

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**III РОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ
ШКОЛА-КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА
И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ»**

(Грант РФФИ 15-38-10343)



**Томск
21-23 октября 2015 г.**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**



**III РОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ
ШКОЛА-КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА
И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ»**
(Грант РФФИ 15-38-10343)

Томск – 2015

УДК 620.9+621.3(063)

ББК 31+31.2л.0

Э651

Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: материалы III российской молодежной научной школы-конференции / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ООО «СКАН», 2015. - 324 с.

Настоящий сборник содержит материалы III российской молодежной научной школы-конференции, проведенной 21-23 октября 2014 г. на базе Национального исследовательского Томского политехнического университета. Основной целью проекта является развитие научного потенциала молодых исследователей в области электроэнергетики и электромеханики, активизация процесса обмена новыми идеями и разработками, стимулирование творческого мышления среди молодежи.

УДК 620.9+621.3(063)

ББК 31.1+31.2л.0

Редакционная коллегия:

Богданов Е.П., к.т.н., доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ

Усачева Т.В., к.т.н., доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ

Редакционная коллегия уведомляет:
доклады в сборнике представлены в авторской редакции.

Российская молодежная научная конференция

«Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии

глазами молодежи»

проводится по гранту РФФИ 15-38-10343.

© Э651

Состав организационного и программного комитетов
 III российской молодежной научной школы-конференции
**«Энергетика, электромеханика
 и энергоэффективные технологии
 глазами молодежи»**

Завьялов Валерий Михайлович	Директор ЭНИН ТПУ, д.т.н., доцент, председатель оргкомитета
Губин Владимир Евгеньевич	Зам. директора ЭНИН ТПУ по научной работе, к.т.н., доцент, сопредседатель оргкомитета
Прохоров Антон Викторович	Зам. директора ЭНИН ТПУ по учебной работе, к.т.н., доцент
Лукутин Алексей Владимирович	Начальник учебно-методического отдела ЭНИН ТПУ, к.т.н., доцент
Винников Дмитрий	Доктор наук, профессор Таллиннского технического университета (г. Таллинн, Эстония)
Ярвик Яан	Доктор наук, профессор Таллиннского технического университета (г. Таллинн, Эстония)
Харитонов Сергей Александрович	Д.т.н., профессор Новосибирского государственного технического университета (г. Новосибирск)
Гарганеев Александр Георгиевич	Д.т.н., профессор, зав. каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ
Литвак Валерий Владимирович	Д.т.н., профессор каф. АТЭС ЭНИН ТПУ
Богданов Евгений Петрович	К.т.н., доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, сопредседатель оргкомитета
Усачева Татьяна Владимировна	К.т.н., доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, ученый секретарь конференции, председатель секции 1
Киселев Александр Викторович	К.т.н., доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, председатель секции 2
Дорохина Екатерина Сергеевна	Ассистент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, секретарь секции 1
Падалко Дмитрий Андреевич	Ассистент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, секретарь секции 2

СЕКЦИЯ 1. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИКЕ

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Калимбеков Р. Н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Повышение эксплуатационной надежности силовых трансформаторов (СТ) приобретает все большую актуальность в связи со старением парка трансформаторов и выработкой определенного стандартами минимального (25 лет) срока их службы. Поэтому актуальной задачей повышения надежности и качества работы электрических систем является оценка эксплуатационной надежности для учета ее при проектировании и совершенствовании системы технического обслуживания и ремонта трансформаторов. Применение системы планово-предупредительного ремонта (ППР) обусловлено усложнением электрооборудования. Усложняется электрооборудование – повышаются требования производителя к эксплуатации, что приводит к дополнительной нагрузке на ремонтный персонал. Характерной особенностью системы ППР является формальный учет времени работы электрооборудования, которая берется за основу при формировании ремонтных циклов, приводящая к появлению обманчивого представления относительно истинного состояния по износу электрооборудования в период эксплуатации. Одни группы узлов, деталей и сборочных единиц силового трансформатора выходят из строя до наступления плановых сроков ремонта, другие оказавшиеся в более выгодных условиях и полностью работоспособные, направляются на ремонт преждевременно, в соответствии с ППР. Что приводит к дополнительным затратам. Решение обозначенной проблемы является актуальной и представляет научный и практический интерес [1].

Оценка (прогнозирование) показателей надежности компонентов электронных устройств на этапе проектирования аппаратуры является важной задачей, потому что дает ответ на вопрос о целесообразности выбора того или иного компонента для использования его в составе электронного устройства с заданным уровнем надежности. Оценку эксплуатационной безотказности компонентов дают с использованием моделей прогнозирования. Важнейшим требованием, предъявляемым к моделям, является достоверность получаемых результатов. В настоящее время используемые в белорусской и российской промышленности модели прогнозирования надежности трансформаторов не учитывают их конструктивные особенности и геометрические размеры. Согласно [1] эксплуатационная интенсивность отказов типового трансформатора оценивается по формуле:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{\text{Б}} K_{\text{Р}} K_{\Sigma} K_{\text{ПР}}, \quad (1)$$

где $\lambda_{\text{Б}}$ – базовая интенсивность отказов конкретного вида намоточного изделия в составе трансформаторов (оцениваемая по результатам их испытаний на безотказность); $K_{\text{Р}}$ – коэффициент, зависящий от температурного режима и изоляционных свойств используемых в трансформаторе материалов; K_{Σ} – коэффициент, зависящий от эксплуатационных факторов; $K_{\text{ПР}}$ – коэффициент, отражающий уровень качества изделия (вид приемки). Формула (1) учитывает электрический режим и температуру обобщенно, не принимая во внимание конструктивные особенности трансформаторов. На основании (1) трансформаторы, имеющие различное количество обмоток либо различные геометрические размеры при

прочих одинаковых параметрах имеют одинаковый прогнозный уровень надежности, что явно не соответствует действительности. Таким образом, достоверность прогнозной оценки, выполняемой по модели (1), во многих случаях может оказаться недостаточной. Для более достоверной оценки эксплуатационной интенсивности отказов трансформаторов предлагается использовать следующую модель:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_M K_{\Phi} K_{\Sigma} K_{ПР}, \quad (2)$$

где n – количество обмоток трансформатора; λ_M – базовая интенсивность отказов конкретного видамоточного изделия; K_{Φ} – коэффициент функционального назначения трансформатора. Предложенная модель позволяет получить результаты прогнозирования эксплуатационной безотказности трансформаторов, которые неплохо согласуются с испытаниями на надежность.

Наиболее часто повреждается витковая изоляция – 10 случаев (22%), причиной возникновения неисправности могут быть старение изоляции, постоянные перегрузки, динамические усилия при коротких замыканиях. Второе место среди причин повреждений занимают вводы – 8 случаев (17%), основные неисправности связаны с увлажнением и загрязнением изоляции негерметичных вводов, что приводит к развитию теплового и электрического пробоя изоляции ввода. Также неисправности связаны с отложением осадка на внутренней поверхности фарфора и на поверхности остова. Они адсорбируют влагу и загрязнения, в том числе металлосодержащие. И приводит к возникновению проводящих дорожек, развитию разрядов и пробоем масляного канала ввода. Также случаи течи масла из вводов через резиновые прокладки. Возможно вызванные дефектами монтажа, ремонта и эксплуатации. Что приводит к снижению давления масла, нарушению герметичности, попаданию влаги и воздуха во ввод. Третье место занимают по повреждаемости обмотки – 7 случаев (15%). Наиболее часто обмотки выходят из строя по причине плохих контактных соединений и витковых КЗ. Следующее место среди причин повреждения занимают недостатки переключающих устройств, которые начинаются с 14 лет эксплуатации. Максимальное количество повреждений переключающих устройств при 15-23 годов эксплуатации трансформаторов. Неисправности связаны с отсутствием контакта и оплавлением контактной поверхности. Дефекты проходной изоляции, бака, фильтров, радиаторов, неисправности системы охлаждения малочисленны, но не менее опасны. Не редко, трансформаторы отключаются в результате недостатков релейной защиты. В последнее время наблюдается возрастания таких отказов, что скорее всего связана с нехваткой квалифицированных релейщиков и большой текучкой кадров в группах РЗиА.

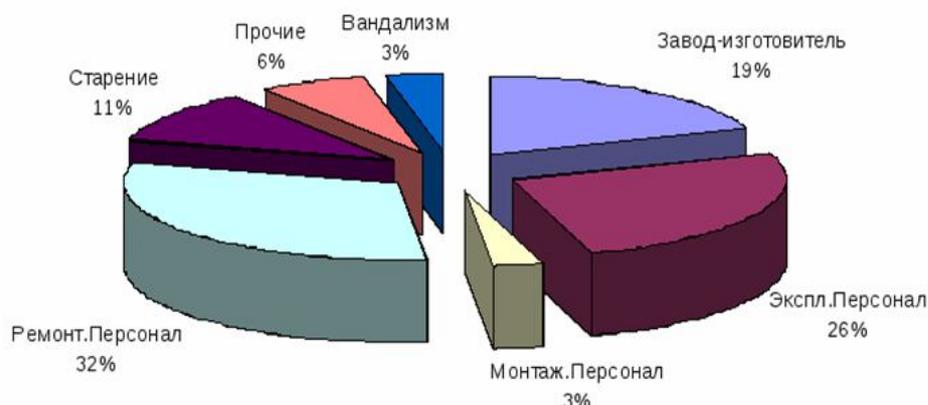


Рис. 1. Причины повреждения трансформатора

При экспоненциальном законе распределения справедливы соотношения:

$$P(t) = e^{-\lambda t}; f(t) = \lambda e^{-\lambda t}; T_{\text{ср}} = 1/\lambda; \lambda = \text{const.} [2],[3]$$

График зависимости вероятности безотказной работы от времени $P(t) = e^{-\lambda t}$

трансформаторов 110 кВ, изображенный на рисунке 2.

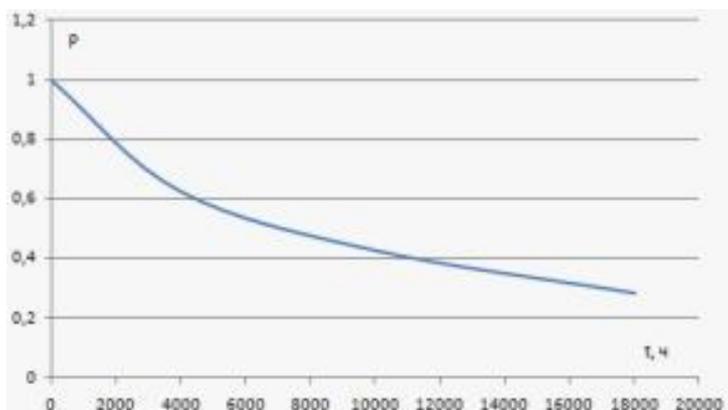


Рис. 2. Вероятность безотказной работы трансформаторов

Таким образом, можно сделать вывод о том, что с увеличением времени эксплуатации трансформаторов (находящиеся в работе более 25 лет), вероятность безотказной работы будет снижаться согласно кривой рисунка 2. Для увеличения срока службы трансформатора требуется более тщательное обслуживание, своевременное проведение капитальных ремонтов или замены устаревшего оборудования, в случае нерентабельности дальнейшей эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прытков, С.Ф. Надежность электрорадиоизделий, 2006: справочник / С.Ф.Прытков [и др.]. – М.: ФГУП «22 ЦНИИ МО РФ», 2008. – 641с.
2. Ведяшкин М. В. Моделирование эксплуатационной надежности крановых асинхронных двигателей: Автореф. дис. канд. тех. наук.- Красноярск, 2012.- 19 с.
3. Сулейманова Л. М. Повышение эксплуатационных ресурсов силовых трансформаторов при обеспечении электромагнитной совместимости по перенапряжениям: Автореф. дис. канд. тех. наук. – Самара, 2006. – 23 с.
4. Савваитов Д.С., Тимашова Л.В. Техническое состояние основного оборудования подстанций и ВЛ, мероприятия по повышению надежности.//Электрические станции. – 2004. №8.- с. 18-20
5. Цирель Я.А., Поляков В.С. Эксплуатация силовых трансформаторов на электростанциях и в электросетях.- Электроатомиздат, 1985.-264 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП С ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ ЛЕНТОЧНОЙ СТРУКТУРЫ

Гинтинг Рутга¹, Иванов² А. В., Семенов³ С. М., Чертов³ С. А.

1 – Индонезия, Джакарта, 2 – НИИ светодиодных технологий, ТУСУР, Россия, Томск,
3 – Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

Проблема высокого энергопотребления становится все более актуальной. Только на освещение уходит порядка 30-35% всей вырабатываемой электроэнергии, а в масштабах крупных городов эта величина в полтора-два раза больше. [1]

Светодиодное освещение одно из перспективных направлений технологий искусственного освещения, основанное на использовании светодиодов в качестве источника света. При одинаковом уровне излучения линейка светодиодов потребляет мощность в два и более раза меньшую, чем лампа накаливания, что позволяет значительно снизить затраты денежных средств на электроэнергию. Все эти качества определяют предпочтительное использование светодиодных источников излучения в современных устройствах. Зависимость потребляемой мощности ламп накаливания, люминесцентных и светодиодных от излучаемого ими светового потока представлена в табл. 1 [2].

Таблица 1. Сравнение источников освещения

Лампа накаливания, потребляемая мощность (Вт)	Компактная люминесцентная лампа, потребляемая мощность (Вт)	Светодиодная лампа, потребляемая мощность (Вт)	Световой поток, лм
40	10-13	4-5	400
60	15-16	8-10	700
75	18-20	10-12	900
100	25-30	12-15	1200
150	40-50	18-20	1800

Проанализировав данные табл.1, можно отметить, что переход на более экономичные светодиодные светильники позволяет снизить энергопотребление в 10 раз по сравнению с лампами накаливания и в 2 раза по сравнению с люминесцентными лампами. Тем не менее, несмотря на то, что классическая лампа накаливания по энергетическим затратам является наиболее расточительным источником света, она еще продолжительное время будет удерживать прочные позиции в устройствах освещения, благодаря целому ряду неоспоримых преимуществ [3].

Например, таких как:

- Дешевизна лампы.
- Небольшие габариты, что позволяет конструировать удобные и оригинальные светильники.
- Повсеместная распространенность. Цоколь любой электрической лампы подходит к соответствующему патрону в широком спектре технических установок.
- Постоянная готовность к работе и моментальность включения. Время прогрева, в отличие от люминесцентной лампы, минимально.
- Независимость от внешних климатических условий. В лампе отсутствуют электронные компоненты, чувствительные к изменениям окружающей среды.
- Хорошо налаженное массовое производство.

Объединить преимущества классических ламп накаливания и светодиодных излучателей позволяют источники света, выполненные по технологии Filament LED. Модель такого источника света представлена на рис. 1.

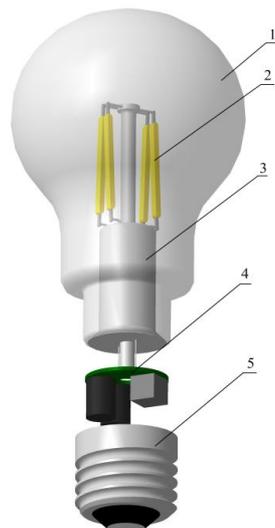


Рис. 1. Трехмерная модель источника света по технологии Filament LED

Основными компонентами этой лампы являются: 1 – колба; 2 – излучающий элемент; 3 – опорная конструкция; 4 – устройство питания (драйвер); 5 – цоколь.

