефокусированными зондами получил название *метода кажущегося сопротивления* (КС). Обычно зонды КС трёхэлектродные. Четвёртый электрод заземляют на поверхности. Два электрода, обозначаемые буквами А и В, соединяют с генератором тока, два других – М и N – включают на вход измерителя разности потенциалов. Иногда в скважину помещают все четыре электрода или только два – А и М. Электроды А и В питают переменным током низкой частоты, что позволяет исключить влияние на измеряемый сигнал постоянных или медленно меняющихся потенциалов электрохимического происхождения. Поскольку диапазон частот, применяемых в методе КС, как и в других электрических методах, не превышает нескольких сотен герц, теория метод базируется на законах постоянного тока.

Существуют следующие модификации метода КС:

- вертикальное профилирование одиночными зондами;
- боковое каротажное зондирование;
- микрозондирование;
- резистивиметрия.

Две первые модификации можно называть макро-, две последние микромодификациями. Условно к макромодификациям метода КС относят так же токовый каротаж.

Прямая задача метода КС требует найти связь между известными параметрами породы скважины, источниками тока и измеряемыми значениями.

Обработка диаграмм может включать нормировку данных, приведение их к определённой системе отсчёта, статистическую обработку с оценкой доверительных интервалов, фильтрацию, приведение результатов к определённым глубинам, устранение

аппаратурных помех и т.д. Важным этапом обработки является нахождение границ пластов и снятие показаний с диаграмм. Геофизическая задача заключается в определении искомым физических параметров на основе решения обратной задачи данного метода. Геологическая интерпретация заключается в определении геологических характеристик разреза.

Выше указывалось, что существуют две макромодификации метода КС: вертикальное профилирование одиночными зондами и БКЗ. Измеряемое одиночными зондами УЭС в общем случае кажущееся. Поэтому вертикальное профилирование применяют для нахождения границ пластов, а в благоприятных случаях для литологического расчленения разрезов, выявления нефтегазовых или водонасыщенных коллекторов, отложений угля, руд и других полезных ископаемых, отличающихся по своему удельному сопротивлению от вмещающих пород. Для определения количественных характеристик (коэффициентов пористости, нефтегазонасыщенности, зональности и т.д.) используют результаты геофизической интерпретации данных БКЗ и уточнённые для конкретных отложений петрофизические зависимости. Методика БКЗ позволяет так же выяснить, пронизан ли пласт по факту наличия или отсутствия у него зоны проникновения.

Существуют две микромодификации метода КС – микрозондирование и резистивиметрия. Микрозондирование (МКЗ) состоит в детальном исследовании ближней зоны потенциал- и градиент-зондами существенно меньшей длины, чем при макромодификациях метода КС. Данные микрозондирования служат для детального расчленения разрезов скважин, уточнения границ и выделения тонких прослоев. Резистивиметрия служит для определения удельного сопротивления промывочной жидкости. Её выполняют градиент-зондами столь малой длины (резистивиметрами), что влиянием стенок скважины можно пренебречь.

Методы электрического каротажа с фокусированными зондами

Влияние скважины и вмещающих пород может быть в значительной степени преодолено за счёт применения фокусированных зондов. Метод, основанный на применении зондов с фокусированной системой питающих электродов, называют *бокковым каротажем* (БК). Существуют его семи-, девяти- и трёх-

электродные модификации. Рассмотрим семиэлектродный зонд. Линии тока растекаются от трех точечных питающих электродов, напряжение на которые подано в одинаковой фазе. Видно, что применение такой системы позволяет не только сфокусировать ток центрального электрода в пласт, но и обеспечить высокую разрешающую способность по вертикали. Семиэлектродные зонды предназначены преимущественно для изучения неизменной части пласта. Наряду с этим существуют девятиэлектродные зонды, предназначенные для изучения зоны проникновения. Трудности создания сложных электронных устройств в ограниченных габаритах скважинного прибора привели к распространению трёхэлектродных зондов БК, не требующих применения автоматических компенсаторов и управляемых генераторов.

Боковой микрокаротаж (БМК) основан на применении микрозондов с фокусировкой тока. Показания зондов БМК менее искажены влиянием глинистой корки и промывочной жидкости. Скважинные приборы, содержащие несколько расположенных по окружности прижимных устройств, на каждом из которых размещён зонд БМК, называют *пластовыми наклономерами*. По вертикальному сдвигу диаграмм, зарегистрированных с помощью входящих в наклономер зондов, можно оценить наклон пласта, а по показаниям встроенного в скважинный прибор инклинометра – азимут угла падения.

Задачи, решаемые методом БК, связаны с его высокой разрешающей способностью по вертикали и возможностью получения удовлетворительных результатов при больших отношениях. В благоприятных условиях метод БК позволяет осуществить детальное расчленение разреза, оценить его литологию, выделить пласты-коллекторы, определить их коллекторские свойства. При отсутствии зоны проникновения или понижающей зоне эффективность БК значительно выше, чем у метода КС.

Радиоактивный каротаж

Радиоактивный каротаж (РК) основан на использовании радиоактивных процессов (естественных и искусственно вызванных), происходящих в ядрах атомов горных пород и насыщающих их жидкостей. Существует много разновидностей РК, чувствительных к наличию в горных породах и жидкостях тех или

иных химических элементов. Разновидностью РК является гамма-каротаж (ГК), дающий каротажную диаграмму интенсивности естественной радиоактивности вдоль ствола скважины, что позволяет дифференцировать породы геологического разреза по этому признаку. Гамма-гамма-каротаж (ГГК) фиксирует вторичное рассеянное породами гамма-излучение в процессе их облучения источником гамма-квантов, находящихся в спускаемом в скважину аппарате. Существующие две разновидности ГГК позволяют косвенно определять пористость коллекторов, а также обнаруживать в столбе скважинной жидкости поступление воды как более тяжёлой компоненты.