По внешнему виду и характеристикам излучения они настолько близки к классическим электролампам, что их с полным правом можно назвать светодиодными лампами накаливания. [4] Самое главное отличие осветительных устройств LED Filament от классических светодиодных ламп – это диаграмма светового потока, практически полностью аналогичная диаграмме лампы накаливания. То есть светодиодные излучатели светят практически равномерно во все стороны, так же как и обычные. При этом эффективность осветительных устройств LED Filament несколько выше, а рабочая температура корпуса – примерно на 10 градусов ниже. Коэффициент пульсаций у большинства ламп этого типа составляет менее 0,5% – т.е. приблизительно равен нулю. Использование различных вариантов люминофоров в нитевидных светодиодных излучателях позволяет выпускать устройства освещения с различной цветовой температурой (отенок белого света по шкале "теплый-холодный") – от 2700 К (теплый, стандартная лампочка накаливания) до 6500 К (холодный, дневной свет).

Светодиоды имеют нелинейную вольт-амперную характеристику [5] Это означает, что при изменении напряжения на светодиоде, ток изменяется непропорционально. По мере увеличения напряжения, сначала ток растёт очень медленно, источник освещения при этом не светится. Затем, при достижении порогового напряжения, светодиод начинает светиться, и ток возрастает очень быстро. При дальнейшем увеличении напряжения, ток резко возрастает, и лампа выходит из строя.

Поэтому для нормального функционирования светильника, его нужно обеспечить стабилизатором тока, который будет соответствовать необходимым параметрам и требованиям. Данный стабилизатор, являющийся важнейшей частью полупроводникового светильника, во многом определяет функциональные, светотехнические показатели и надежность осветительного устройства в целом.

Он устанавливает заданный ток через светодиод вне зависимости от приложенного к схеме напряжения. При увеличении напряжения на схеме выше порогового уровня, ток достигает установленного значения и далее не изменяется. При дальнейшем увеличении общего напряжения, напряжение на излучателе перестаёт меняться, а напряжение на стабилизаторе растёт.

В качестве стабилизатора тока рассматриваются два варианта: линейный и импульсный. Линейный стабилизатор (рис.2) является делителем напряжения постоянного тока.

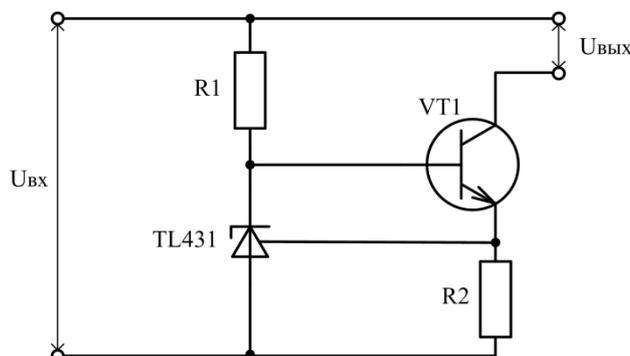


Рис. 2. Схема линейного стабилизатора тока

Суть его работы заключается в том, что на вход подается нестабильное напряжение ($U_{вх}$), а с нижнего контакта снимается фиксированное выходное напряжение ($U_{вых}$). Принципиально такого рода стабилизация осуществляется благодаря изменению сопротивления одного из плеч делителя напряжения, в роли которого выступает биполярный транзистор (VT1). Эта система регулирует сопротивление в динамическом заданном диапазоне для стабилизации выходного напряжения.

При достаточно большом отношении входного и выходного напряжений значительно сокращается КПД стабилизатора напряжения, так как энергия рассеивается в виде тепла на транзисторе стабилизатора. По этим причинам в рассматриваемом устройстве особое внимание необходимо уделить вопросам охлаждения, тем самым увеличивая срок службы и предотвращая перегревающий элемент стабилизатора от перегрева.

Для получения стабилизированного тока, с возможностью его регулирования, используется стабилизатор на основе микросхемы TL431 (аналоги: КР142ЕН19А, К1156ЕР5х). Основное преимущество данной схемы состоит в возможности устанавливать любое значение стабилизируемого тока.

Наиболее сложной в реализации является схема импульсного стабилизатора, но при этом она может обеспечить стабильную работу в широком диапазоне напряжений на входе и в нагрузке. Так как требования по электробезопасности обеспечиваются конструкцией самой лампы, а напряжение в нагрузке ниже напряжения сети, то предпочтительна схема импульсного последовательного стабилизатора понижающего типа. [6] Схема данного стабилизатора приведена на рис. 3.

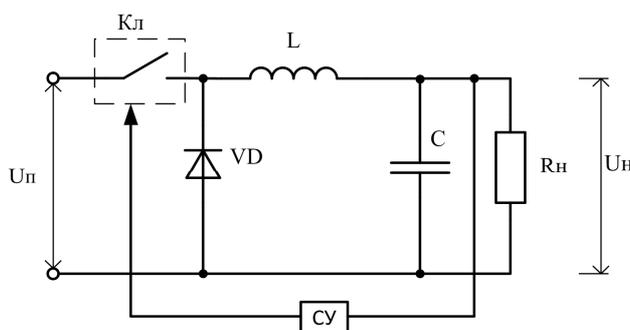


Рис. 3. Схема импульсного последовательного стабилизатора понижающего типа

В качестве микросхемы управления используется микросхема ВР2831 со встроенным силовым ключом Кл (рис. 3). Вариант применения такой схемы приведен на рис 4.

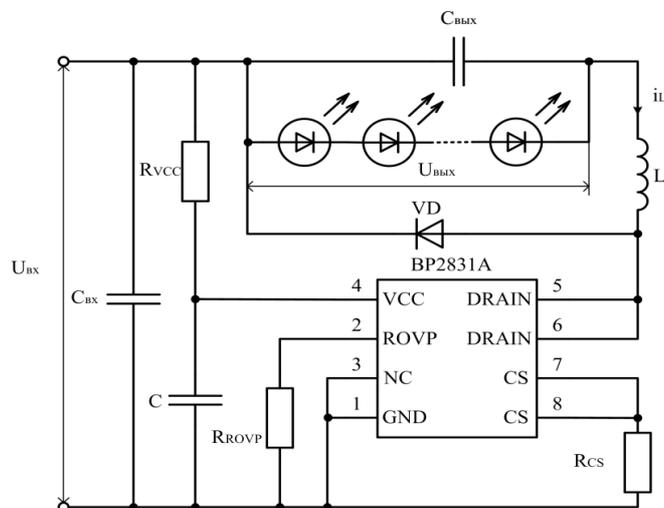


Рис. 4. Схема применения микросхемы ВР2831

Импульсный стабилизатор тока работает следующим образом. Входное напряжение $U_{вх}$ подается на входной фильтрующий конденсатор $C_{вх}$. Ключевой элемент (транзистор), входящий в состав микросхемы ВР2831, осуществляет высокочастотную коммутацию тока. Работа схемы складывается из двух фаз: накачки энергии и разряда.

Фаза накачки протекает, когда транзистор открыт. Ток i_L проходит через дроссель L к нагрузке, шунтированной конденсатором $C_{вых}$. Накопление энергии происходит как в дросселе, так и в конденсаторе.

После того, как транзистор переходит в состояние отсечки, наступает фаза разряда. Поскольку любой индуктивный элемент стремится воспрепятствовать изменению направления и величины тока, протекающего через его обмотку, в данном случае ток дросселя i_L мгновенно уменьшиться до нуля не может, и он замыкается через разрядный диод VD на нагрузку.

Для сравнения источников питания произведем расчет коэффициента полезного действия. [6]

Для источника питания с линейным стабилизатором тока.

Примем минимальное напряжение на нагрузке $U_H=75В$. Номинальное напряжение сети $U_{ном}=220В$. Рабочая частота $f_{раб} = 50$ кГц. Ток нагрузки $I_H = 20$ мА. Сопротивление и индуктивность схемы соответственно $R_{сх} = 14$ Ом и $L = 15$ мГн.

$$\eta = \frac{U_i \cdot I_i}{U_i \cdot I_i + I_i \cdot (U_{\text{до}} - U_i)} = \frac{75 \cdot 0.02}{75 \cdot 0.02 + 0.02 \cdot (310.2 - 75)} = 0.24,$$

где U_H, I_H – соответственно напряжение и ток на нагрузке; $U_{вх}$ – входное напряжение, $U_{вх} = \sqrt{2} \cdot U_{ном} = \sqrt{2} \cdot 220 = 310.2 В$.

Для источника питания с импульсным стабилизатором тока.

$$\eta = \frac{U_H \cdot I_H}{U_H \cdot I_H + k_{\text{зап}} \cdot I_{\text{max}} \cdot R_{сх}} = \frac{75 \cdot 0.02}{75 \cdot 0.02 + 0.24 \cdot 0.058 \cdot 14} = 0.88,$$

где $k_{\text{зап}}$ – коэффициент заполнения, $k_{\text{зап}} = \frac{U_H}{U_{вх}} = \frac{75}{310.2} = 0.24$; I_{max} – максимальный ток,

$$I_{\max} = U_{\text{вх}} \cdot \left(\frac{\kappa_{\text{зап}}}{R_{\text{н}}} + \frac{\kappa_{\text{зап}}(1-\kappa_{\text{зап}})}{2 \cdot f_{\text{раб}} \cdot L} \right) = 310,2 \cdot \left(\frac{0,24}{3750} + \frac{0,24(1-0,24)}{2 \cdot 50000 \cdot 15 \cdot 10^{-3}} \right) = 0,058 \text{ А}$$

$$R_{\text{н}} - \text{сопротивление нагрузки, } R_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} = \frac{75}{0,02} = 3750 \text{ Ом.}$$

Далее расчёт КПД производится при напряжениях на нагрузке равных 150, 225 и 300В. Напряжение в сети может изменяться в пределах $220^{+10\%}_{-15\%}$. Поэтому необходим расчет КПД при минимальном напряжении питающей сети $U_{\text{min пит}}=187\text{В}$.

При этом минимальное напряжение на выходе стабилизатора будет равно

$$U_{\text{min стаб}} = U_{\text{min пит}} \cdot \sqrt{2} - U_{\text{стаб}} = 187 \cdot \sqrt{2} - 2 = 262 \text{ В.}$$

Результаты расчетов сведены в табл. 2.

Таблица 2. Сравнение КПД источников питания

Ток нагрузки, $I_{\text{н}}=20 \text{ мА}$	Линейный		Импульсный	
	$U_{\text{н}}, \text{ В}$	$\eta, \%$	$U_{\text{н}}, \text{ В}$	$\eta, \%$
	75	24	75	89
	150	48	150	85
	225	73	225	86
	262	85	262	87
	300	97	300	94

Коэффициент полезного действия линейного стабилизатора тока, в отличие от импульсного, изменяется весьма значительно. Из этого можно сделать вывод о том, что при правильном выборе напряжения, путем изменения числа линеек светодиодов и способа их подключения, КПД линейного и импульсного стабилизаторов тока приблизительно равны, что делает целесообразным применение линейного стабилизатора, так как его основными преимуществами являются: простота реализации, высокая надежность, низкая стоимость, отсутствие высокочастотных пульсаций выходного тока, электромагнитная совместимость.

По результатам исследования были изготовлены два устройства питания для светодиодной лампы. Испытания данных источников показали, что их КПД приблизительно равны, а у импульсного источника питания в выходном токе присутствуют высокочастотные пульсации, отсутствующие у линейного. В настоящее время устройства питания, изготовленные совместно НИИ светодиодных технологий ТУСУР и Томским политехническим университетом проходят испытания на Томском заводе светотехники (бывший Томский электроламповый завод), входящим в состав ООО «Руслед».

ЛИТЕРАТУРА

1. Браун М. Источники питания. Расчёт и конструирование / М. Браун. Пер. с англ. – К.: МК – Пресс, 2007. – 288 с.
2. Технические характеристики и преимущества светодиодных ламп [Электронный ресурс]-режим доступа <http://indeolight.com/lampy-i-svetilniki/svetodiodnye/tehnicheskie-harakteristiki-svetodiodnyh-lamp.html>, свободный, дата обращения 01.08.2015.
3. Семёнов Б.Ю. Экономичное освещение для всех / Б.Ю. Семёнов. – М.: СОЛОН – Пресс, 2010. – 224 с.
4. Светодиодные лампы накаливания [Электронный ресурс] – режим доступа <http://www.rsci.ru/oled/news/236692.html>, свободный, дата обращения 01.08.2015.

5. Стабилизатор тока светодиода [Электронный ресурс] – режим доступа: http://led-displays.ru/stabilizator_toka.html, свободный, дата обращения 01.08.2015.
6. Семенов Б. Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов / Б.Ю. Семенов. – М.: Солон-Р, 2001. – 327 с.

ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Карпов А.С., Косенков Д. И., Буда В. С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

На сегодняшний день двигатели постоянного тока с независимым возбуждением за счет большого числа достоинств являются достаточно распространенными при использовании в различных областях техники и устройствах автоматики. Зачастую появляется необходимость регулирования скорости вращения электродвигателя, за счет изменения напряжения питающей сети двигателя. [1]

Наиболее распространенным способом регулирования является регулирование за счет изменения сопротивления в цепи электродвигателя [2,3] (Рис. 1.).

Данный способ заключается в том, что в цепь якоря последовательно включают переменное сопротивление, его изменение приводит к изменению напряжения, что ведет за собой к изменению скорости вращения двигателя постоянного тока.

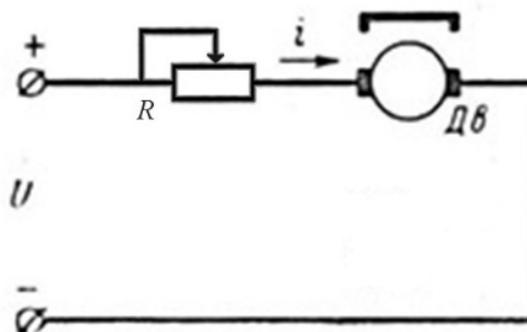


Рис. 1. Схема управления электродвигателем путем изменения сопротивления цепи.

Дв – двигатель постоянного тока с независимым возбуждением, R – переменное сопротивление

На первый взгляд, достоинством является простота конструкции, к недостаткам же можно отнести механический износ подвижных частей, выделение и потерю энергии на поверхности реостата. Эти достаточно крупные недостатки перекрывают положительные стороны данного метода и вследствие чего существует необходимость в более современном подходе управления, способного избавить систему от потерь и повысить надежность путем замены сопротивления на полупроводниковый, управляющий ключ [2,3] (Рис. 2.).

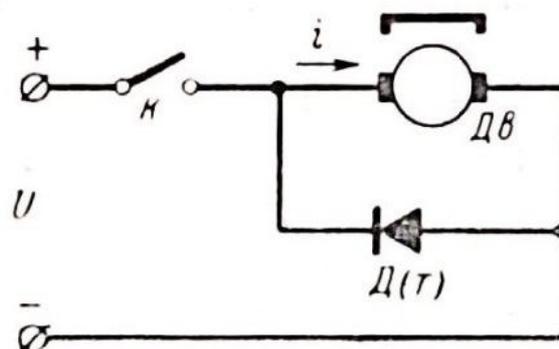


Рис. 2. Схема управления электродвигателя при помощи транзистора.

К – транзисторный ключ, Дв – двигатель постоянного тока с независимым возбуждением, Д(т) – диод, предназначенный для того, чтобы в момент размыкания ключа тока, наводящиеся в цепи якоря, не потекли в обратном направлении

Описываемый метод получил название «импульсный метод» и представлен в виде высокочастотного управления транзисторным ключом [1]. Суть метода заключается в следующем: на управляющий ключ подается высокочастотный импульсный сигнал, в результате происходит изменение среднего значения напряжения на нагрузке и, как следствие, получаем плавное изменение скорости двигателя постоянного тока. Для формирования данного сигнала необходимо иметь импульсный модулятор – любое устройство, способное выдавать импульсы различной скважности. В основе этих импульсов лежит широтно-импульсная модуляция.

Способов реализации широтно-импульсной модуляции достаточно много, наиболее распространенным из них является сравнение синусоидального и опорного сигналов. Изменение скважности в данном случае происходит за счет изменения опорного сигнала в пределах амплитудного значения синусоиды.

Система управления электродвигателем не обладает такой простотой конструкции в силу сложности элементной базы импульсного управления, однако на управляющем ключе нет столь больших потерь энергии по сравнению с первым способом.

Для создания алгоритма с последующей реализацией его на аппаратном уровне можно воспользоваться микропроцессорной системой поддерживающей среду программирования MexBIOS, которая в свою очередь позволяет, при помощи элементов графического программирования, разработать функциональную схему взаимодействия основных блоков и осуществить в режиме моделирования, имитацию и настройку работы всей системы.

Функциональная схема состоит из основных элементов (Рис3):

- генератор синусоидального сигнала с блоками задания частоты и амплитуды;
- блок опорного сигнала;
- блок сравнения;
- осциллограф;
- блоки регулирования опорного сигнала.

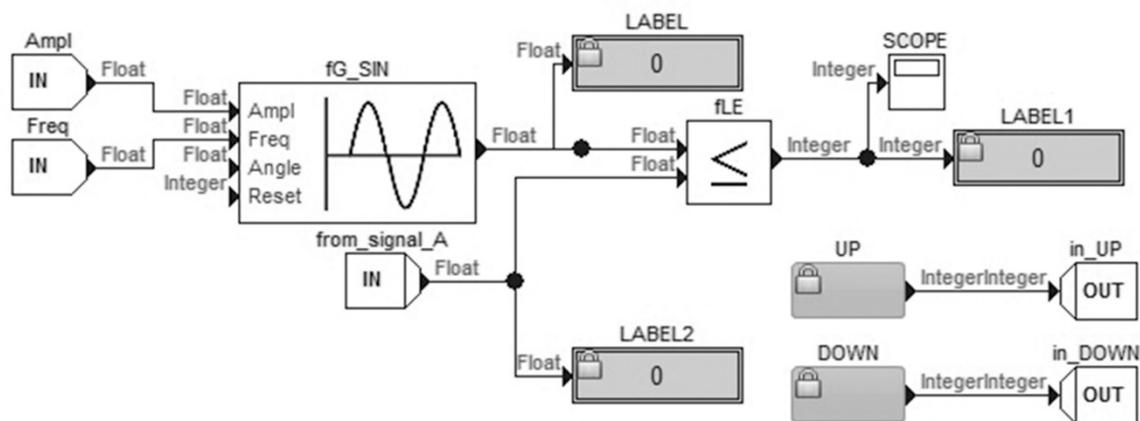


Рис. 3. Функциональная схема ШИМ в среде MexBIOS

Воспользовавшись блоком «осциллограф» получим наглядную картину изменения скважности от 0 до 100 %, за счет изменения опорного сигнала.

Принцип работы такой конструкции довольно прост и позволяет сократить время на разработку программного обеспечения для систем, управляющих работой двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.

В заключении хотелось бы отметить, что в случае применения микропроцессорной системы как модулятора сигнала появляется возможность создания более сложных систем автоматизации управления, что в свою очередь является одной из основных причин перехода на устройства с полупроводниковыми элементами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Микроэлектродвигатели для систем автоматики : Технический справочник / В. Б. Анненков, И. В. Булин-Соколов, И. И. Васильченко и др.; Под ред. Э. А. Лодочникова и Э. А. Юферова. — Москва: Энергия, 1969. — 272 с.: ил. — Библиогр.: с. 264-269.
2. Брускин, Давид Эммануилович. Электрические машины и микромашины : учебное пособие / Д. Э. Брускин, А. Е. Зорохович, В. С. Хвостов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Высшая школа, 1990. — 527 с. — ISBN 5060007251.
3. Беспалов, Виктор Яковлевич. Электрические машины : учебник / В. Я. Беспалов, Н. Ф. Котеленец. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва: Академия, 2013. — 320 с.: ил. — Высшее профессиональное образование. Электротехника. — Бакалавриат. — Библиогр.: с. 315. — ISBN 978-5-7695-8497-8.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННО ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО И ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВНЕДРЕНИЯ АЛГОРИТМОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ, РЕАЛИЗАЦИЯ НА ПРИМЕРЕ БЫТОВОГО ЧАЙНИКА

Куценко В. Н.

Томский техникум информационных технологий, г.Томск

С каждым годом среднестатистический возраст сотрудников на заводах увеличивается, количество заводов уменьшается, все больше ищут на работу менеджеров и консультатов, нежели инженеров. Эти статистические факты заставили меня задуматься и поискать пути решения проблемы. Проанализировав ассортимент российской электронной продукции, я пришел к выводу, что производство в нашей стране морально устарело, технологии не способны конкурировать с зарубежными аналогами. Устройства не способны удовлетворить современным требованиям людей. Применение современной микроэлектроники может покрыть разрыв в функциональности устройств.

Для решения этой проблемы я предлагаю разработать систему модернизации промышленно изготовленной техники путём оснащения её специализированным устройством, которое позволит реализовывать автоматизированное и дистанционное управление этой бытовой техникой. Расширить возможности техники, научить принимать автоматические решения в зависимости от окружающих изменяющихся условий или требований пользователя. Результат работы можно будет внедрять при производстве или модернизации различной электроники от бытовых приборов до промышленных станков, задача данного проекта понять принцип внедрения и программирование контроллера в промышленно изготовленное устройство, научиться получать исходные данные, анализировать и отдавать команды управления на имеющиеся пути управления.

В результате работы будет модернизирован промышленно изготовленный чайник, приобретенный в магазине до «умного», что предполагает удаление всей электроники, отвечающей за работу чайника и оснащение его новой. Полученный прототип может быть использован в сторонней системе управления Умным домом, оснащенный собственными средствами управления. Устройство обзаведется следующими возможностями:

- нагреть воду до нужной температуры, при чем выбор температуры заваривания чайник будет выбирать самостоятельно согласно выбранному сорту чая
- запрограммировать время включения чайника, например, с утра вместе с вашим будильником
- удаленно управляться через интернет из любой точки мира
- удержание нагретой температуры путем подогрева
- дополнительно защитить чайник и пользователя от некорректной работы элементов, ввести алгоритмы самотестирования
- общение с системой умного дома по радиоканалу, предпочтительно wi-fi, потому что это удобно, или защищенный радиоканал на 868мгц, обладающий повышенной дальностью.

Идея умных устройств не нова, некоторые производители перешли к запуску в производство линеек умной техники, например Redmond, Bork.

Идея Redmond заключается в оснащении своих устройств модулем управления Bluetooth, что обеспечивает небольшую дальность, менее 10 метров в помещении, если

вы хотите управлять на большом расстоянии, вам необходимо оставить телефон или планшет с включенным bluetooth и интернетом, установить специальные программы и управлять с другого телефона, что на мой взгляд является не эффективным, устройства самобытны и не связаны в сеть, устройство не позволяют повысить энергоэффективность, они только добавляют дистанционное управление

Идея Work заключается в оснащении своих устройств интеллектом, вы можете выбирать расширенные режимы приготовления, например, для чайника вы можете выбрать цвет чая и чайник сам подберет оптимальную температуру заваривания, но устройства не умеют управляться удаленно и автоматически. При этом стоимость чайника Борк равна 20 т.р.

Есть английский проект по созданию умного чайника iKettle, стоимость чайника 100 фунтов, это более 10 т.р. Их чайник наделен хорошим функционалом, способен удаленно управляться, управляться по таймеру, но проект не выходит за рамки чайника, не распространяется на другие устройства и чайник не способен работать в комплексе с другими устройствами умного дома и в других системах умный дом.

Область применения технологии модернизации промышленно изготовленных приборов довольно обширна. Её можно использовать в качестве автоматизации на производстве, например, в котельной, оснатив управляющие устройства данной технологией, мы без труда сможем удалённо регулировать температуру, следить за давлением и стабильностью работы котлов, следить за состоянием насосов и тд. Также модель позволит модернизировать управление оборудованием, повысить энергоэффективность и КПД, можно автоматизировать процесс прогрева станков до прихода сотрудников на рабочее место или автоматизировать управление климатом помещения в зимний период, и на основе анализа температуры и работы станков уменьшить потребление платной тепловой энергии. Технология позволит модернизировать производственные линии, благодаря централизованному управлению с обратной связью

Так же эту технологию можно применять и в медицине, например, оснатив медицинские приборы данной технологией, мы имеем возможность удалённо наблюдать за состоянием больного.

В домашней обстановке данная технология направлена на облегчение бытовых нужд и направлена на сотрудничество с действующим производителем бытовых приборов, нуждающегося в модернизации своих устройств.

ЭЛЕКТРОПРИВОД МОТОР-КОЛЕСА БОЛЬШЕГРУЗНОГО САМОСВАЛА ПРОИЗВОДСТВА БЕЛАЗ

Сотников Н. В., Кутеев В. И.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Среди многообразия средств транспорта и механизации строительства преобладают самоходные пневмоколесные (безрельсовые) транспортные средства [1]. На них в качестве основных применяются механические, гидромеханические и электрические трансмиссии. Основным недостатком механических трансмиссий является ступенчатое изменение скорости, осуществляемое для использования полной мощности источника энергии при изменении тягового усилия, определяемого сопротивлением движению машины. Помимо этого, при переключениях передач тяговое усилие исчезает вследствие разрыва силового потока в трансмиссии. Частичное

устранение недостатков механических трансмиссий достигается установкой на входе коробки передач гидротрансформатора, а внутри ее – фрикционных муфт, обеспечивающих переключение передач под нагрузкой. Однако гидромеханические трансмиссии сложнее, дороже, тяжелее и имеют меньший коэффициент полезного действия, чем механические трансмиссии. Электрические трансмиссии свободны от недостатков механических и гидромеханических трансмиссий. В электротрансмиссиях имеется два бесступенчатых преобразователя энергии – генератор и двигатель, что позволяет изменять составляющие мощности в отношении 1:20 и шире. Это является основным преимуществом электрических трансмиссий, которое в сочетании с высокой надежностью обуславливает их практическое применение. В связи с этим широкое распространение получили так называемые мотор-колеса, содержащие встроенные в ступицы тяговые электродвигатели, редукторы и аварийно-стояночные тормоза, их преимущества заключаются в следующем:

- Возможность передачи мощности до нескольких тысяч лошадиных сил от одного или группы дизелей к необходимому числу движителей;
- Бесступенчатая тяговая характеристика в диапазоне регулирования скорости 1:20 при номинальной мощности;
- Меньшие расходы на обслуживание по сравнению с расходами при механических и тем более гидромеханических трансмиссий;
- Простота и эффективность автоматизации управления трансмиссиями и процессов работы машин.

Карьерный самосвал БелАЗ-75600, грузоподъемностью 320 т. предназначен для перевозки сыпучих грузов на открытых разработках месторождений полезных ископаемых по технологическим дорогам. Рассматриваемый внедорожный самосвал приводится в движение посредством дизельного четырёхтактного 18-цилиндрового двигателя Cummins QSK 78-C, мощностью 2610 кВт/3500 л.с., соединенного с генератором и системой тягового привода переменного тока. Усредненную схему технологического процесса можно представить следующим образом:

Загрузка груза, выезд из карьера (забоя) со скоростью 30 км/час, движение с грузом со скоростью 60 км/час, разгрузка груза, движение без груза обратно в карьер со скоростью 65 км/час, движение в карьере до места загрузки со скоростью 30 км/час.

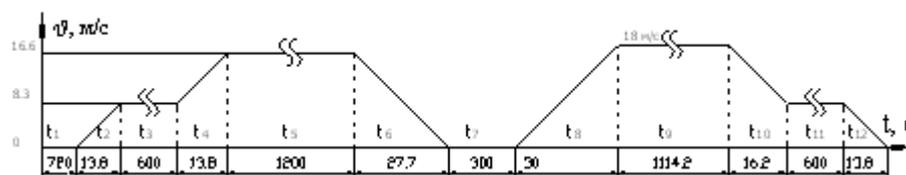


Рис. 1. Упрощенная скоростная диаграмма работы самосвала

Электромотор-колесо крепится к картеру заднего моста.

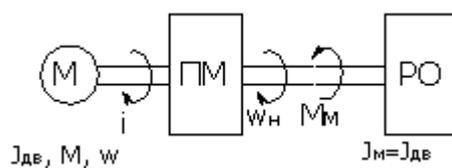


Рис. 2. Кинематическая схема электропривода

Двигатель М служит для преобразования электрической энергии в механическую энергию. Преобразовательный механизм ПМ осуществляет передачу вращения от вала двигателя к валу рабочего органа. При помощи этого механизма происходит понижение скорости и соответственно повышение вращающего момента ведомого вала по сравнению с ведущим. Рабочий орган РО преобразует подведенную к нему механическую энергию в полезную работу. Оптимальными в качестве тягового двигателя в данной системе электропривода может применяться либо двигатель постоянного тока, либо асинхронный двигатель [2]. Применение двигателя постоянного тока нерационально из-за больших размеров двигателей требуемой мощности, также из-за больших потерь и проблем со щеточным коллектором. Наиболее перспективным выглядит применение асинхронных двигателей вкуче с преобразователем частоты, из-за легкости регулирования и хороших статических и динамических свойств данной системы. Для обеспечения требуемой характеристики проектируемый электропривод должен содержать генератор, вращаемый дизельным двигателем, неуправляемый выпрямитель и два преобразователя частоты, по одному на каждый тяговый двигатель [3]. Система управления должна принимать в расчет режим работы самосвала (движение вперед, задний ход, нейтраль, динамическое торможение, режим холостого хода системы привода). Выход генератора питает 3-фазный диодный мост и заряжает конденсаторную батарею постоянного тока С, расположенную в шкафу управления, называемую также "канал связи постоянного тока". Для обеспечения полного управления соответствующим тяговым колесным двигателем каждый инвертор производит 3-фазное напряжение с переменной амплитудой и частотой. Энергия торможения подается обратно в канал связи постоянного тока и направляется тормозными прерывателями в решетки тормозных резисторов, где происходит ее рассеивание.

Блок управления тяговым приводом (БУТП) контролирует и управляет системой тягового привода в целом, включая управление числом оборотов двигателя, выходным напряжением генератора, крутящими моментами двигателей, токами прерывателя, напряжением в канале связи постоянного тока, системой защиты от пробуксовки и проскальзывания колес и охлаждающим вентилятором.

Для обеспечения требуемой характеристики постоянства мощности применяем обратные связи по скорости и току тяговых двигателей.

Функциональная схема электропривода приведена на рисунке 3.