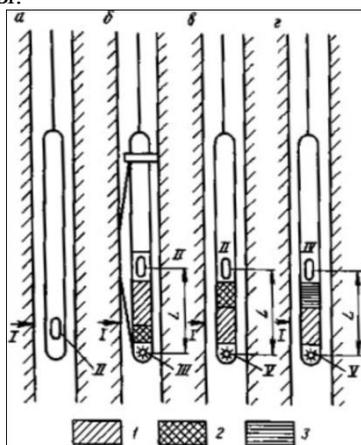


Схема установок радиоактивного каротажа:

- a* — для гамма-каротажа; *б* — для гамма-гамма-каротажа;
- в* — для нейтронного гамма-каротажа;
- г* — для нейтронного каротажа по тепловым и надтепловым нейтронам

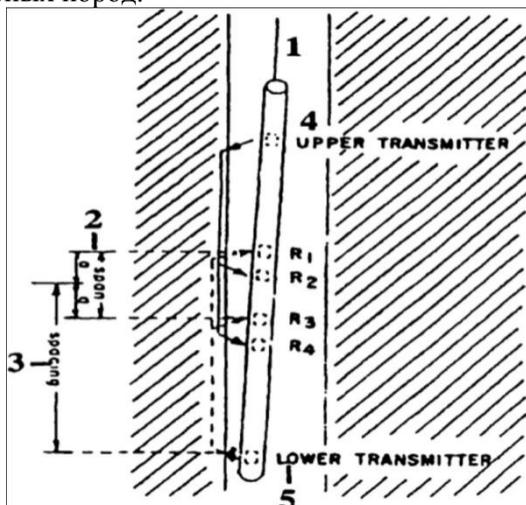
На схеме обозначено: 1 — стальной экран; 2 — свинцовый экран; 3 — парафин; *L* — длина зонда; I — точка записи результатов измерений; II — индикатор гамма-излучения; III — источник гамма-излучения; IV — индикатор плотности нейтронов; V — источник нейтронов

Нейтронный каротаж (НК) основан на взаимодействии потока нейтронов с ядрами элементов горных пород. Спускае-

мый в скважину прибор содержит источник быстрых нейтронов и индикатор, удалённый от источника на заданном (примерно 0,5 м) расстоянии и изолированный экранной перегородкой. Существует несколько разновидностей НК, как, например, нейтронный каротаж по тепловым и надтепловым нейтронам (НГ-Т и НГ-Н), которые дают дополнительную информацию о коллекторе и пластовых жидкостях.

Акустический каротаж

Акустический каротаж (АК) – это определение упругих свойств горных пород.



Схематическое изображение акустического зонда:

- 1 – зонд; 2 – расстояние между датчиками;
- 3 – расстояние между излучателем и датчиками;
- 4 – верхний излучатель; 5 – нижний излучатель

При АК в скважине возбуждаются упругие колебания, которые распространяются в окружающей среде и воспринимаются одним или более приёмниками, расположенными в том же спускаемом аппарате. Зная расстояние между источниками колебания и приёмником, можно определить скорость распространения упругих колебаний и их амплитуду, т.е. затухание. В соответствии с этим выделяется три модификации АК: по скорости

распространения упругих волн, по затуханию упругих волн и АК для контроля цементного кольца и технического состояния скважины.

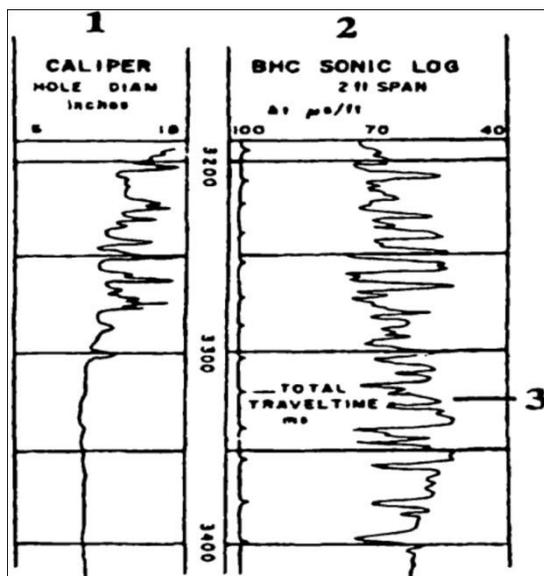


Диаграмма акустического каротажа:

- 1 – кавернометрия; 2 – акустический каротаж (Δt , мкс/фут);
3 – полное время пробега (мс)

Другие виды каротажа

К другим видам относится *кавернометрия*, т.е. измерение фактического диаметра необсаженной скважины и его изменение вдоль ствола. Кавернограмма в сочетании с другими видами каротажа указывает на наличие проницаемых и непроницаемых пород. Увеличение диаметра соответствует глинам и глинистым породам. Сужение обычно происходит против песков и проницаемых песчаников. Против известняков и других крепких пород замеряемый диаметр соответствует номинальному, т.е. диаметру долота. Кавернограммы используются при корреляции пластов и в сочетании с другими методами хорошо дифференцируют разрез, так как хорошо отражают глинистости и проницаемости разреза. *Термокаротаж* – изучение распределения температуры в

обсаженной или необсаженной скважине. Термокаротаж позволяет дифференцировать породы по температурному градиенту, а, следовательно, по тепловому сопротивлению. Кратковременное охлаждение ствола скважины или нагрев при закачке холодной или горячей жидкости позволяет получить новую информацию о теплоёмкости и теплопроводности пластов. Это позволяет определить:

- местоположение продуктивного пласта;
- газонефтяной контакт;
- места потери циркуляции в бурящейся скважине или дефекта в обсадной колонне зоны разрыва при ГРП и зоны поглощения воды и газа при закачке.

Увеличение чувствительности скважинных термометров и уменьшение их тепловой инерции ещё больше расширит круг промышленных задач, решаемых с помощью термометрии.

Литература

1. Мстиславская Л.П., Павлинич М.Ф., Филиппов В.П. Основы нефтегазового производства: учебное пособие: 3-е изд. испр. и доп.– М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2005. – 276 с.

2. Мартынов В.Г. (ред.) и др. Геофизические исследования скважин. Справочник мастера по промышленной геофизике / Под ред. В.Г. Мартынова, Н.Е. Лазуткиной, М.С. Хохловой. – М.: Изд-во «Инфра-Инженерия», 2009 – 960 с.

3. Дарлинг Т. Практические аспекты геофизических исследований скважин. Перевод с английского. – М.: ООО «Премииум Инжиниринг», 2008 – 400 с.

4. Коршак А.А., Шаммазов А.М. Основы нефтегазового дела. Учебник для ВУЗов: – Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2001 – 544 с.

5. Ширковский А.И. Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений. – М.: Недра, 1987 – 309 с.

6. Геофизические методы исследования газовых скважин [Электронный ресурс] Режим доступа:

http://knowledge.allbest.ru/geology/3c0a65635b3bc68b4c53a89521216d36_0.html

ИНДИКАТОРНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СКОРОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Е.О. Петрушин
ЦДНГИ ОАО «Печоранефть» (Россия)

Промысловый опыт определения пути движения закачиваемой воды по пласту на Стахановской площади Серафимовский группы месторождений

Практика разработки многопластовых нефтяных месторождений, имеющих большую неоднородность по мощности и проницаемости, требует поставки широкого комплекса геолого-промысловых исследований для изучения характера движения жидкости по пласту. На промыслах успешно применяют геофизические, гидродинамические и физико-химические методы контроля. В последнее время предпочтение отдается физико-химическому методу, менее трудоёмкому и не требующему остановки нефтяной скважины. Метод основан на определении минерализации нагнетаемой в пласт и попутно добываемой эксплуатационными скважинами воды, а также на закачке «меченой» жидкости.

В связи с тем, что в пласт закачивается всё больший объём минерализованной сточной воды контроль за движением закачиваемой жидкости по степени минерализации (по содержанию ионов хлора) практически становится невозможным. Поэтому наиболее приемлемым в этих условиях является исследование закачкой различных индикаторов – «меченых» жидкостей в нагнетательную скважину и определение наличия их в воде, добываемой нефтяными скважинами. Применяемые для исследования индикаторы должны:

- хорошо растворяться в воде и плохо в нефти;
- мало адсорбироваться на поверхности продуктивного пласта;
- иметь низкую стоимость;
- быть безопасными при работе в промысловых условиях.

На основе лабораторных исследований [1] и промысловых опытов, проведённых в институте «БашНИПИнефть», уста-

новлено, что всем выше перечисленным требованиям более полно отвечает роданистый аммоний (NH_4CNS).

На Стахановской площади Серафимовской группы нефтяных месторождений с использованием роданистого аммония был проведён большой объём промысловых исследований для определения линейной скорости движения закачиваемой жидкости по пласту, а также для определения ухода её в другие горизонты. С этой целью в нагнетательную скважину № 762 закачали 250 м^3 0,15 %-ной концентрации водный раствор роданистого аммония, а его наличие контролировали в попутно добываемой воде из нефтяных скважин №№ 738, 757, 704, 502, 767, 705, 766 и 763 [2].

Геолого-техническая характеристика указанных скважин представлена в табл. 1 и 2.

Таблица 1

№ сква-жины	Пласт	Вскрытая мощность по РГД, м	Работающая мощность по РГД, м	Проницаемость пласта по данным исследований, мкм^2	Гидропроводность пласта, ($\text{мкм}^2 \cdot \text{м/Па} \cdot \text{с}$)	Приёмис-тость, $\text{м}^3/\text{сут.}$
762	$\text{C}_1^{2/1}$	2,2	2,0	0,183	40,3	200

Для закачки использовался заливочный агрегат типа ЦА-320.

Ниже приводится технология закачки водного раствора роданистого аммония.

Агрегат ЦА-320 подключают к устью нагнетательной скважины (рис. 1). В ёмкость агрегата загружают роданистый аммоний, закрывают устьевые задвижки 2 и 3 и через открытую задвижку 4 набирают в ёмкость необходимое количество закачиваемой воды, размешивают до полного растворения в ней индикатора. После чего открывают задвижку 3 и скважину 5 пускают под закачку.

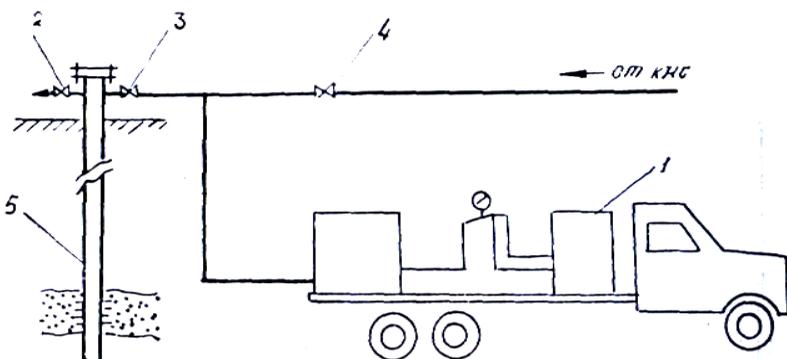


Рисунок 1 – Схема обвязки для закачки роданистого аммония в скважину

Таблица 2

№ сква-жины	Пласт	Вскрытая мощность по РГД, м	Дебит жидкости, м ³ /сут.	Обводнённость, %	Опреснение добываемой воды, %	Расстояние от нагнетательной до нефтяной скважины, м
738	C_1^{2h}	2,6	7,5	45	77	675
757	C_1^{2h}	3,5	8,7	80	96	400
704	C_1^{2h}	4	17,0	75	95	537
502	C_1^{2h}	3	11,0	49	81	412
767	$C_1^{2h} + C_1^{tur}$	8	2,3	–	–	725
705	D_3^{fam}	4	5,6	5	15	425
766	C_1^{tur}	7	2,8	100	16	425
763	C_1^{tur}	7	6,7	3	70	750

Раствор в ёмкости готовится из расчета получения исходной концентрации 0,15 % при оптимальных условиях работы агрегата.

Всего в скважину закачали 150 кг роданистого аммония и 100 м³ воды. Время появления «меченой» жидкости в нефтяных скважинах определяли ежедневно в течение месяца и в неделю один раз в последующие два месяца.

Наличие роданистого аммония в пробе определялось методом качественной оценки, которая производилась следующим образом: отобранная с устья проба подкислялась 1 %-ным раствором соляной кислоты, из расчёта 2 мл на 100 мл пробы и отфильтровывалась от нефти через бумажный фильтр. К отфильтрованной пробе добавляли 2 мл (на 100 мл воды) 5 %-ного раствора хлористого железа. Появление ярко-красного цвета (при содержании около 15 мг/л) свидетельствует о наличии роданистого аммония [1]. В данном случае, из-за отсутствия необходимости, количественная оценка не производилась, а определялось лишь наличие роданистого аммония. Результаты промысловых исследований приведены в таблице 3.

Роданистый аммоний обнаружен только в тех скважинах, которые эксплуатируют пласт C_1^{2h} [2].

Из результатов проведенного промыслового опыта можно сделать следующие выводы:

1. Для определения линейной скорости движения закачиваемой жидкости по пласту на Стахановской площади Серафимовского месторождения может быть успешно использован роданистый аммоний.

2. Установлено, что на данном участке закачиваемая вода движется только по терригенной толще нижнего карбона (C_1^{2h}), не уходя в другие близлежащие пласты турнея (C_1^{tur}) и девона (D_3^{fam}).