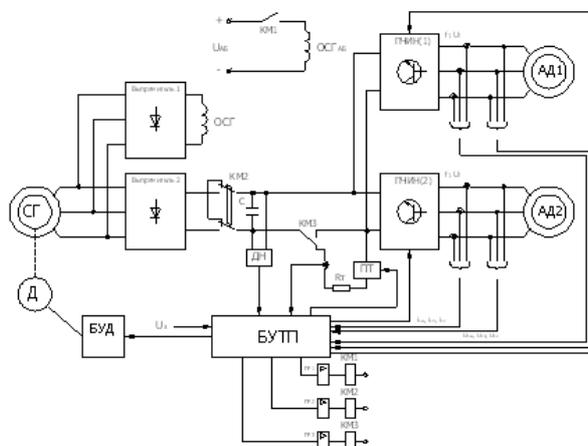


Рис. 3. Функциональная схема тягового электропривода самосвала

В основе системы управления лежит микроконтроллер, позволяющий осуществлять управление тяговыми электродвигателями в функции постоянства мощности, а также реализовывать защиту от перенапряжений и токов, превышающих номинальные значения. Для этого в системе присутствуют термодатчики, установленные на каждом блоке инвертора, а также непосредственно на тяговых двигателях. В случае, если на контроллер поступает сигнал о превышении допустимой температуры нагрева этих элементов, контроллер выдает команду на включение дополнительной вентиляции, а в случае, если нагрев критических элементов продолжается – контроллер принимает решение о принудительном выключении системы привода, с обеспечением наложения механического тормоза. В системе реализована возможность торможения машины путем гашения энергии движения на решетках тормозных резисторов. При нажатии на педаль динамического торможения инверторы мгновенно инвертируют двигательный момент и посылают энергию, расходуемую на торможение в канал связи постоянного тока, где она рассеивается тормозным прерывателем (ПТ). Ток в системе управления напряжением двигателя вентилятора для охлаждения решеток тормозных резисторов контролируется и должен оставаться в пределах заданного диапазона, в противном случае в системе регистрируется возникновение неисправности и происходит включение системы защиты. Если индикатор свидетельствует о наличии подобной неисправности, оператор должен немедленно применить динамическое торможение, поскольку время, отводимое в данном случае на динамическое торможение, ограничено. При превышении времени, отводимого на динамическое торможение, оператор должен применить рабочий тормоз для полной остановки самосвала. Исходя из соображений безопасности, на динамическое торможение отводится очень короткий период времени, так как охлаждение тормозных резисторов в данном случае под вопросом. Блок управления тяговым приводом (БУТП) управляет потоком энергии торможения через решетки тормозных резисторов посредством модулирования рабочих циклов прерывателя (отношение времени включенного состояния к времени выключенного состояния). Так как энергия, полученная в результате торможения от двигателей не может быть возвращена в источник, то выпрямитель отключается от преобразователя частоты контактором КМ2 и микроконтроллер переключает контактор КМ3. В этом случае электропривод переходит в режим гашения энергии торможения на тормозных резисторах. При этом контролируется величина напряжения в канале постоянного тока, и, при превышении заданной величина напряжения, БУТП включает тормозной прерыватель ПТ с некоторой заданной частотой.

Так как механизм работает в длительном режиме с переменной нагрузкой, то по рассчитанным силам, действующим на интервалах времени, можно рассчитать эквивалентную силу:

$$F_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{11} F_i^2 t_i}{t}} = \sqrt{\frac{3.482 \cdot 10^{13}}{3853}} = 95.07$$

На основании эквивалентной силы и номинальной линейной скорости рассчитывается эквивалентная мощность:

$$P_y = F_y \cdot v = 95.07 \cdot 9 = 942 \text{ кВт}$$

Так как в нагрузочной диаграмме неучтено значение момента инерции еще не выбранного двигателя, поэтому расчетная мощность определяется с коэффициентом запаса: $k_{зан} = 1.1 \dots 1.3$.

Принимаем $k_{зан} = 1.3$. Тогда расчетная мощность будет равна:

$$P = P_y \cdot k_{зан} = 942 \cdot 1.3 = 1225 \text{ кВт}$$

В качестве тяговых двигателей принимаем к установке четырехполюсные трехфазные асинхронные двигатели 1ТВ 2830 – 2GA012, мощностью 1250 кВт, производства компании Siemens. Каждый двигатель встроен в мотор-колесо, содержащее редуктор, с передаточным числом $i=47,34$. Также в мотор-колесо встроен датчик скорости, посылающий сигнал о текущей скорости вращения двигателя в блок управления тяговым приводом (БУТП).

Таблица 1. Параметры двигателя 1ТВ 2830 – 2GA012

Механические данные двигателя	
Диаметр ротора	495 мм
Диаметр отверстия статора	500 мм
Длина основной сборки	450 мм
Воздушный зазор	2.5 мм
Масса комплекта мотор-колеса, кг	3 400
Технические данные электродвигателя	
Номинальное напряжение, В	1 800
Номинальный ток, А	4 75
Номинальная мощность, кВт	1 250
Номинальная скорость, об/мин	1 480
Номинальная частота питающего напряжения, Гц	50
Коэффициент полезного действия	96.4
Фактор смещения $\cos \varphi$	0.9
Номинальное напряжение изоляции, В	2 300
Максимальный ток, А	1 000
Максимальная скорость, об/мин	2 300

В качестве преобразователя выбран ПЧ-АД с векторным управлением. В качестве тягового двигателя выбираем асинхронный двигатель, с параметрами указанными в таблице 2. Требуемую мощность выбираем из параметров исходной установки – 1250 кВт. Выбираем двигатель производства фирмы Siemens 1ТВ 2830-2GA012.

Таблица 2. Параметры двигателя 1ТВ 2830-2GA012

$P_{\text{ном}}$, кВт	n , об/мин	$S_{\text{ном}}$, %	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos \varphi_{\text{ном}}$	Масса, кг
1250	1480	1.3	96.4	0.9	3400

Более корректным параметром выбора преобразователя является не мощность, а ток двигателя, потребляемый в требуемых режимах работы. На следующем этапе выбора преобразователя частоты необходимо определить требования к его функциональным возможностям. Во-первых, требуется выбрать способ управления двигателем: скалярное или векторное управление. Векторное управление целесообразно выбирать в случаях, когда необходима высокая точность регулирования, поддержание момента на валу двигателя при малых скоростях вращения. Немаловажным фактором, определяющим выбор преобразователя частоты, является режим работы электропривода. С точки зрения теории машин, любой электродвигатель как электромеханический преобразователь энергии может работать в четырех режимах работы: двигательный режим, генераторный режим, режим динамического торможения, режим торможения противовключением.

В двигательном режиме электрическая энергия из сети преобразуется в механическую и передается в нагрузку, при этом часть энергии рассеивается в виде потерь [4]. В генераторном режиме работы двигателя идет обратное преобразование: механическая энергия преобразуется в электрическую энергию, которая передается обратно в сеть. В режиме динамического торможения вся механическая энергия на валу двигателя рассеивается в виде тепла. И, наконец, в режиме торможения противовключением и механическая, и электрическая энергии преобразуются в тепловую и рассеиваются на поверхности двигателя. Большинство преобразователей частоты способны обеспечить только первый и последний из описанных выше режимов работы двигателя. Однако торможение противовключением может применяться только на очень низких скоростях вращения, при очень малых запасах кинетической энергии в рабочем органе. Это объясняется тем, что и механическая энергия рабочего органа, и электрическая энергия из сети преобразуются в тепловую энергию, которая должна быть отведена от двигателя. Следовательно, если не применять дополнительных мер, то двигатель может перегреться и выйти из строя. В этом случае целесообразно использование преобразователя частоты, способного обеспечивать режим динамического торможения. Неподвижное поле статора в этом режиме создается подключением его обмоток к источнику постоянного тока, поэтому этот режим часто называют режимом торможения постоянным током. Из энергетических диаграмм видно, что, в отличие от торможения противовключением, в этом режиме на двигателе рассеивается только механическая энергия рабочего органа (потерями от протекания постоянного тока в обмотках статора можно пренебречь). Очевидно, что интенсивность торможения в таком случае будет значительно выше. Но наиболее эффективный отвод механической энергии, а, следовательно, и более интенсивное торможение, может обеспечить генераторный режим работы двигателя. В этом случае большая часть механической энергии преобразуется в электрическую и передается обратно в сеть. Такое преобразование называется рекуперацией энергии. Однако следует помнить, что в большинстве современных преобразователей частоты используются неуправляемые выпрямители, которые способны преобразовывать электрическую энергию только в одном направлении. Поэтому вся электрическая энергия от двигателя будет передаваться в звено постоянного тока, но не может быть передана обратно в сеть. В случае включения в звено постоянного тока балластного сопротивления происходит контроль напряжения в звене постоянного тока и, в случае превышения допустимого значения этого напряжения, происходит включение решеток тормозных резисторов, на которых и рассеивается энергия торможения двигателя. Использование балластного сопротивления не позволяет повысить энергобережение, однако значительно улучшит динамические характеристики электропривода. А в случаях работы двигателя в режиме частых пусков, остановок, реверсов, при значительных колебаниях момента нагрузки, как в случае с тяговым приводом, использование балластного сопротивления обязательно. Учитывая вышеприведенные особенности, выбираем частотный преобразователь 6SE8018-1BA00 производства компании Siemens, со следующими номинальными параметрами:

Выходной ток – 315 А;

Выходная мощность – 1.3 кВт;

Питание от источника переменного напряжения 2200 В;

Исполнение IP 54;

Номинальное напряжение – 3200 В.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефремов И.С., Пролыгин А.П., Андреев Ю.М., Миндлин А.Б. Теория и расчет тягового привода электромобилей: Учеб. Пособие для вузов по спец. "Городской электрический транспорт" и "Электрическая тяга и автоматизация тяговых устройств"/ Под ред. И.С. Ефремова. – М.: Высш. Школа, 2004. – 383 с., ил.
2. Гульков Г.И., Гульков А.Г. Формирование тяговой характеристики бесконтактного двигателя постоянного тока. – Энергетика №6, 2001 г.
3. Ключев В.И. Теория электропривода. Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 2005-560с., ил.
4. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 2002. – 392 с., ил.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ РЕДУКЦИЕЙ СКОРОСТИ В ANSYS MAXWELL

Кремлёв И. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В последнее десятилетие становятся все более популярными специальные программные комплексы для расчета параметров электромагнитных полей. Одним из мощнейших инструментов для решений этой задачи является программа Maxwell от компании Ansys. ANSYS Maxwell — это ведущее программное обеспечение для моделирования двумерных и трехмерных электромагнитных полей, используемое для исследования и проектирования двумерных и трехмерных моделей, датчиков, трансформаторов, двигателей и других электромеханических и электрических устройств различного применения. Она базируется на методе конечных элементов (Finite Element Method — FEM) и точно рассчитывает гармонические, а также статические электрические и электромагнитные поля и переходные процессы в полевых задачах. [1]

Данная работа связана с исследованием синхронных реактивных двигателей с электромагнитной редукцией скорости. Электродвигатели с электромагнитной редукцией скорости используются в основном в машинах, работающих на основе зубцовых гармоник, например в составе электропривода антенн космических аппаратов. Исследование динамических режимов работы подобного класса электрических машин невозможно без использования специализированного программного обеспечения, обладающего возможностями моделирования трехмерных магнитных полей и расчетом его интегральных характеристик. Суть работы данного типа двигателей заключается в том, что электродвигатель состоит из статора с полюсами, на внутренней поверхности которых присутствуют зубцы, m -фазная обмотка, которая выполнена в виде $2-p$ катушек (где p - число пар полюсов), которые размещены на полюсах. Также содержит коммутационный аппарат, и безобмоточный зубчатый ротор, по окружности которого расположены короткозамкнутые витки из немагнитного и высоко-токопроводящего материала. Эти витки расположены на зубцах ротора таким образом, что при повороте ротора под каждым полюсом статора находится не менее одного витка. [2]

У такого типа электродвигателей можно выделить следующий недостаток: в короткозамкнутой обмотке, которая пересекает магнитное поле первой гармоники, и при синхронной скорости вращения ротора появляется ток, который вызывает

некоторые потери. Это связано с тем, что тип ротора, так называемая, "беличья клетка" определяет характер протекания тока в роторе, а от этого зависит как магнитное насыщение стали ротора при нагрузке, так и электрические потери энергии в нем. И в итоге, все это снижает энергетические показатели двигателя. Также недостатком данного типа электродвигателей можно назвать то, что происходит значительное снижение стабильности частоты вращения ротора из-за пульсации вращающего момента, вследствие чего возникают такие явления, как сильная вибрация и шум, которые вызваны низкочастотными колебаниями.

Учитывая недостатки, первостепенной задачей является электромагнитный анализ двигателя, который успешно может быть выполнен с использованием возможностей дополнения RMXprt. ANSYS RMXprt — программа, которая ускоряет процесс оптимизации и проектирования вращающихся электрических машин. В ней используется метод эквивалентной магнитной цепи для вычисления рабочих характеристик машины и классическая аналитическая теория электрических машин, что позволяет намного быстрее проанализировать модель и дать результат [3].

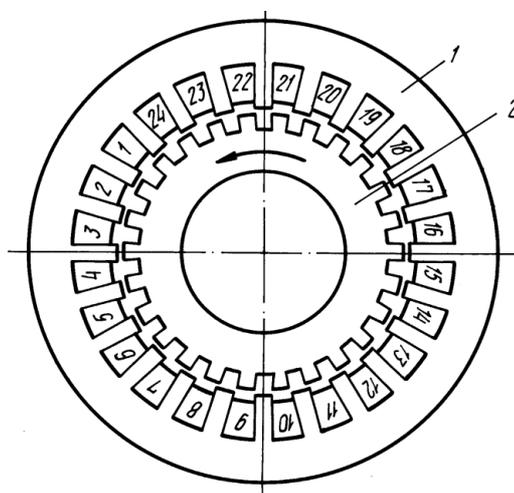


Рис. 1. Модель двигателя

Вопрос исследования магнитного поля электрических машин, часто затруднен задачей точного описания геометрии магнитной системы. В программной среде Maxwell в составе библиотеки RMXprt есть возможность точного описания особенностей геометрии зубцовой зоны и рассчитать кривые тока, ЭДС и электромагнитного момента с учетом гармонических составляющих (рис.1). При описании геометрии магнитной системы есть возможность поддержки систем автоматизированного проектирования, т.е. модель может быть выполнена в любом САД-приложении, например в SolidWorks.

Далее для расчета двигателя были определены свойства материалов всех твердотельных объектов в составе магнитной системы. При проведении теоретических исследований установлено, что неправильный подбор материалов искажает картину электромагнитного поля, что естественно влияет на результаты расчета. Итогом нашей работы стало исследование следующих характеристик синхронного реактивного электродвигателя с электромагнитной редукцией скорости: потребляемая мощность, коэффициент полезного действия, номинальные скольжение, вращающий момент, скорость и данных по электрическому состоянию обмоток ротора и статора (рис.2).

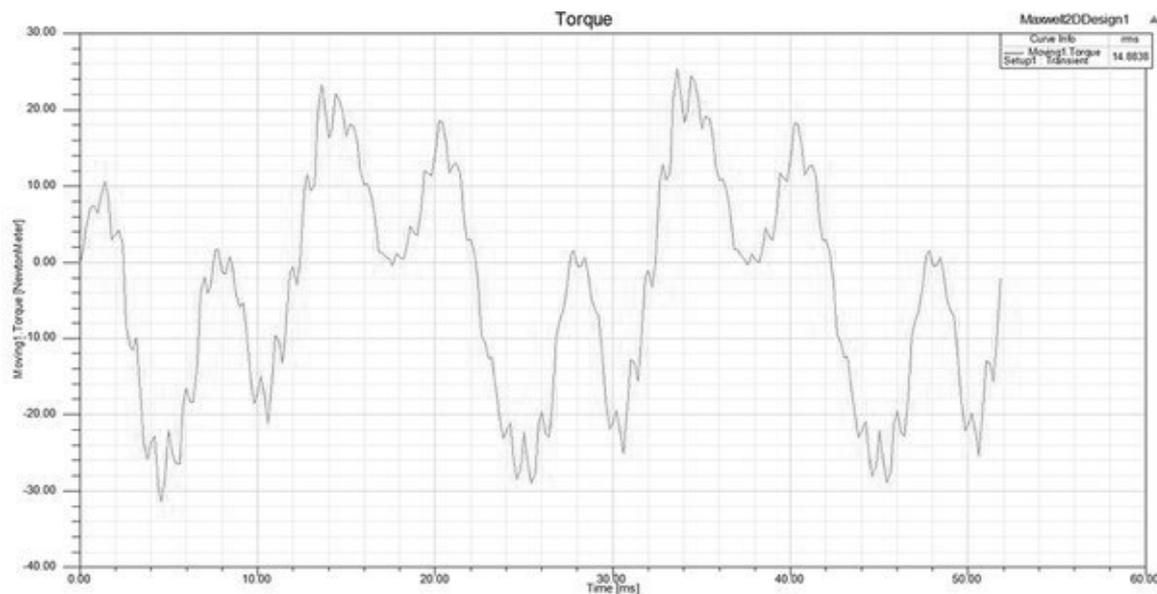


Рис. 2. Электромагнитный момент двигателя

Анализируя влияние геометрических характеристик электродвигателя на его внешние статические характеристики, были определены варианты наиболее эффективного исполнения зубцовой зоны с позиции снижения пульсаций электромагнитного момента. При этом меняли следующие параметры зубцовой зоны: высота и ширина зубца, число витков в пазу, форма паза, свойства материалов магнитопровода ротора. На рисунке ниже представлена картина электромагнитного поля ротора.