Таблица 3

№ скважины	Пласт	Вскрытая мощность по РГД, м	Дата закачки в нагнетательную скважину роданистого аммония	Дата появления роданистого аммония в нефтяных скважинах	Линейная Скорость движения Закачиваемой воды, м/сут
704	C_1^{2h}	4,0	–	31 мая	59,7
502	C_1^{2h}	3,0	–	01 июня	41,2
757	C_1^{2h}	3,5	–	31 мая	33,3
738	C_1^{2h}	2,6	23 мая	01 июня	67,5
767	$C_1^{2h} + C_1^{tu}$	8,0	–	–	–
705	D_3^{fam}	4,0	–	–	–
766	C_1^{tur}	7,0	–	–	–
763	C_1^{tur}	7,0	–	–	–

Промысловый опыт испытания роданистого аммония на Дружном месторождении

Для выявления отличительной особенности геологического строения пласта BC_1^{10} Дружного месторождения и ряда других месторождений региона, в значительной степени определяющей эффективность заводнения, является наличие каналов низкого фильтрационного сопротивления, связанных с тектоническими нарушениями. Их наличие достаточно достоверно подтверждено исследованиями данных по закачке искусственного индикатора – роданистого аммония в нагнетательные скважины

№№ 201, 2185 и 2186 пласта БС¹⁰, выполненными специалистами института «НижневартовскНИПИнефть». В результате интерпретации полученных материалов установлено их проявление в течение 8-76 часов в 32 из 111 находившихся под наблюдением скважин. Подавляющее большинство скважин, в которых индикатор проявился в течение 12 часов после закачки, вплотную примыкают к каналам низкого фильтрационного сопротивления. Расчётами установлено, что скорость продвижения закачиваемой воды по ним превышает скорость фильтрации её в поровом коллекторе терригенного типа в 100-600 раз.

Повторные индикаторные исследования, выполненные по результатам закачки трассеров через скважины №№ 201 и 2186 после обработки участков с применением волокнисто-дисперсной системы (ВДС), выявили существенные изменения в геометрии и скорости их движения по пласту. ВДС использовалась для исследования по повышению нефтеотдачи и изоляции притока воды. Примечательно, что в идентичных первоначальным условиям наблюдениях (до обработки с применением ВДС) индикатор появился лишь в 18 скважинах. При этом в четырёх скважинах индикатор обнаружен только при повторных закачках. Эти исследования доказали высокую способность ВДС перераспределять фильтрационные потоки в каналах низкого фильтрационного сопротивления. Объём этих каналов низкого фильтрационного сопротивления, по которым непроизвольно фильтруется значительная часть нагнетаемой воды, после применения ВДС снизилась в 1,9 раз, а проницаемость до 50 % [3].

Обобщённые результаты индикаторных исследований фильтрации нагнетаемой воды в нефтенасыщенных пластах

Скорость вытеснения нефти нагнетаемой воды – один из основных показателей процесса заводнения нефтяных залежей, определяющий сроки извлечения запасов нефти и газа, обводнение скважин и при определенных условиях нефтеотдачу пластов. Достоверное определение скорости расчётным путём или по материалам лабораторных работ зачастую затруднительно. Наи-

более точные данные дают промысловые исследования с индикаторами.

Анализ имеющихся данных (таблица 2) показывает, что скорость перемещения нагнетаемой воды в пластах достигает весьма больших величин, исчисляемых сотнями метров за сутки. Значения скорости более 100 м/сут. зафиксированы на многих исследованных с применением индикаторов площадях Ставропольского и Пермского краёв, Мангышлака, Татарии, Башкирии и республики Белоруссии. Наибольшая величина, равная 10,2-10,6 км/сут., установлена на Осташковичском (Белоруссия) и ранее на Дерюжевском (Самарская область) месторождениях.

Аномально быстрое поступление индикатора в добывающие скважины, как правило, характеризует преждевременные прорывы отдельных частей фронта вытеснения нефти водой. Диапазон изменения максимальной скорости опережающего перемещения нагнетаемой воды в различных направлениях от одной и той же нагнетательной скважины в большинстве случаев весьма широкий:

- по Ачикулакскому месторождению 13,8-231,0 м/сут.;
- по Осташковичскому 396,5-10200,0 м/сут.;
- по Старогрозненскому 14,3-73,3 м/сут.;
- по Ромашкинскому 158,0-480,0 м/сут.;
- Осинскому 144,0-900,0 м/сут. [4].

Время движения первых порций меченой воды в пластах не согласуется с такими параметрами, как режимы работы добывающих и нагнетательных скважин и расстояние между ними, обводнённость извлекаемой нефти. Оно для подавляющего большинства исследованных отечественных месторождений было гораздо менее продолжительным, чем ожидалось. Наблюдается различие между фактическими и расчётными величинами. Весьма большие расхождения отмечаются при сопоставлении вычисленных (по усреднённым геолого-промысловым данным) и фактических значений времени первых поступлений индикатора, меньшие – при рассмотрении времени перемещения основных объёмов меченой воды. Во всех случаях для трещиноватых отложе-

ний различия более существенны, чем для пористых пластов, очевидно, из-за достоверного определения толщины пласта фильтрующей жидкостью.

Интенсивное перемещение меченой воды по исследованным залежам связано со строением пластов, в частности с наличием высокопроницаемых путей движения жидкости. Первые прорывы индикатора в добывающие скважины показывают, что по каждому фильтрационному каналу, как правило, перемещается небольшой объём жидкости, составляющий от десятитысячных долей до 1 % нагнетаемой воды в соответствующую скважину, через которую введён в пласт индикатор. На эффективность заводнения фильтрационные пути опережающего движения могут влиять только в сумме.

Важнейшей фильтрационной характеристикой процесса заводнения является скорость движения фронта воды, вытесняющего основные извлекаемые запасы нефти. Фронтальная скорость значительно ниже, чем у первых поступающих в добывающие скважины порций индикатора, и составляет 0,3-5,2 м/сут. В диапазоне 0,6-2,8 м/сут. находятся значения, полученные по Арланскому и Ромашкинскому (Холмовская площадь) месторождениям (табл. 4).

Максимальная и фронтальная скорости образуют спектр, в пределах которого заключаются скорости опережающего перемещения нагнетаемой воды из-за неоднородности пласта. Как правило, он весьма широк. В частности, по Холмовской площади он составляет 0,6-300,0 м/сут.

По отдельным залежам получены графики изменения концентрации в выходящем из пласта потока в виде отдельных пиков. Анализ показал, что они характерны для коллекторов с резкой неоднородностью, когда фронт вытеснения нефти водой как таковой вообще не формируется.

Таблица 4

Месторождение	Индикатор	Темп нагнетания, м/сут.	Номер добывающих скважин	Расстояние до нагнетательной скважины, м	Минимальное Время движения индикатора в пласте, сут.	Максимальная скорость движения Индикатора в пласте, м/сут.
Октябрьское	карбам ид	2200	219	2260	1240	1,8
			250	5300	1060	5,0
	аммиачная селитра	420	217	1300	325	4,0
			231	2000	526	3,8
Ромашкинское	третий	700	7050	860	4	215,0
			7063	600	2	300,0
			13085	310	0,9	300,0
			13091	600	3	200,0
Серафимовское	роданистый аммоний	200	704	537	9	59,7
			502	412	10	41,2
			757	400	12	33,3

Как видно из табл. 4, индикаторные исследования выполнены на коллекторах различного типа (поровых, трещинных). По полученным данным не наблюдается количественной зависимости скорости вытеснения нефти водой от типа коллектора. Считается, что аномально высокие скорости перемещения меченой воды в естественных пластах связаны с трещиноватостью отло-

жений. Однако в чисто трещинных коллекторах верхнемеловых залежей Брагунского и Октябрьского месторождений Чеченской республики потребовалось 1-4 года, чтобы индикатор прошёл путь 1,1-6,0 км, а, например, в поровом коллекторе месторождения Колодезное, где возможны единичные трещины, – всего 42-545 сут. при расстоянии 0,8-2,8 км. Очевидно, чем меньше трещин в пласте и чем чёткую направленность они имеют, тем благоприятнее условия для быстрых прорывов нагнетаемой воды в добывающие скважины. Факт аномального прорыва индикатора в добывающие скважины следует рассматривать как один из показателей возможного движения нагнетаемой воды по пустотам вторичного происхождения. Для однозначного решения вопроса о трещиноватости пласта требуется совместный анализ результатов применения меченой жидкости или газа, изучения керновых материалов и обнажений горных пород, данных геофизических и гидродинамических исследований скважин [4].

Опреснение добываемых вод широко используется в нефтепромысловой практике в качестве критерия для установления времени подхода к добывающей скважине вытесняющего агента. Скорость перемещения ВНК и фронта нагнетаемого агента по данным обводнения скважин и химического анализа добываемых вод, как правило, оценивается не выше 1-2 м/сут. Скорость перемещения основных объёмов меченой жидкости близка к этому диапазону, а скорость максимального перемещения индикатора резко отличается, что свидетельствует о более высокой чувствительности индикаторного метода.

Опреснение добываемых вод фиксируется не с начала подхода нагнетаемой воды, а с момента поступления в добывающие скважины их определённого количества, позволяющего выявить изменение химического состава при непостоянном фоне минерализации пластовых и нагнетаемых вод. В конечном счёте, это приводит к занижению значений искомых параметров.

Механизм вытеснения нефти нагнетаемой воды даже из сравнительно однородных пластов весьма сложный. Результаты промысловых экспериментов с применением индикаторов, при-

ведённые в таблице 4, свидетельствуют о ряде макромасштабных фильтрационных особенностях заводнения залежей. Все они преимущественно связаны со спецификой строения естественных продуктивных коллекторов, которую необходимо принимать во внимание при прогнозировании процесса вытеснения нефти водой. Для резко неоднородных пластов расчёты с использованием осреднённых показателей без учёта особенностей объекта заводнения характеризуют фильтрационный поток лишь в общем виде и могут не отражать существенных деталей. Судя по характеру поступления индикаторов в добывающие скважины, нефтенасыщенным пластам характерна зональная слоистая неоднородность. При дренировании расположенные на различной глубине сообщающиеся друг с другом группы зон в соответствии с их фильтрационными свойствами и общим полем давления образуют пути равного сопротивления движения жидкости. Один из них, включающий большую часть объёма горной породы, является главным, формирующим основной фронт вытеснения нефти водой. Остальные характеризуют динамическую неоднородность пласта, которая наряду с другими факторами формирует особенности фильтрации жидкости и вытеснения нефти.

Зонально-слоистая неоднородность пластов приводит к тому, что нефть может не вытесняться водой единым сплошным фронтом (ни по простиранию, ни по ширине). При преобладании гидродинамических сил вытеснения над капиллярными, независимо от режима работы скважин, скорость движения жидкости в высокопроницаемых участках коллекторов всегда выше, а в слабопроницаемых ниже, чем в остальной массе продуктивного горизонта. В отдельных местах залежи возникает движение «руковообразного» характера. Части водонефтяного раздела начинают опережать друг друга, что, в конечном счёте, приводит к его разрыву. Нефтенасыщенная толща как бы пронизывается извилистыми потоками воды разной протяжённости. При таком характере вытеснения нефти поступление воды в скважины и даже их полное обводнение не означает, что залежь между нагнетательными и добывающими рядами скважин в достаточной мере вы-

работана. Через некоторое время после начала процесса заводнения часть вытесняющего агента начинает проходить по практически промытым участкам, не совершая полезной работы, и увлекается на дневную поверхность. Возникают целики нефти и участки неактивного движения жидкости. Между «преждевременно» обводнёнными и нефтенасыщенными областями продуктивных отложений происходит обмен жидкости. В пределах некоторых объёмов среды перед основным фронтом нагнетаемой воды образуются барьеры из водонефтяной смеси, снижающие общую эффективность процесса извлечения нефти из залежи. Причём чем более неоднороден пласт, тем в большей степени проявляются отмеченные факторы, и они должны быть учтены при проектировании процесса разработки залежи [4].

С помощью методов меченых жидкостей получают разнообразную достоверную геологическую информацию на всех стадиях разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений. Возможности этого направления исследований далеко не исчерпаны.

Применение меченых жидкостей во всех нефтегазодобывающих регионах страны, особенно на площадях со сложными горнотехническими условиями, бесспорно, повысит эффективность поисково-разведочных работ и использования выявленных ресурсов нефти и газа.

Литература

1. Пантелеев А.С., Храмов Р.А. Применение роданистого аммония в качестве трассирующего вещества для определения скорости и направление движения воды, закачиваемой в пласт. Текущая информация // Нефтепромысловое дело, 1968. – № 4. – С. 26-28.

2. Валеев Ш.И., Ганиев Р.Р. Промысловый опыт определения пути движения закачиваемой воды по пласту на Стахановской площади Серафимовской группы месторождений // Геологическое строение и разработка нефтяных и газовых месторож-

дений Башкортостана. – Уфа: РИЦ АНК «Башнефть», 1997. – 424 с.