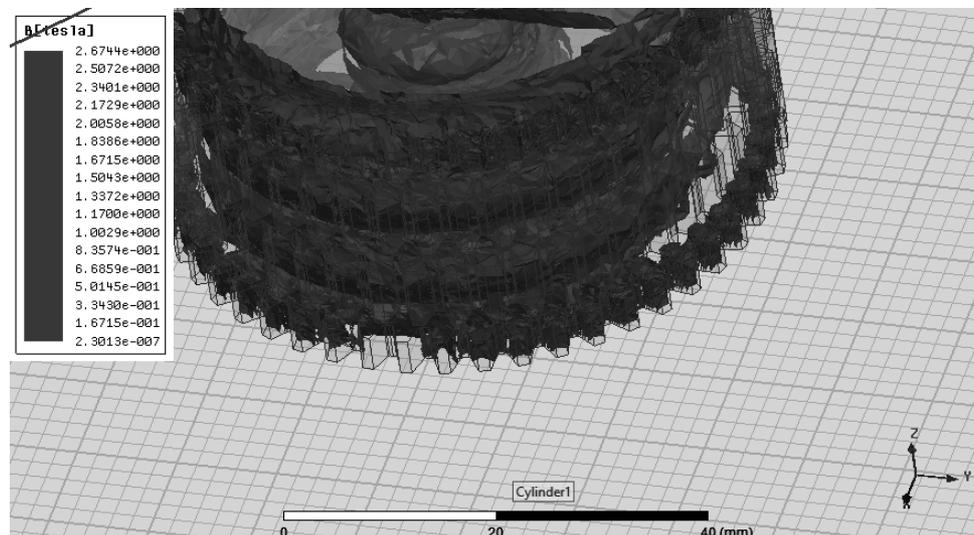


Рис. 3. Картина электромагнитного поля ротора

В целом, использование RMXprt позволило сократить время исследования режимов работы синхронного реактивного электродвигателя в части автоматизированной обработки данных. В тех случаях, когда требуется перейти от аналитического к более точному решению для детального рассмотрения процессов, происходящих внутри машины, ANSYS RMXprt позволяет перейти от виртуальной модели к двумерной или трехмерной полевой в ANSYS Maxwell 2D/3D. Создание подобных моделей может найти широкое применение в космической промышленности. На данный момент

лидером и крупнейшим поставщиком спутников на мировой рынок является Франция. Данный проект помог бы выйти нашей стране на качественно новый уровень в этой отрасли. Возможность посчитать динамические показатели различных электромеханических систем космических аппаратов, безусловно, помогут инженерам устранить конструктивные недостатки и внести необходимые поправки. Кроме того, данная разработка будет полезна коммерческим и государственным организациям и предприятиям, которые работают с разного рода электромеханическим оборудованием и мехатронными модулями. Внесение даже незначительных коррективов в такие устройства приведет к значительному повышению ресурсоэффективности на предприятии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неофициальный сайт программы ANSOFT Maxwell [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ansoft-maxwell.narod.ru/>
2. Пат. 2006142 РФ. Н 02 К 19/06. Синхронный двигатель с электромагнитной редукцией частоты вращения / К.Г. Новоселов, Е.Б. Баталов; Оpubл. 1986.
3. RMXprt. Общая информация [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cae-expert.ru/product/rmxprt>
4. Леонов С.В. Федянин А.Л. Муравлев О.П. Статическая модель герметичного синхронного двигателя дискового типа с магнитосвязанными полюсами. Известия ТПУ Выпуск № 4 / том 312 / 2008.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИЙ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ОБМОТКАМИ ИЗ АЛЮМИНИЯ

Елшибек А. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Силовые масляные трансформаторы являются важнейшими элементами электротехнических установок, от качества и надёжности функционирования которых зависит качество распределяемой электрической энергии. Выход из строя трансформатора приводит к высоким техническим и экономическим затратам в процессе эксплуатации.

Примером современного подхода к проектированию новых серий трансформаторов может служить принятие новых расчетных и конструктивных решений, позволяющих улучшить изоляцию трансформатора, существенно уменьшить потери холостого хода, повысить электродинамическую стойкость обмоток и модернизировать системы охлаждения трансформаторов.

При этом приходится учитывать, что в современных условиях рыночной конкуренции и мониторинга окружающей среды к трансформаторам, как новейших конструктивных исполнений, так и к модифицируемым, существенно повысились требования по энерго- и ресурсосбережению, пожаро- и взрывобезопасности, экологичности, конкурентоспособности.

Ведущими трансформаторостроительными фирмами и научно-исследовательскими электротехническими организациями мира, в том числе России и стран СНГ разработан обширный арсенал электротехнических материалов, технических решений,

технологических процессов, конструктивных исполнений для совершенствования как модернизируемых трансформаторов, так и в трансформаторах новых конструктивных исполнений. Причем эти инновации относятся ко всем компонентам трансформаторного устройства, начиная от магнитной системы и заканчивая системами мониторинга и шумоподавления [2].

Анализ основных показателей новых технических решений и новых конструктивных исполнений трансформаторов показал, что их совершенствование идет по направлениям снижения потерь, расхода электротехнических материалов, повышения надежности и экологичности [3].

На основе быстро закаленных сплавов реально применение электротехнических сталей из аморфных и микрокристаллических сплавов, которые созданы для работы с высокой индукцией насыщения в низкочастотной области.

Одним из преимуществ аморфных сплавов является возможность получения различных магнитных свойств за счет формирования наведенной магнитной анизотропии после охлаждения в магнитном поле, что позволяет получить аморфную ленту с анизотропным или изотропным распределением намагниченности и с формированием оси анизотропии в любом заданном направлении. Толщина аморфной ленты на порядок меньше толщины ленты анизотропной электротехнической стали, а в состав сплава входят железо, никель, кобальт, титан, магний, кремний и др. Это наряду с высоким электрическим сопротивлением уменьшает долю потерь от вихревых токов $P_{1,7/50}$ до 10% [1].

Ведущими фирмами (General Electric, ABB и др.) России, Японии и США освоен выпуск трансформаторов с магнитными системами из аморфных сплавов. Несмотря на более высокую (на 25-30%) стоимость таких трансформаторов, они рентабельны из-за существенного (до 70%) снижения потерь холостого хода. Для преодоления технологических недостатков аморфных сталей, обусловленных их малой толщиной, чувствительностью к механическим воздействиям, хрупкостью, используются стали с различной индукцией насыщения, комбинации слоев аморфной стали и АЭС и другие технические решения.

Маслонаполненные трансформаторы пожаро- и экологически опасны, масло подвержено старению и не способствует снижению уровня шума, но такие трансформаторы значительно дешевле и рентабельнее там. Повышение требований экологичности, пожаро- и взрывобезопасности трансформаторов привело к разработке ряда типов жидких диэлектриков: кремнийорганических жидкостей, синтетических эфиров, высокотемпературных углеводородных масел и других жидкостей, которыми заменяют минеральное масло. Широко применяются кремнийорганическая жидкость полидиметилсилоксан, которая устойчива к старению, практически не ядовита, хорошо разлагается в воде, воздухе, почве и не создает вредных для здоровья соединений [4].

Основной причиной выбора алюминиевых обмоток является их низкая начальная стоимость. Стоимость меди исторически оказалась гораздо более изменчивой, чем стоимость алюминия, так что цена покупки медного проводника в целом является более дорогим выбором. Кроме того, поскольку алюминий имеет большую пластичность и легче поддается сварке, то является более дешевым материалом при производстве. Тем не менее, надежные соединения алюминия требуют больше знаний и опыта со стороны сборщиков силовых трансформаторов, чем это требуется для медных соединений.

Основные беспокойства по поводу выбора материала обмотки отражают пять характерных различий между медью и алюминием.

Таблица 2. Пять характерных различий между медью и алюминием

Параметр	Алюминий	Медь
Коэффициент расширения на $^{\circ}\text{C} \times 10^{-6}$ при 20°C	23	16,6
Теплопроводность БТЕ / фут / ч / БПФ 2 / $^{\circ}\text{F}$ при 20°C	126	222
Электропроводность % при 20°C	61	101
Прочность на разрыв Н/мм ² (мягкая)	28-42	40

Производители трансформаторов ограничивают выбор доступных размеров проводников. Из-за этого некоторые проекты в алюминии могут получить более низкие потери чем в меди просто, потому что ограничен выбор размера провода.

При изменении основных размеров сердечника при переходе от алюминия к меди, получается, так что потери в сердечнике остаются примерно одинаковыми, независимо от обмоточного материала. Если одинаковой эффективности можно добиться путем изменения размеров намоточного провода и основные потери остаются теми же, нет необходимости менять дизайн трансформатора. Разница в стоимости между медью и алюминием часто позволяет обеспечить алюминиевые проводники большего сечения, что приводит к снижению потерь холостого хода при меньших затратах, чем если бы были использованы медные проводники.

Ранее, чтобы обеспечить механическую прочность трансформаторов с алюминиевыми обмотками необходимо было, выполнять обмотки площадью поперечного сечения на 66% больше, чем трансформаторам с медными обмотками. На сегодняшний момент выявлено, что способность трансформаторов противостоять долговременным механическим воздействиям бросков нагрузки больше зависит от соответствующего баланса обмотки и крепления соединительных проводов, чем от выбора проводника [5].

Рассмотренные тенденции развития мирового и отечественного трансформаторостроения обусловили создание мощного научного базиса, новейших электротехнических материалов, технических решений, технологических процессов, которые должны быть использованы для модернизации и совершенствования трансформаторов России, обладающей мощным научно-техническим потенциалом и трансформаторостроительной промышленностью.

Одним из главных направлений решения данной проблемы является опережающее развитие на основе имеющегося мирового научно-технического задела информационного, математического, методического и программного обеспечения автоматизации научных исследований, синтеза, анализа и оптимизации структуры и параметров отечественных трансформаторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.dissercat.com/content/obosnovanie-ratsionalnykh-parametrov-energoberegayushchikh-elektromekhanicheskikh-sistem-ok>
2. Сучков Р.В. Модернизация и сервис трансформаторов. Сервисное обслуживание АББ.
3. Кустов С.С. Основные направления развития конструкций трансформаторов I-II габаритов. – Электрические станции. 1995, №8. – С. 62-67.
4. Силовые трансформаторы. Справочная книга. // Под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. – М.: Энергоиздат. 2004. – 616 с.
5. <http://forca.ru/stati/podstancii/alyuminiy-protiv-medi-v-transformatorah.html>

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ МУФТ

Савельева М. В., Колтунова Е. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

В современной технике автоматизированного электропривода используются муфты, осуществляющие передачу вращающего момента с одного вала на другой. Электромагнитные муфты, срабатывание которых происходит под воздействием электромагнитных сил, наиболее широко распространены из-за удобства их эксплуатации, высокого быстродействия, небольших габаритов, малой потребляемой мощности в управляющей обмотке при значительных управляемых моментах на валу.

В гистерезисных муфтах силы сцепления между ведущей и ведомой частями создаются за счет использования явления остаточного намагничивания магнитотвердых материалов. Одна из частей гистерезисной муфты (как правило, ведомая) несет на себе гистерезисный слой, выполняемый из материала с большими удельными потерями на гистерезис, причем гистерезисный материал муфты предварительно не намагничивается. Другая часть муфты представляет собой многополюсную магнитную систему с полюсами чередующейся полярности. Такие муфты относятся к классу синхронных муфт и обладают несколькими важными преимуществами перед другими типами синхронных муфт: передаваемый с одного вала на другой без механической связи вращающий момент гистерезисной муфты не зависит от скорости вращения; гистерезисная муфта обладает естественными пусковыми характеристиками, что позволяет ведомой части муфты войти в синхронизм с ведущей частью [1].

Часто в системах электроавтоматики одновременно с синхронной передачей скорости вращения с одного вала на другой без механической связи требуется ограничение величины передаваемого момента. В этих системах магнитно-гистерезисная муфта одновременно с функцией синхронной муфты осуществляет функцию ограничительного устройства, предохраняющего приводной двигатель, связанный с ведущей частью муфты, от перегрузок. При этом используется свойство гистерезисных муфт сохранять неизменную величину передаваемого момента вне зависимости от скорости вращения. В случае аварийного механического заклинивания исполнительного механизма, когда ведомая часть муфты остановлена, момент, действующий на ведущий вал (ведущую часть муфты), т.е. приложенный к приводному двигателю, равен максимальному гистерезисному моменту муфты. Максимальный гистерезисный момент при синхронном вращении и при заторможенной ведомой части остается неизменным по величине. Поэтому в данном случае достаточно рассчитать максимальный момент муфты в соответствии с перегрузочной способностью двигателя и приводу будет обеспечена автоматическая защита от перегрузок при одновременном осуществлении синхронной передачи в системе без механической связи [2].

В быстродействующих системах автоматического регулирования с целью сокращения времени выбега исполнительных двигателей применяют динамическое торможение. Динамическое торможение довольно просто может быть осуществлено применением гистерезисных муфт с электромагнитным возбуждением и магнитно-гистерезисных муфт, используемых в системах синхронных передач. При этом одна (ведомая) часть муфты затормаживается, а вторая (ведущая) соединяется с валом исполнительного двигателя. Включение такой муфты-тормоза должно производиться одновременно с отключением исполнительного двигателя. Гистерезисная муфта-тормоз эффективно действует в режиме динамического торможения исполнительных двигателей по той причине, что при постоянном магнитном потоке возбуждения гистерезисный момент муфты остается неизменным по величине в процессе снижения

скорости вращения двигателя вплоть до полной остановки. Тогда как в других типах муфт (например, асинхронных) момент зависит от скорости вращения и уменьшается по мере снижения скорости вращения, что приводит к менее эффективному торможению по сравнению с гистерезисной муфтой-тормозом.

Конструктивное исполнение возможно в нескольких вариантах, но наибольшее применение в системах синхронных передач получили магнитно-гистерезисные муфты, возбуждаемые постоянными магнитами, поскольку они бесконтактны, высоконадёжны и просты в эксплуатации, автономны и не требуют источников электроэнергии для их питания.

Магнитно-гистерезисные муфты выполняются в двух основных конструктивных формах: с радиальным воздушным зазором (немагнитным промежутком между ведущей и ведомой частями муфты) и аксиальным (осевым) воздушным зазором. Каждая из этих двух основных форм можно разделить на несколько схем исполнений, то есть можно изменять форму индуктора (тип «звездочка», тип с радиально расположенными магнитами и др.), располагать гистерезисный слой снаружи или внутри. На рис. 1 приведены две конструктивных схемы – с радиальным воздушным зазором, внутренним гистерезисным слоем, двухполюсным индуктором со скобообразными магнитами и с аксиальным воздушным зазором с радиальным намагничиванием. Выбор типа муфты зависит от конкретных условий ее применения.