3. Баранов Ю.В., Нигматуллин И.Г., Низамов Р.Х. и др. Применение технологии на основе древесной муки для повышения нефтеотдачи и изоляции притока воды // Нефтяное хозяйство, 1998. -№6. – С.24-28.

4. Соколовский Э.В., Соловьев Г.Б., Тренчиков Ю.И. Индикаторные методы исследования нефтегазоносных пластов. – М.: Недра, 1986. – 157 с.

5. Индикаторные методы контроля скорости фильтрации при разработке нефтяных месторождений [Электронный ресурс].

ДВИГАТЕЛЬ-НАСОС ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Т.Б. Гайтова* (д.т.н., проф.), Чэн Пэн** (к.т.н., доц.)

**Московский государственный университет машиностроения
(г. Москва, Россия),*

***Харбинский инженерный университет (г. Харбин, Китай)*

Двигатель-насос (Д-Н) с массивным ротором для перекачки нефтепродуктов, представленный на рис. 1 отличается компактностью. Большие потери энергии в его роторе, подогревая нефтепродукты и уменьшая тем самым их вязкость, позволяют увеличить производительность или сократить расход энергии.

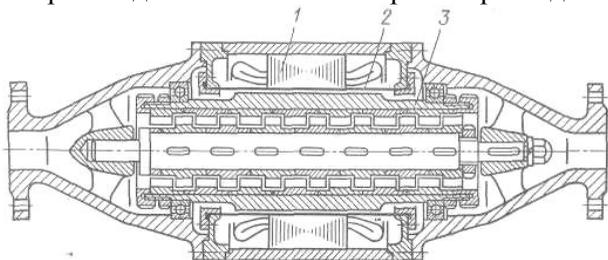


Рисунок 1 – Двигатель-насос радиальной конструкции:
1 – статор; 2 – экран ротора; 3 – ротор

В таких насосах часть проходящей через них жидкости за счет разницы давлений на входе и выходе опять поступает через рабочий зазор (зазор между статором и ротором) на вход насоса, где движение жидкости показано пунктирными стрелками.

Данный эффект особенно сильно проявляется у двигателей с массивным ротором в связи с тем, что у них рабочий зазор из-за их электромагнитных особенностей выполняется в 1,5–2 раза больше, чем у аналогичных двигателей с короткозамкнутым ротором.

Процесс частичного возврата прокачиваемой жидкости на вход насоса приводит к снижению производительности насоса (за счет того, что часть жидкости проходит через рабочие лопатки насоса несколько раз), к изменению электромагнитных соотношений в электрической машине (за счет попадания жидкости в рабочий зазор машины), что приводит к снижению энергетических показателей и срока службы установки. Как известно, за счет большого активного сопротивления массивного ротора, в двигателях с массивным ротором (чем является в электромагнитном отношении двигатель-насос), по сравнению с такими же по мощности двигателями с короткозамкнутыми роторами, имеют место повышенные потери, основная доля которых рассеивается в окружающее пространство в виде тепла. А проходящая через ротор-рабочее колесо перекачиваемая жидкость нагревается за счет этих потерь. В результате нагрева жидкости-нефтепродукта снижается вязкость, что способствует повышению производительности насоса.

Таким образом, возврат части перекачиваемой жидкости на вход насоса снижает эффект, создаваемый массивным ротором как подогревателя жидкости, что способствует повышению вязкости жидкости и, как следствие, снижению его производительности.

С точки зрения электромеханики снижение скорости вращения Д-Н и его производительности из-за повышения нагрузки на валу можно компенсировать увеличением входных параметров сети (напряжение, частота), что, в свою очередь, приведет к

повышению нагрузки на валу двигателя-насоса, к снижению энергетических показателей установки, к отрицательному воздействию на изоляцию, к сокращению срока службы Д-Н.

Следует отметить, что снижение скорости вращения ротора (производительности) Д-Н из-за повышения нагрузки на его валу (повышение вязкости) сильнее проявляется у двигателя с массивным ротором с учетом его мягкой механической характеристики, так как при незначительном увеличении нагрузки на валу скорость его будет резко снижаться.

Таким образом, возврат жидкости на вход насоса снижает производительность Д-Н двояко, а именно: из-за непосредственного возврата части жидкости на вход насоса и из-за повышения вязкости жидкости.

Литература

1. Гайтова Т.Б., Кашин Я.М. Нетрадиционные электротехнические комплексы (теория, расчет, конструкции). Монография. – Краснодар, КВАИ, 2004. – 403 с.

2. Патент РФ № 2088808, 6 F 04 D 13/06. – 27.08.97 г. Бюл. № 24. Двигатель-насос для перекачки нефтепродуктов. // Б.Х. Гайтов, Л.Е. Копелевич, Т.Б. Гайтова и др.

Алфавитный указатель авторов

- Автайкин И.Н.* – 161
Авакимян Н.Н. – 260
Андрейко Н.Г. – 268
Артемьев А.В. – 184
Арутюнян А.С. – 295, 300
Афанасьев В.Л. – 68, 211, 215
Барахоев Р.Ю. – 89
Белов А.А. – 12
Белоконь Д.А. – 209
Бирюков Б.В. – 251, 256
Бирюков Р.Е. – 201
Борзунов А.П. – 228
Бреслер И.В. – 165, 169
Варенов А.Б. – 44
Васильев Н.И. – 260
Вострикова М.А. – 232, 237
Воронцов В.В. – 79
Гайдамашко А.И. – 35, 44
Гайтов Б.Х. – 8, 27, 31, 54, 59, 133
Гайтова Т.Б. – 18, 23, 322
Гапоненко А.М. – 251
Голованов А.А. – 14
Головлев Д.И. – 23
Голощанов А.В. – 23
Даценко Е.Н. – 260, 264, 300
Добробаба Ю.П. – 148, 152
Елфимов М.А. – 83
Живодров Т.С. – 140
Животиков В.В. – 175, 240
Заводцев И.В. – 196, 201
Захаров Г.А. – 109, 113, 117
Зуева В.Н. – 137
Иванов С.В. – 175
Ивашкин И.И. – 79
Ищенко А.И. – 113
Карандей В.Ю. – 68, 211, 215
Карандей Ю.Ю. – 68, 211, 215
Карташев М.Н. – 18,
Кашин А.Я. – 5, 8, 54, 59, 121
Кашин Я.М. – 5, 8, 12, 44, 59, 133
Квон А.М. – 161
Кириллов Г.А. – 35, 44
Кириченко Д.А. – 137
Князев А.С. – 5, 8, 121, 127
Колесников Б.П. – 284
Копелевич Л.Е. – 8, 54, 59, 133
Королева Ю.В. – 278
Косолапов А.В. – 155, 159
Кошкин Г.А. – 152
Кочарян Е.В. – 274
Кравец Р.С. – 5, 137
Крайнюков В.В. – 18, 159
Кулиш О.А. – 206
Криминский Б.О. – 95
Ладенко Н.В. – 76, 95, 99
Лукошков А.В. – 18
Луценко А.Ю. – 145
Лясковский В.Л. – 165, 169
Магомадов А.С. – 278
Махова В.А. – 148, 152
Науменко В.А. – 27, 31
Нечесов В.Е. – 79, 83, 95
Орлова И.О. – 264
Пашина И.И. – 219
Пахомов Р.А. – 268
Петрушин Е.О. – 295 300, 310