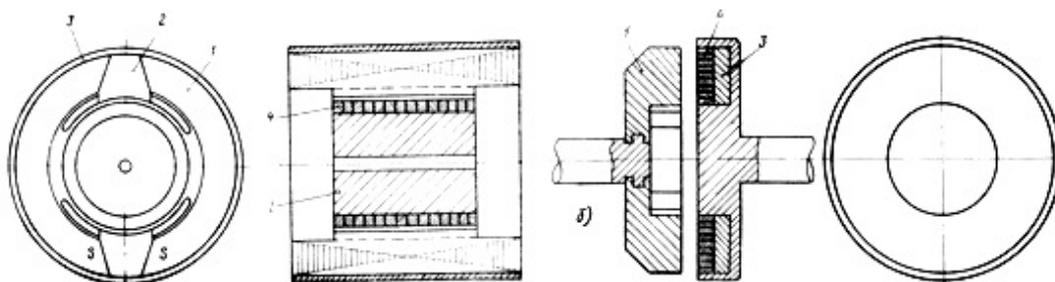


Рис. 1. Конструктивные исполнения магнитно-гистерезисных муфт

Стоит отметить, что магнитно-гистерезисные муфты возможно применять в системах с регулируемой величиной максимального момента передачи. Осуществление данной задачи будет зависеть от изменения величины воздушного зазора в муфтах с аксиальным воздушным зазором, либо посредством осевого смещения индуктора относительно гистерезисного слоя в муфтах с радиальным воздушным зазором [3].

В настоящее время гистерезисные муфты используются в конвейерных производствах, где максимально могут раскрыть свой потенциал в управляемости и возможности точного ограничения момента на валу. Чаще всего гистерезисную муфту применяют на пищевых производствах, где очень важна чистота помещения, т.к. в гистерезисной муфте нет трущихся или масляных частей. Например, выпускаемые в данное время фирмой Magtrol муфты работают только при малых мощностях. В табл. 1 приведена линейка основных выпускаемых гистерезисных муфт, которая наглядно показывает текущий уровень их развития. В частности наглядно видно, что муфты обладают сравнительно небольшими габаритными размерами и потребляют малую мощность, однако имеют низкую частоту вращения и момент на валу [4].

Все материалы, применяемые для изготовления магнитно-гистерезисных муфт, делятся на активные и конструктивные. Именно активные материалы обеспечивают создание момента. К ним относятся магнитотвердые сплавы постоянных магнитов, гистерезисные материалы гистерезисного слоя и магнитомягкие материалы полюсных наконечников, ярма и арматуры гистерезисного слоя.

Таблица 1. Характеристики моделей муфт от производителя Magtrol

Модель муфты	Минимальный момент при номинальном токе	Максимальная скорость	Ном. ток	Мощность (при ном. токе)	Диаметр	Длина
	Н · м	об/мин	мА	Вт	см	см
HCS-8	0,06	3600	38	2,5	4	3
HCS-16	0,11	3600	45	4,5	4,2	3,4
HCS-32	0,23	3600	71	7,5	4,2	5,1
HCS-120	0,85	3600	79	7,5	8,1	6,7
HCS-210	1,48	3600	123	11,4	10,1	7,6
HCS-420	2,96	3600	162	13,6	12,9	9,7

Гистерезисный материал, прежде всего, характеризуется удельными потерями на гистерезис, которые зависят от площади петли гистерезисного цикла

$$\rho_z = f(B_{z.m}).$$

Величина удельных гистерезисных потерь существенно зависит от напряженности магнитного поля, в котором происходит перемагничивание гистерезисного материала. Поскольку перемагничивание гистерезисного материала происходит в магнитном поле индуктора, в связи с этим важной характеристикой является отношение $\rho_z / H_{z.m}$, где $H_{z.m}$ – максимальная напряженность магнитного поля. Чем выше данное отношение, тем лучше гистерезисный материал. Материал также определяет гистерезисный момент на ведомом валу в синхронном режиме

$$M_z = \frac{1}{2\pi} p \rho_z V_z \text{ н.м.},$$

где p – число пар полюсов индуктора муфты; V_z – объем перемагничиваемого гистерезисного слоя, см³.

К магнитотвердым материалам, из которых изготавливается гистерезисный слой гистерезисных муфт, относятся кобальтовые и высокоуглеродистые стали, сплавы тройной системы типа Альни, Альнико, Альниси, и специально созданный сплав для гистерезисных электродвигателей типа викаллой 52КФ (Fe-Co-V). Перспективным направлением развития магнитно-гистерезисных муфт является замена данного сплава на сплав Fe-Cr-Co (Железо-Хром-Кобальт). Впервые магнитотвердые материалы на основе Fe-Cr-Co предложены Х. Канеко в 1971 г., практическое применение получили сплавы 25ХК15, 30ХК25 [5]. Магнитотвердые материалы на основе Fe-Cr-Co обладают удачным и весьма редким сочетанием достаточно высоких магнитных свойств с коррозионной стойкостью, прочностью, пластичностью и относительно низкой стоимостью из-за невысокого содержания дорогостоящего кобальта. В настоящее время исследование данного материала продолжается и находятся способы дальнейшего повышения его характеристик. Для повышения магнитных свойств (коэрцитивной силы, остаточной индукции, магнитной энергии) сплавы системы Fe-Cr-Co легируют молибденом, титаном или медью, проводят термомагнитную обработку (ТМО) и предварительный отжиг. Данные методы работы позволяют увеличить магнитную энергию на 10-20%. Сплавы с анизотропным эффектом ТМО имеют значения коэрцитивной силы до 76 кА/м и максимальную магнитную энергию до 91,2 кДж/м³ [6]. Разработка оптимального состава и технологии изготовления позволила заменить изготовление постоянных магнитов из сплава ЮДНК 24 на заводе «Электроприбор» (г. Чебоксары) на сплав системы Fe-Cr-Co [7]. Также была показана

возможность обработки данных сплавов всеми видами лезвийных инструментов. Магнитные свойства различных материалов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Магнитные свойства различных сплавов

Марка сплава	Магнитные свойства		
	Коэрцитивная сила	Магнитная индукция	Эл.-Магнитная Энергия
	H_c , кА/м	B_r , Тл	$W_{уд}$, кДж/м ³
ЮДНК24	46,5 – 52	1,28 – 1,35	16–24
52К13Ф	28	0,75	9,2
52К5Ф	4,0	1,4	–
Кунико I	56	0,34	–
25ХК15	40	1,2	8
30ХК25	62	1,05	7,5
Fe-Cr-Co [(8–10) % Co, (26 – 28) % Cr, (0,3 – 0,7 до 1% Mo)]	41–48	1,25–1,35	36–40
Fe-Cr-Co [(22–23) % Fe, (15–20) % Cr, (3–5) % Co, 8 % W или Mo]	До 76	До 1,46	До 91,2

Применение новых сплавов позволит изменить основные технические параметры гистерезисной муфты, такие как гистерезисный момент и момент под нагрузкой, которые зависят от величины петли гистерезиса. Таким образом, открывается возможность получения ряда новых магнитно-гистерезисных муфт для применения в различных сферах промышленности, где будут необходимы более мощные бесконтактные соединительные устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таев. И.С. Электрические аппараты автоматики и управления. – М.: «Высшая школа», 1975. – 224 с.
2. Справочник по автоматизированному электроприводу. Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
3. С.Р. Мизюрин, М.А. Ермилов. Проектирование магнитно-гистерезисных муфт. – М.: Ротапринт МАИ, 1966. – 123 с.
4. <http://www.magtrol.com/>
5. Постоянные магниты: Справочник/Альтман А.Б., Герберг А. Н., Гладышев П.А. и др. ; Под редакцией Ю. М. Пятина.– 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1980. – 488 с.
6. Чередниченко И.В. Формирование высококоэрцитивного состояния и магнитные свойства сплавов системы Fe-Cr-Co-Mo.//Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. МИСиС. М. 2010. С. 144.
7. Миляев А.И. Разработка и исследование деформируемых магнитотвердых сплавов на основе системы Fe-Cr-Co с содержанием 8-10 масс. % кобальта.//Дисс. на соиск. ученой степени к.т.н. МИСиС. М. 2004. С. 110.

ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ

Гуков М. И., Шаненков И. И., Циммерман А. И.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

Введение

Нитрид алюминия с гексагональной структурой широко используется в различных отраслях энергетики, благодаря своим уникальным свойствам, таким как высокая теплопроводность и механическая прочность, ярко выраженные диэлектрические свойства и низкий коэффициент теплового расширения [1-2]. Например, его применяют при изготовлении полевых транзисторов со структурой металл-диэлектрик-полупроводник.

Синтез частиц нитрида алюминия с как можно меньшими размерами является актуальной задачей, так как высокая дисперсность позволяет значительно упростить процесс спекания порошка, что делает его менее энергозатратным. К недостаткам наиболее распространенных способов получения AlN можно отнести большие временные и энергетические затраты, что обуславливает интерес к поиску альтернативных способов синтеза.

Данная работа посвящена вопросам синтеза ультрадисперсного порошка нитрида алюминия плазмодинамическим способом, который, помимо низких затрат ресурсов и времени (процесс занимает до 500 мкс), позволяет варьировать энергетические параметры и получать ультрадисперсные частицы в системе, основанной на коаксиальном магнитоплазменном ускорителе (КМПУ). Данный способ был разработан в лаборатории высокотемпературной сверхпроводимости ЭНИН ТПУ [3].

Экспериментальная часть

Система, используемая для синтеза ультрадисперсного порошка AlN, включает в себя емкостной накопитель энергии, КМПУ, камера-реактор, газовая среда [4]. Энергетические параметры, которыми обладает емкостной накопитель, следующие: $U_{зар}$ до 5 кВ, а $C_{зар}$ до 28,8 мФ. Состав КМПУ: Z-пинч ускоритель с алюминиевыми электродами и внешняя индуктивная система.

Принцип работы системы заключается в следующем. После замыкания силовых ключей в цепи разряда накопителя происходит рост напряжения на электродах, пробой межэлектродного промежутка и образование дугового (плазменного) разряда. Под влиянием собственного и внешнего магнитных полей плазменный разряд ускоряется силами кондукционной и индукционной электродинамики. Необходимый материал нарабатывается с поверхности ускорительного канала вовлекается в движение плазмы и выносится в пространство камеры-реактора. Синтез материала осуществляется при взаимодействии плазменного потока с газовой средой, в результате чего происходит распыление диспергированного материала со свободной поверхности фронта головной ударной волны. После выстрела диспергированный продукт остается во взвешенном состоянии и постепенно оседает на стенки камеры-реактора. После полного осаждения происходит вскрытие камеры и сборка порошка.

Исходные параметры для проведения плазмодинамического синтеза ультрадисперсного порошка AlN были следующими: центральный электрод с наконечником из алюминия, в который был засыпан порошок меламин (твердый прекурсор) и алюминиевый ускорительный канал формировали собой систему электродов; в предварительно вакуумированную камеру-реактор был закачен газообразный азот под давлением 1 атм.; $U_{зар} = 1,8$ кВ, а $C_{зар} = 14,4$ мФ. Продукт, получившийся данным способом без предварительной подготовки анализировался

методами рентгеновской дифрактометрии (Shimadzu XRD-7000) и просвечивающей электронной микроскопии (Philips CM12).

Результаты и обсуждения

На рисунке 1 представлена рабочие осциллограмма напряжения, разрядного тока, мощности разряда и выделившейся энергии, которые были записаны при проведении эксперимента. Из рисунка можно заметить, что процесс плазодинамического синтеза длится не более 600 мкс. Особенностью процесса синтеза с использованием твердого прекурсора является следующее: производная скорости роста тока, как видно из рисунка, изменяет свои значения из-за того, что при разложении меламина, который используется, как азотсодержащий прекурсор, выделяется водород, увеличивающий теплоотвод. Это в свою очередь влияет на увеличение напряжения и уменьшение уровня максимального тока. Снижение уровня протекающего тока значительно влияет, как на количество энергии, выделяющейся в процессе синтеза, так и на средней размер формирующихся частиц.

Гистограмма распределения частиц по размерам, которая представлена на рисунке 2, была построена в результате анализа данных светлопольных снимков, полученных методом просвечивающей электронной микроскопии. Из рисунка видно, что наибольшее количество частиц (около 88 %) в порошке имеют размер 20-120 нм. Это позволяет судить о достаточно высокой дисперсности синтезированного порошка. Тем не менее, еще большего уменьшения среднего размера частиц можно добиться при проведении экспериментов без использования водородсодержащего прекурсора. Это повысит уровень максимального тока и, соответственно, увеличит скорость закалки распыляемых частиц с поверхности фронта головной ударной волны.

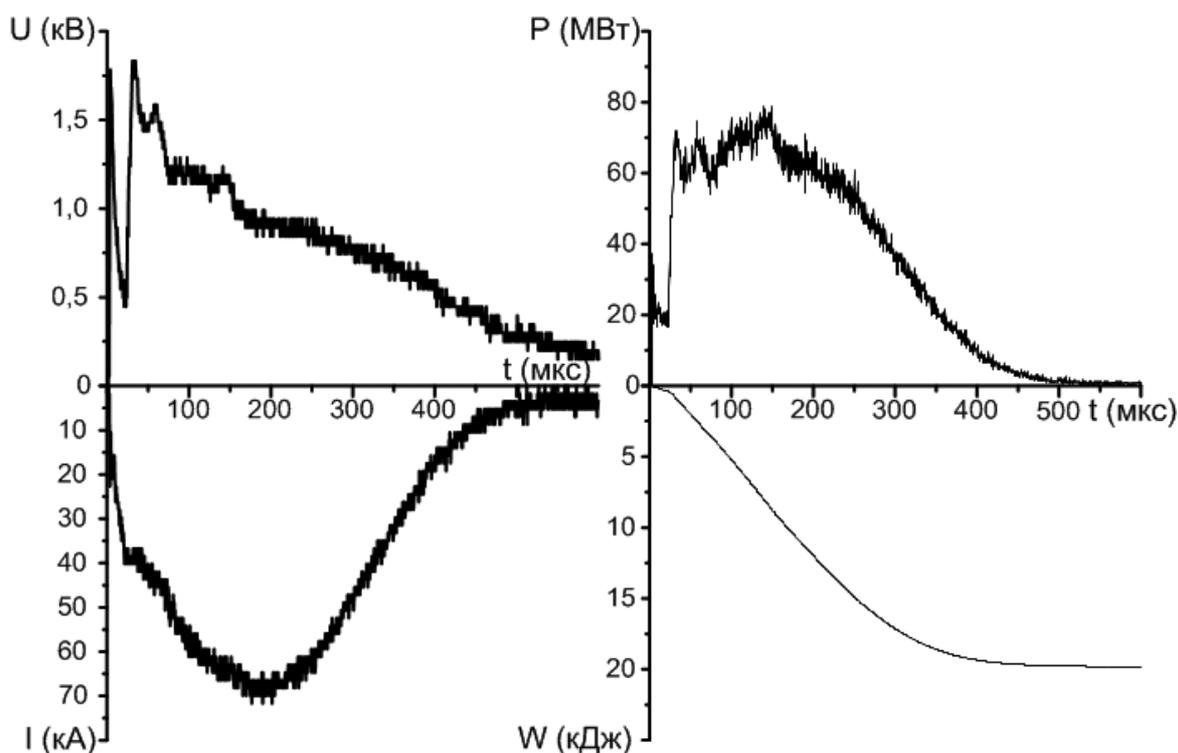


Рис. 1. Осциллограммы тока $i(t)$, напряжения $u(t)$, мощности $p(t)$, энергии $w(t)$

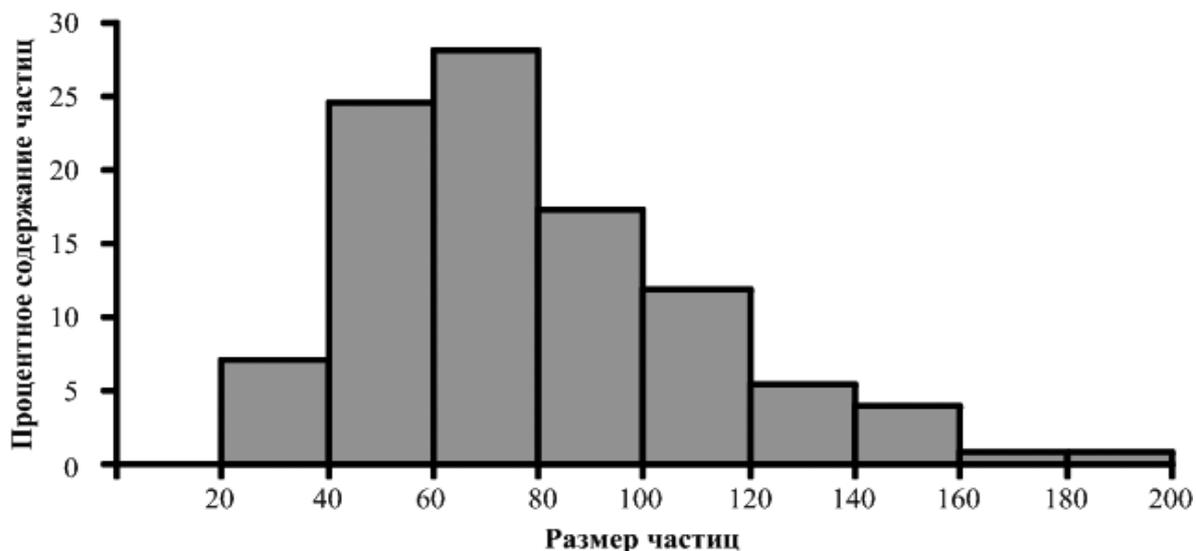


Рис. 2. Гистограммы распределения частиц по размерам в исследуемом порошке

На рисунке 3 представлены рентгеновские дифрактограммы синтезированного порошка. Расшифровка дифрактограмм проводилась при помощи программного обеспечения PowderCell 2.4 с использованием баз данных PDF 2+, PDF 4. Из рисунка видно, что порошок состоит из трех основных фаз (AlN, Al, Al₄C₃).