Плахотнюк А.Н. – 95
Пономарев П.Ю. – 76
Подольный В.Г. – 18, 155
Половинчук Н.Я. – 175
Попов Б.К. – 106, 229
Попов С.А. – 63, 71, 76, 79, 83, 99
Попова О.Б. – 106, 229
Прохоренко Н.Я. – 99
Птицын. – 192
Руденко Н.В. – 240
Савин С.В. – 187
Самородов А.В. – 5, 54, 133, 137
Сидоров Д.И. – 113
Смаглиев А.М. – 109
Сорокин Б.В. – 169
Стичак В.С. – 63, 71, 83
Суворов В.С. – 54, 59
Схашок А.С. – 54, 59
Тонконогов А.В. – 23
Усольцев А.А. – 196
Чэн Пэн – 322
Чебыкин А.А. – 206
Чернуха Ю.В. – 209
Шапошников В.В. – 251, 256
Шарифуллин С.Р. – 206
Шипулина А.А. – 268
Шкода В.В. – 232, 237
Щеглов Е.В. – 196

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Энергосберегающие технологии и электрооборудование	5
Кашин Я.М., Князев А.С., Самородов А.В., Кашин А.Я., Кравец Р.С. Способы сложения энергии в двухвходовых электрических машинах.....	5
Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Копелевич Л.Е., Князев А.С., Кашин А.Я. О целесообразности использования двухмерных электрических машин в системах автономного электроснабжения	8
Кашин Я.М., Белов А.А. Направления применения электротехнических комплексов на основе СМ-инверторов.....	12
Голованов А.А. Критерии оптимизации зарядных устройств емкостных накопителей энергии и их взаимосвязь	14
Гайтова Т.Б., Карташев М.Н., Лукошков А.В., Подольный В.Г., Крайнюков В.В. Разработка алгоритма оптимизационных расчетов систем автономного электроснабжения.....	18
Гайтова Т.Б., Голощাপов А.В., Головлев Д.И., Тонконогов А.В. Оптимизация структуры системы автономного электроснабжения на базе двухвходовых электрических машин.....	23
Гайтов Б.Х., Науменко В.А. Эксплуатационные расходы в системах автономного электроснабжения.....	27
Гайтов Б.Х., Науменко В.А. Построение графиков нагрузки систем автономного электроснабжения при оптимизационных расчетах.....	31
Кириллов Г.А., Гайдамашко А.И. Вопросы испытаний кабельных линий из сшитого полиэтилена.....	35

Кириллов Г.А., Кашин Я.М., Варенов А.Б., Гайд- машко А.И. Системы мониторинга силовых трансфор- маторов	44
Гайтов Б.Х., Копелевич Л.Е., Самородов А.В., Ка- шин А.Я., Схашок А.С., Суворов В.С. Расчет регули- ровочных характеристик двухвходового генератора...	54
Гайтов Б.Х., Копелевич Л.Е., Кашин Я.М., Ка- шин А.Я., Схашок А.С., Суворов В.С. Динамические характеристики двухвходового генератора.....	59
Попов С.А., Спичак В.С. Сравнительный анализ само- тормозящихся асинхронных двигателей со смещаю- щимся ротором.....	63
Карандей В.Ю., Карандей Ю.Ю., Афанасьев В.Л. Расчет магнитной системы статора асинхронного дви- гателя каскадного электрического привода с учетом геометрии паза.....	68
Попов С.А., Спичак В.С. Разработка самотормозяще- го асинхронного двигателя со сдвоенным массивным ротором.....	71
Попов С.А., Ладенко Н.В., Пономарев П.Ю. Разра- ботка магнитотерапевтической установки аксиальной конструкции с улучшенным лечебным воздействием	76
Попов С.А., Нечесов В.Е., Ивашкин И.И., Ворон- цов В.В. Дезинтегратор для измельчения твердых сы- пучих веществ.....	79
Попов С.А., Нечесов В.Е., Спичак В.С., Елфи- мов М.А. Разработка самотормозящейся сдвоенной ак- сиальной асинхронной электрической машины.....	83
Барахоев Р.Ю. Динамические режимы автономной классической машины двойного питания с последова- тельной емкостной стабилизацией напряжения.....	89

Плахотнюк А.Н., Ладенко Н.В., Нечесов В.Е., Криминский Б.О. Анализ основных существующих методов измерения реактивной мощности (энергии) в трехфазных системах и особенности измерения при полной асимметрии трехпроводной системы.....	95
Ладенко Н.В., Попов С.А., Прохоренко Н.Я. Аварийные режимы систем постоянного тока на базе аксиального генератора.....	99
Попов Б.К., Попова О.Б. Разработка программного обеспечения для расчёта электромагнитного поля расчёта электромагнитного поля цилиндрической катушки с помощью рядов Фурье.....	106
Захаров Г.А., Смаглиев А.М. Перспективы использования дистанционных органов в составе релейной защиты систем электроснабжения предприятий.....	109
Захаров Г.А., Ищенко А.И. Исследование влияния режима выпрямления и степени сглаживания входных сигналов входных сигналов на работу дистанционного органа на основе преобразователей с вращающимся магнитным полем.....	113
Захаров Г.А., Сидоров Д.И. Исследование влияния искажения входного сигнала тока на работу дистанционного органа на основе преобразователей с вращающимся магнитным полем.....	117
Кашин А.Я., Князев А.С. Радиальные и аксиальные электрические машины, как частный случай электрических машин с коническим ротором. Основные определения.....	121
Князев А.С. Эквивалентное преобразование электрических машин с коническим ротором.....	127