Также можно заметить, что фаза нитрида алюминия является доминирующей, а примесные фазы имеют содержание около 24,9 %. Формирование карбида алюминия можно объяснить наличием меламина (C₃N₆H₆), который являлся твердым азотсодержащим прекурсором. При его разложении в плазме разряда образуются свободные ионы углерода, которые взаимодействуя с алюминием, кристаллизуются и формируют фазу Al₄C₃. Таким образом, метод плазмодинамического синтеза позволяет осуществлять получение ультрадисперсного нитрида алюминия с достаточно высоким содержанием необходимой фазы (вплоть до 75 %) в едином кратковременном цикле работы ускорителя.

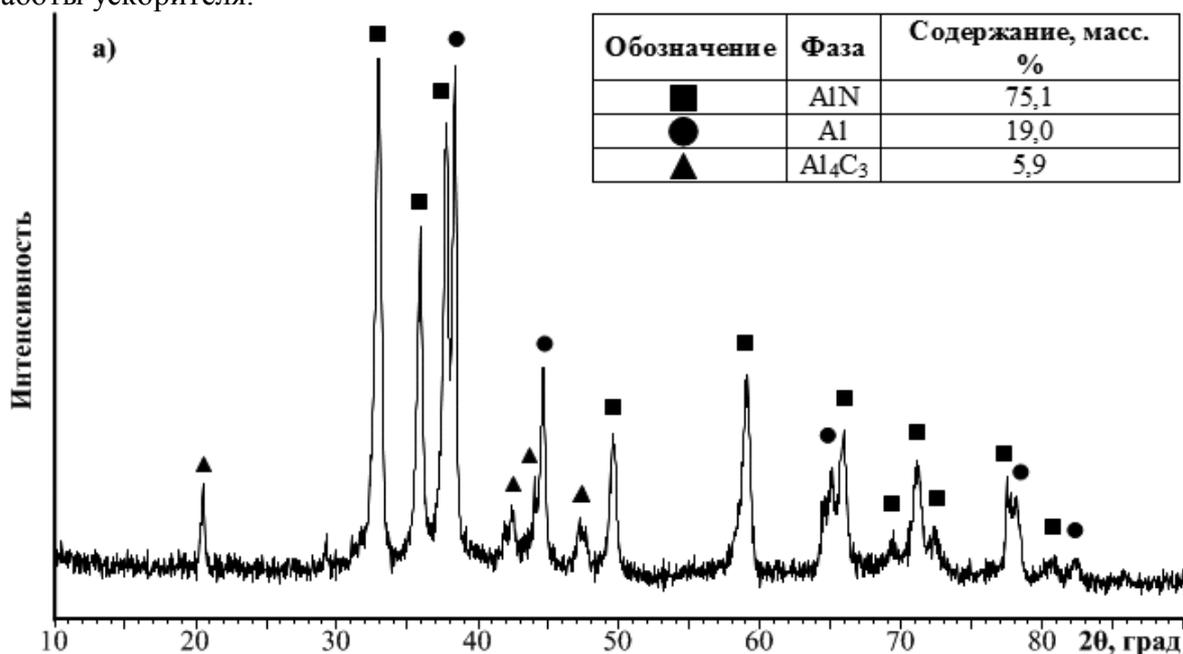


Рис. 3. Рентгеновские дифрактограммы исследуемого порошка

Заключение

Согласно результатам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что метод плазмодинамического синтеза отлично подходит для синтеза ультрадисперсного порошка нитрида алюминия. К преимуществам данного метода можно отнести высокую скорость протекания реакции (порядка 600 мкс), достаточно низкое процентное содержание примесных фаз (около 24,9 %), таких как Al и Al₄C₃ и малые размеры частиц (большинство лежит в диапазоне 20-120 нм). В качестве дальнейших этапов исследования процесса синтеза в предложенной системе будут выступать следующие: очистка продукта от примесных фаз, проведение исследований без использования дополнительных прекурсоров, получение керамики на основе синтезированного порошка.

ЛИТЕРАТУРА

1. L.M. Sheppard, Aluminum nitride: a versatile but challenging material, Am. Ceram. Bull. 69 (11) (1990) 1801–1803.
2. Pee J.H., Park J.C., Hwang K.T., Kim S., Cho W.S. Properties of AlN powder synthesized by self-propagating high temperature synthesis process // Key engineering materials. – 2010. – № 434–435. – P. 834–837.
3. Пат. 137443 РФ. МПК7 H05H 11/00. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель / А.А Сивков, А.С. Сайгаш, Ю.Л. Колганова. Заявлено 24.09.2013; Оpubл. 10.02.2014, Бюл. № 4. – 6 с.
4. Sivkov A., Pak A., Shanenkov I., Kolganova Y., Prosvirin I. Effect of energy on plasmodynamic synthesis product in the carbon-nitrogen system // Advanced Materials Research. – 2014. – Т. 880. – С. 36-41.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ С АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Серебряков Н. А.

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г.Барнаул

Цель: определение технико - экономической целесообразности применения частотного управления асинхронным двигателем.

Задачи:

- выполнить краткий аналитический обзор частотного управления асинхронным - двигателем;
- произвести анализ зарубежного и отечественного опыта применения частотных преобразователей в системах управления асинхронным двигателем;
- выработать методику технико-экономического обоснования применения системы частотного управления асинхронным электроприводом.

Асинхронный двигатель (АД) является самым распространенным видом привода в промышленности и народном хозяйстве. АД прост в изготовлении и эксплуатации, обладает высокой надёжностью в работе, имеет меньшие, по сравнению с двигателем постоянного тока размеры, массу и стоимость при той же мощности.

Основной недостаток АД – сложность регулирования скорости вращения традиционными методами. Однако, управлять АД можно с помощью изменения частоты входного напряжения.

Принцип частотного регулирования скорости вращения асинхронного двигателя заключается в том, что, изменяя частоту питающего напряжения, можно в соответствии с выражением:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}, \quad (1)$$

где ω_0 – угловая скорость идеального холостого хода;

f_1 – частота входного напряжения;

p – число пар полюсов асинхронного двигателя.

При неизменном числе пар полюсов p изменять угловую скорость вращения магнитного поля статора ω_0 . Данный способ обеспечивает плавное регулирование скорости в широком диапазоне. Частотный способ регулирования имеет еще одно достоинство: регулирование скорости при этом не сопровождается увеличением скольжения [1].

Особый экономический эффект от использования преобразователей частоты даёт применение частотного управления на объектах, обеспечивающих транспортировку жидкостей. До недавнего времени на таких объектах применялись дросселирующий метод или метод регулировки вентиляционной задвижкой давления жидкости в магистрали. Данные методы имеют ряд недостатков. Например, при дросселировании поток вещества, сдерживаемый задвижкой или клапаном, не совершает полезной работы. Применение регулируемого электропривода насоса позволяет задать необходимое давление или расход, что обеспечит не только экономию электроэнергии, но и снизит потери транспортируемого вещества. Применение частотно – регулируемого привода позволяет избежать этих недостатков, а также получить ряд преимуществ, таких как:

- экономия электроэнергии до 80%;
- исключение гидроударов, что позволяет резко увеличить срок службы трубопроводов и запорной арматуры;
- отсутствие больших пусковых токов, полная защита электродвигателей насосных агрегатов, работа электродвигателей и пусковой аппаратуры с пониженной нагрузкой, – позволяет увеличить срок службы оборудования;
- значительная экономия воды за счёт оптимизации давления в сетях и уменьшения разрывов трубопроводов;
- возможность полностью автоматизировать насосные станции;
- вода к потребителю может подаваться напрямую через закрытые трубы без накопления;
- не требуется строительство, обслуживание водонапорных баков или накопительных резервуаров.

При неравномерном суточном, недельном, месячном графике потребления потребителем воды поддержание оптимального давления в сетях возможно с помощью перекрытия задвижек на выходе насосной станции (метод дросселирования) или за счёт изменения скорости вращения насосного агрегата (изменение его производительности). Мощность, потребляемая насосом находится в кубической зависимости от скорости вращения рабочего колеса $P=f(Q^3)$, т. е. уменьшение скорости вращения рабочего колеса насоса, вентилятора в 2 раза приводит к уменьшению мощности, потребляемой насосом, в 8 раз. Производительность насоса Q прямо пропорциональна скорости вращения рабочего колеса насоса.

Зависимость потребляемой активной мощности насосом от производительности представлена на рисунке 1.

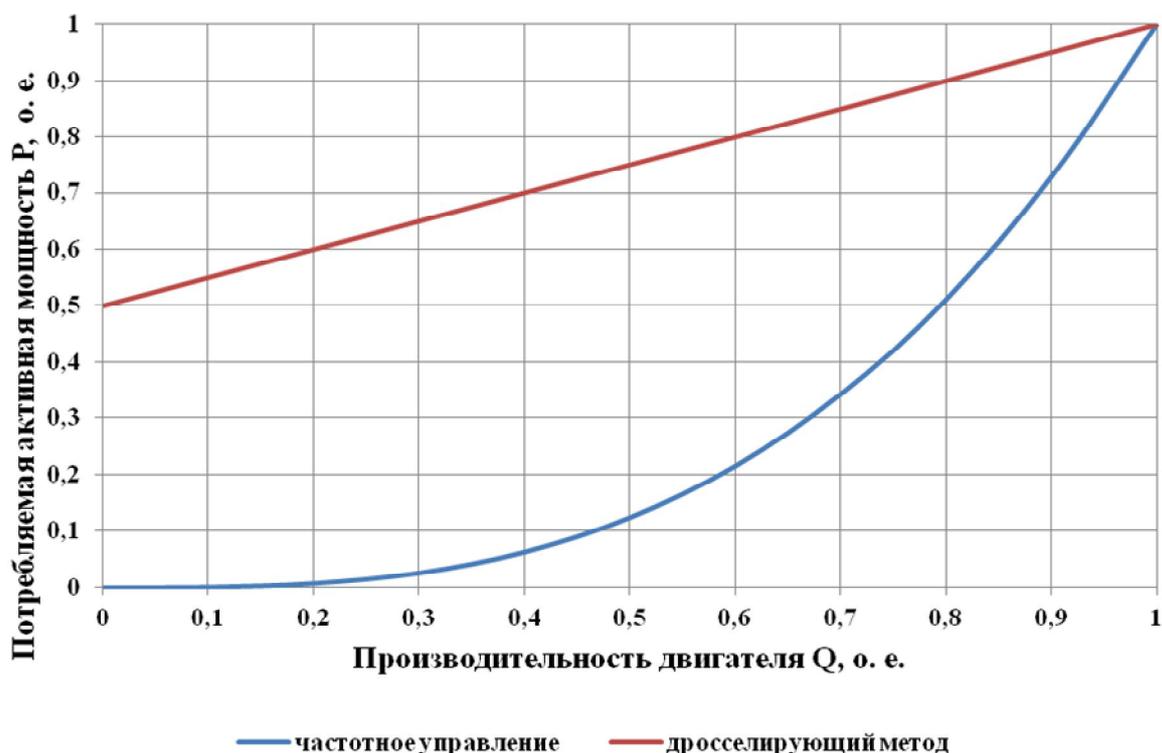


Рис. 1. Зависимость потребляемой активной мощности насосом от производительности

Зная график потребления воды и зависимость мощности, потребляемой насосом от производительности, можно определить примерную экономию электроэнергии от применения частотно-регулируемых насосных агрегатов. Как мы видим из рисунка 17, чем больше и чаще изменяется производительность насосного агрегата в течение суток, тем больше экономия электроэнергии. Знание типового суточного графика потребления воды для заданной насосной станции, является основой для технико-экономического обоснования установки частотных преобразователей на насосное оборудование.

В развитых странах, на данный момент, трудно найти асинхронный электропривод без частотного преобразователя. Однако установка частотного преобразователя не всегда является обоснованной. Не редко частотные преобразователи устанавливаются на оборудование, у которого маленький диапазон регулирования. На данном оборудовании не обеспечивается эффективность частотного управления. Также преобразователи частоты (ПЧ) не всегда электромагнитно совместимы с другим оборудованием на предприятии. Высшие гармоники, создаваемые преобразователями частоты, и повышенное потребление реактивной мощности негативно влияют на всё электрооборудование. Особенно чувствительны к появлению высших гармоник установки конденсаторных батарей. Поэтому технико-экономическое обоснование установки частотных преобразователей является многоцелевой задачей.

После проверки электромагнитной совместимости системы частотного управления АД с другими электроприёмниками, можно переходить к технико-экономическому обоснованию установки частотных преобразователей. На основании типового графика потребления воды насосной станции определяется экономия потребляемой электроэнергии за каждый час суток. Затем полученные значения суммируются и делятся на число часов в сутках, то есть:

$$\Delta W = \frac{1}{24} \cdot \sum_{h=1}^{24} \Delta W_h, \quad (2)$$

где ΔW – средняя за сутки экономия электроэнергии;
 ΔW_h – экономия электроэнергии в конкретный час суток;
 h – номер часа суток.

Затем определяется годовое электропотребление насоса:

$$W_{год} = 24 \cdot P_H \cdot n, \quad (3)$$

где $W_{год}$ – годовое электропотребление насоса;

P_H – номинальная мощность насоса;

n – число дней в году, когда насос находился в работе.

После этого определяется экономия электроэнергии за год:

$$\Delta W_{год} = \Delta W \cdot W_{год}, \quad (4)$$

где $\Delta W_{год}$ – экономия электроэнергии за год.

Далее определяется экономия денежных средств за один год:

$$E = \Delta W_{год} \cdot C_{кВт\cdotч}, \quad (5)$$

где E – экономия денежных средств за год;

$C_{кВт\cdotч}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии.

Определяется срок окупаемости установки системы частотного управления асинхронным электродвигателем:

$$T_0 = \frac{C_{счУ}}{E}, \quad (6)$$

где T_0 – срок окупаемости системы частотного управления АД;

$C_{счУ}$ – стоимость установки системы частотного управления АД.