Гайтов Б.Х., Самородов А.В., Кашин Я.М., Копелевич Л.Е., Тонконогов А.В. Конструкция индуктора магнитотурботрона.....	133
Самородов А.В., Кириченко Д.А., Кравец Р.С., Зуева В.Н. Применение погружных вентильных электродвигателей скважных насосов – путь экономии потребления электроэнергии на нефтяных месторождениях...	137
Живодров Т.С. Программно-управляемый электропривод штангового скважинного насоса.....	140
Луценко А.Ю. Совершенствование энергосберегающих позиционных электроприводов.....	145
Добробаба Ю.П., Махова В.А. Системы автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода с зависящим от скорости моментом сопротивления.....	148
Добробаба Ю.П., Махова В.А., Кошкин Г.А. Энергосберегающая повышенной эффективности диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления.....	152
Косолапов А.В., Подольный В.Г. Современные компенсаторы реактивной мощности предприятия.....	155
Косолапов А.В., Крайнюков В.В. Основной комплект электрооборудования для блока атомной электростанции.....	159
Квон А.М., Автайкин И.Н. Напряжение пробоя в свечах зажигания при разгоне двигателя внутреннего сгорания.....	161

Секция 2. Моделирование процессов функционирования радиоэлектронных информационно-управляющих систем	165
Лясковский В.Л., Бреслер И.Б. К вопросу формализации задачи развития многоуровневых информационно-управляющих систем за счет повышения степени автоматизации функциональных процессов в условиях ресурсных ограничений	165
Бреслер И.Б., Лясковский В.Л., Сорокин Б.В. Основные аспекты создания информационно-аналитической системы органов местного самоуправления городских и сельских поселений.....	169
Половинчук Н.Я., Иванов С.В., Животиков В.В. Терминальное управления беспилотным летательным аппаратом.....	175
Артемьев А.В. Особенности использования импульсных радиовысотометров в маловысотном комплексе	184
Секция 3. Компьютерные технологии и безопасность информации в технических и технологических системах	187
Савин С.В. Контроль целостности данных подсистемы регистрации и учета автоматизированных систем на основе многоключевого хэширования.....	187
Птицын А.А. Реализация параллельного поиска правил в базе правил интеллектуальной системе по априори заданным шаблонам.....	192
Заводцев И.В., Усольцев А.А., Щеглов Е.В. Особенности развертывания инфраструктуры обеспечения целостности в системах электронного документооборота	196

Заводцев И.В., Бирюков Р.Е. Принятие решений при управлении инцидентами информационной безопасности на основе теории игр	201
Кулиш О.А., Шарифуллин С.Р., Чебыкин А.А. Интегрально-оптические устройства для квантовых вычислений.....	206
Чернуха Ю.В., Белоконь Д.А. Применение алгоритмов аутентификации для задачи опознавания в группе роботизированных комплексов.....	209
Карандей В.Ю., Карандей Ю.Ю., Афанасьев В.Л. Программа самоанимационного построения картины потокораспределения магнитной системы статора асинхронного двигателя каскадного электрического привода с учетом геометрии паза.....	211
Карандей В.Ю., Карандей Ю.Ю., Афанасьев В.Л. Алгоритм реализации процедуры самоанимационного построения картины потокораспределения магнитной системы статора асинхронного двигателя каскадного электрического привода с учетом геометрии паза	215
Секция 4. Информационные и инновационные технологии в учебном процессе и НИР	219
Пашнина И.И. Метаданные в помощь учебному процессу.....	219
Борзунов А.П. Технологии и методики применения современных САПР в преподавании графических дисциплин в техническом вузе.....	228
Попова О.Б., Попов Б.К. Метод усиления интеллекта в дистанционном обучении.....	229
Вострикова М.В., Шкода В.В. Проблемы загрязнения атмосферного воздуха в городе Краснодаре.....	232
Шкода В.В., Вострикова М.В. Система управления качеством атмосферного воздуха в Краснодарском крае	237

Руденко Н.В., Животиков В.В. Моделирование электромагнитного поля коаксиальной пары на основе информационных технологий.....	240
Секция 5. Энерго- и ресурсосбережение при производстве тепловой и электрической энергии на теплоэнергетических установках	251
Гапоненко А.М., Бирюков Б.В., Шапошников В.В. Применение параллельной камеры сгорания для регулирования нагрузки ГТУ с водогрейным котлом-утилизатором.....	251
Бирюков Б.В., Шапошников В.В. Об эффективности ТЭС-ПГУ с двухступенчатым сжатием воздуха и впрыском сухого насыщенного пара в регенеративный воздухоподогреватель.....	256
Васильев Н.И., Даценко Е.Н., Авакимян Н.Н. Аналитическая модель возникновения и роста вторичных пузырей пара при кипении перегретых нефтяных углеводородов и воды.....	260
Орлова И.О., Даценко Е.Н. Эколого-экономические аспекты замены углеводородного топлива солнечной энергией в отопительных котельных.....	264
Пахомов Р.А., Андрейко Н.Г., Шипулина А.А. Теплотехническая работоспособность теплоэнергетических установок.....	268
Кочарян Е.В. Применение теплозащитных экранов в целях энергосбережения.....	274
Магомадов А.С., Королева Ю.В. Процессы переноса влаги в адсорбционно-десорбционном методе получения воды из воздуха.....	278
Колесников Б.П. Эффект вторичной перколяции в процессах переноса в предельно неоднородных макроскопических неупорядоченных средах.....	284

Секция 6. Науки о Земле.....	295
Петрушин Е.О., Арутюнян А.С. Газогидродинамические исследования газовых и газоконденсатных скважин.....	295
Петрушин Е.О., Арутюнян А.С., Даценко Е.Н. Геофизические методы исследования газовых скважин.....	300
Петрушин Е.О. Индикаторные методы контроля скорости фильтрации при разработке нефтяных месторождений.....	310
Гайтова Т.Б., Чэн Пэн Двигатель-насос для перекачки нефтепродуктов.....	322
Алфавитный указатель авторов.....	325

Научное издание

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Материалы седьмой международной
научной конференции
«ТТС-15»
7–9 октября 2015 года

Редактор *В.Н. Григорьев*
Художественный редактор *Т.Ф. Козловская*
Старший корректор *С.А. Григорьева*
Компьютерная вёрстка *Е.В. Кашина*

В материалах конференции сохранены стиль и орфография авторов.

Подписано в печать 11.09.2015 г.

Бумага офсетная

Печ. л. 20,75

Усл. печ. л. 19,3

Уч.-изд. л. 17,4

Формат 60×84 ¹/₁₆

Трафаретная печать

Изд. № 646

Тираж 110 экз.

Заказ № 1445

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: olfomenko@yandex.ru

Сайт: <http://id-yug.com>