Оценим величину экономического эффекта от применения системы частотного управления Hyundai на насосном агрегате мощностью 22 кВт. Величина экономии электроэнергии при внедрении преобразователей частоты составляет от 30 до 80%. Мы в своих расчётах примем среднесуточную экономию электроэнергии равной [2]:

$$\Delta W = 45\%, \quad (7)$$

Годовое электропотребление для насосного агрегата мощностью 22 кВт и работающего, к примеру, 270 дней в году, составляет:

$$W_{год} = 24 \cdot P_H \cdot n = 24 \cdot 22 \cdot 270 = 142560 \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (8)$$

Годовая экономия электроэнергии составит:

$$\Delta W_{год} = \Delta W \cdot W_{год} = 0,45 \cdot 142560 = 64152 \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (9)$$

Экономия денежных средств за год, при стоимости 1 кВт·ч электроэнергии равной 4,49 рубля (тариф на электроэнергию для бюджетных и прочих потребителей с присоединенной мощностью менее 150 кВт на март 2015), составит:

$$E = \Delta W_{год} \cdot C_{кВт\cdotч} = 64152 \cdot 4,49 = 288299,1 \text{ рублей}, \quad (10)$$

Стоимость системы частотного управления на насосном агрегате складывается из стоимости векторного частотного преобразователя и входного дросселя:

$$C_{счУ} = C_{пч} + C_{вх.др} = 114600 + 15900 = 130500 \text{ рублей}, \quad (11)$$

Если на предприятии нет персонала, способного установить систему частотного управления, то в стоимость системы необходимо включить затраты на монтаж и наладку оборудования.

Срок окупаемости, без учёта стоимости монтажных и наладочных работ, составит:

$$T_0 = \frac{C_{счУ}}{E} = \frac{130500}{288299,1} = 0,45 \text{ года} = 165 \text{ дней}, \quad (12)$$

Как мы видим из выражения (12) установка системы частотного управления на насосном агрегате окупится за 165 дней, а далее ежемесячно экономия денежных средств составит:

$$E_{\text{мес}} = \Delta W_{\text{мес}} \cdot C_{\text{кВт}\cdot\text{ч}} = 0,45 \cdot 24 \cdot 22 \cdot 30 \cdot 4,494 = 32033,232 \text{ рублей}, \quad (14)$$

где $E_{\text{мес}}$ – ежемесячная экономия денежных средств;

$\Delta W_{\text{мес}}$ – ежемесячная экономия электроэнергии.

Таким образом, применение частотно-регулируемых приводов для насосов и вентиляторов в технологических процессах позволяет снизить энергопотребление технологическим оборудованием. Целесообразно использование преобразователей частоты не в качестве элементов системы управления конкретного агрегата, а как составляющих комплексных системных решений с подключением широкого набора средств автоматизации технологического процесса. Такие решения позволяют получить дополнительный эффект, который заведомо больше простой экономии электрической энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серебряков, Н. А. Эффективность применения частотного регулирования скорости вращения асинхронного двигателя [Текст] / Н. А. Серебряков // Сборник трудов 11-ой Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь – 2014». – Барнаул : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2014. – С. 35-38.
2. Серебряков, Н. А. Эффективность применения частотного регулирования скорости вращения асинхронного двигателя [Текст] / Н. А. Серебряков, А. А. Грибанов // Сборник статей II международной конференции «Современные проблемы электроэнергетики. Алтай — 2014». – Барнаул : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2014. – С. 251-259.

ВЫБОР ПРИВОДА ДЛЯ ЭЛЕКТРОВЕЛОСИПЕДА

Сильвестров А. Ю., Харитонов В. В., Алюханов А. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение

Тема электротранспорта актуальна в наши дни по многим причинам. В качестве наиболее важного стоит отметить, что источники топлива для машин с двигателем внутреннего сгорания не восполняемые, а их использование наносит непоправимый вред окружающей среде.

Электрический транспорт, кроме экологической чистоты, обладают еще одним существенным преимуществом – для его технического обслуживания требуются меньшие затраты. Для применения в черте города из различных видов электротранспорта можно выделить наиболее популярный на сегодняшний день электровелосипед.

Отличительной особенностью электровелосипеда среди компактных легковых транспортных средств является:

- Безопасность. В сравнении с Segway, велосипед намного безопаснее на дороге.

- Компактность. Он не требует отдельной стоянки или гаража, его можно хранить дома. Устраняется проблема пробок, так как на электровелосипеде существует возможность проезда в различные труднодоступные для легковых автомобилей места.
- Независимость от дополнительной тяги. Если аккумуляторы разряжены, всегда можно продолжить движение используя стандартный pedalный привод.
- Самоподзарядка. На сегодняшний день уже придумано большое количество устройств для восполнения заряда при движении велосипеда.

Существует много вариаций конструкций электрических велосипедов, и они делятся по разным критериям. Основное различие – это расположение привода.

В этой работе рассмотрены три основных вида приводов и выполнен выбор, наиболее подходящий с точки зрения низкой стоимости, простоты конструкции и обслуживания.

Виды приводов для электровелосипеда:

1. Мотор колесо.
2. Привод в pedalном узле.
3. В виде отдельного блока на багажном отсеке.

Мотор колесо. Мотор колесо представляет собой двигатель, который заменяет собой ось колеса. Его вид приведен на рисунке 1.



Рис. 1. Пример конструкции мотор-колеса

Принцип работы мотор-колеса заключается в следующем: ось колеса заменяется статором, на который подается питание, а ротор двигателя крепится непосредственно к самому колесу. На рисунке 2 показано внутреннее строение мотор-колеса конструкции Шкондина.

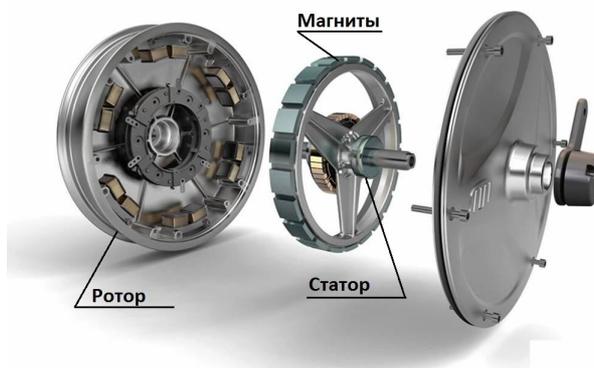


Рис. 2. Внутреннее строение мотор-колеса Шкондина

Достоинства:

1. Прост в подключении.
2. Компактный.
3. Средний вес (от 3 до 9 кг).

Недостатки:

1. Высокая стоимость (около 20 тысяч рублей).
2. Сложная конструкция для самостоятельной сборки.
3. Сложность в обслуживании.
4. Труднодоступность запасных частей.
5. Вес сконцентрирован на одном колесе (при использовании только одного мотор-колеса).

Стоит отметить, что одной из фирм производителей мотор-колес является Golden Motor. У данного производителя от напряжения, подаваемого на обмотку статора мотор-колеса зависит максимальная скорость и может составлять: 24 В — 25 км/ч, 36 В — 33 км/ч, 48 В — 45 км/ч. Эти данные подтверждаются практическими замерами при испытаниях. Максимальные скорости у линейки наборов Cyclone начинаются с 42 км/ч и заканчиваются совсем большим значением скорости — 120 км/ч [3].

Привод в педальном узле. Привод в педальном узле представляет собой дополнительную звезду, подключенную к двигателю, находящуюся в педальном узле и монтированную независимо от самого узла, с протянутой цепью на дополнительную звезду в колесе. Пример данного привода показан на рисунке 3.

Достоинства:

1. Компактность
2. Вес конструкции расположен в центре велосипеда

Недостатки:

1. Сложность в самостоятельной сборке
2. Труднодоступность при ремонте



Рис. 3. Пример двигателя в педальном узле

Отдельный блок. Данная конструкция представляет собой вынесенный на место багажника привод, состоящий из двигателя и передаточных механизмов. Пример данного привода показан на рисунках 4 и 5.

Принцип работы данной конструкции заключается в том, что от двигателя, установленного на багажнике путем ременной передачи крутящийся момент будет передаваться на вал, от которого через цепь вращение переходит на дополнительную звезду, установленную на заднем колесе и не относящуюся к набору звезд, принадлежащих к педальному приводу. Это делает электропривод независимым от педального, что не допустит вращения педалей при использовании дополнительной тяги. Наличие фривилла, соединяющего вал и дополнительную звезду, также не допустит произвольного вращения вала и, соответственно, ротора двигателя.



Рис. 4. Пример привода отдельным блоком



Рис. 5. Привод отдельным блоком. Вид сзади

Достоинства:

1. Простота в сборке
2. Простота в обслуживании
3. Доступность запчастей
4. Небольшой Вес
5. Компактность

Недостатки:

1. Вес сконцентрирован на заднем колесе
2. Износ ремней передачи

Вывод

Проанализировав все три вида конструкций, можно прийти к выводу, что привод отдельным блоком имеет меньшую стоимость, а также удобен в монтаже и обслуживании. Мотор-колесо и двигатель в педальном узле сложны при самостоятельном изготовлении и обслуживании (требуются значительные изменения в конструкции велосипеда) и требуют больших финансовых затрат (стоимость некоторых мотор-колес превышает 30000 рублей). Привод отдельным блоком может быть собран из дешевых легкодоступных деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://habrahabr.ru/post/229885/>
2. http://www.velomotor.net/stat_i/motor_koleso.htm
3. <http://epowerbikes.ru/handmade/kits>
4. <http://www.cyclepedia.ru/content/elektro-velosiped>
5. «Вело Журнал» Кому интересен электровелосипед? - 16.08.15 / Электронный ресурс: <http://velo.zhzh.info/news/2015-08-16-203>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОВЫШАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Федюк Р. С., Мочалов А. В., Тимохин А. М., Муталибов З. А., Ильинский Ю. Ю.
Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Используя электронный конвертер-источник тока, можно сформировать ток на входе, обозначенном мостовым выпрямителем, синусоидальный и находящийся в фазе с входным напряжением.

Выбор электронного преобразователя базируется на следующих положениях:

- в основном, электрическая изоляция между входом нагрузки и выходом силовой электронной системы не нужна (например, в двигателях постоянного и переменного тока) или может быть выполнена при условии применения преобразователя второго уровня, как в переключателе режима силовых устройств постоянного тока;

- во многих случаях желательно стабилизировать напряжение постоянного тока U_d немного с запасом от максимального входного напряжения переменного тока;

- входной ток должен быть как можно более идеальным, как при коэффициенте мощности, равном единице, так, чтобы интерфейс силовой электроники имитировал резистор, представленный источником нагрузки. Это также подразумевает, что электрический ток всегда однонаправленный – из источника нагрузки в электрооборудование.

- цена, потери и размеры источника тока должны быть минимизированы [1].

Базируясь на этих правилах, изоляция линейно-частотного преобразователя исключена. Также, если это приемлемо, то $U_d > U_s$, где U_s – пик переменного входного напряжения. Таким образом, очевидным выбором для источника тока является повышающий DC-DC преобразователь.

Этот преобразователь представлен на рис. 1, где конденсатор C_d используется для минимизации пульсаций U_d и удовлетворения требований накопления энергии систем силовой электроники. Постоянный ток I_{load} , представляет собой мощность, подаваемую в остальной части системы (высокочастотный компонент в выходном токе фактически отфильтровывается C_d). Для простоты, внутренняя индуктивность L_s источника не включена на данный рисунок.

Входной ток i_s желательно подавать синусоидальным и софазным с U_s . На практике, потери в мостовом выпрямителе и повышающем DC-DC преобразователе довольно малы и в ряде случаев ими можно пренебречь. Учитывая, что $\hat{U}_s = \sqrt{2}U_s$, $\hat{I}_s = \sqrt{2}I_s$, входная мощность источника переменного тока:

$$p_{in}(t) = \hat{U}_s |\sin \omega t| \hat{I}_s |\sin \omega t| = U_s I_s - U_s I_s \cos 2\omega t$$

Из-за довольно большой емкости C_d , напряжение U_d может изначально считаться постоянным: $U_d(t) = U_d$. Поэтому выходная мощность $P_d(t) = U_d I_d(t)$, где согласно рис. 1:

$$I_d(t) = I_{load} + i_c(t)$$

Если повышающий преобразователь на рис. 1 идеальный, то можно предположить, что он будет функционировать на частоте переключения приближенной к бесконечности, и L_d будет пренебрежительно мала. Это позволяет предположить, что $p_{in}(t) = p_d(t)$ в любой мгновенный момент времени.

Поэтому $i_d(t) = i_{load} + i_c(t) = \frac{U_s I_s}{U_d} \cos 2\omega t$, где среднее значение $I_d = I_{load} = \frac{U_s I_s}{U_d}$ и ток через конденсатор: $I_c(t) = -\frac{U_s I_s}{U_d} \cos 2\omega t = -I_d \cos 2\omega t$

Даже если это предположение выполняется, на конденсаторе будет напряжение постоянного тока практически без пульсаций, а пульсации U_d могут быть вычислены как:

$$V_{d,ripple}(t) \approx \frac{1}{C_d} \int i_c dt = -\frac{I_d}{2\omega C_d} \sin 2\omega t, \text{ которые можно поддерживать на низком уровне,}$$

выбрав соответствующим образом большое значение C_d . Серия LC-фильтров, настроенная на удвоенную частоту переменного тока, может быть включена в параллель к C_d для минимизации пульсации постоянного напряжения [2].

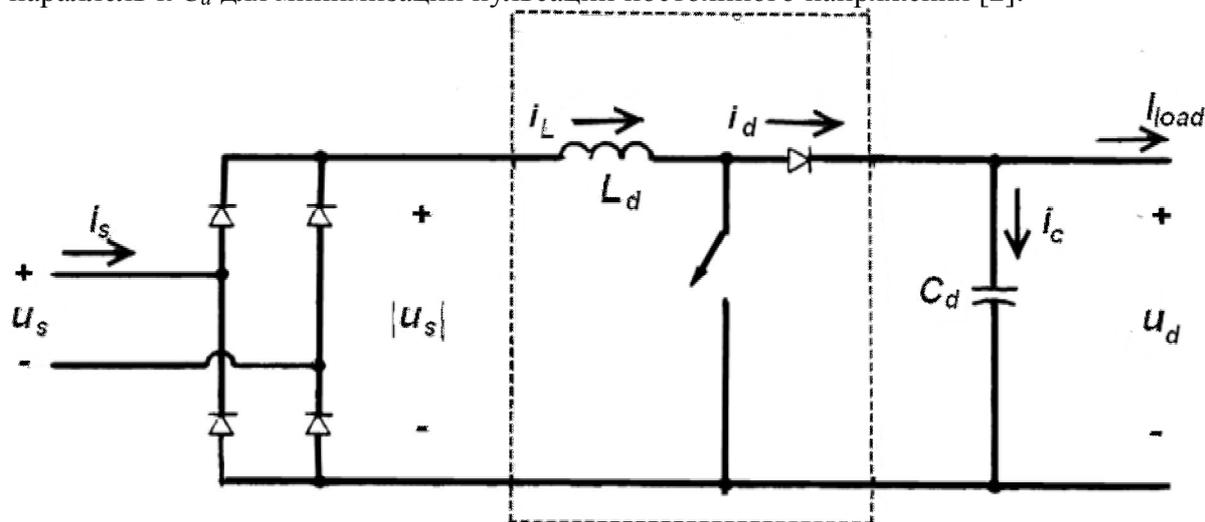


Рис. 1. Схема повышающего преобразователя

Следует отметить, что частотные компоненты токов i_d и высокочастотные компоненты токов нагрузки будут также протекать через C_d . Поскольку входной ток повышающего преобразователя имеет определенную форму, повышающий преобразователь работает в токорегулируемом режиме, в связи с преобразованием из постоянного в переменный ток [3].

Управление с обратной связью показано на блок-схеме (рис. 2), где i_L^* - заданное или требуемое значение тока i_L^*

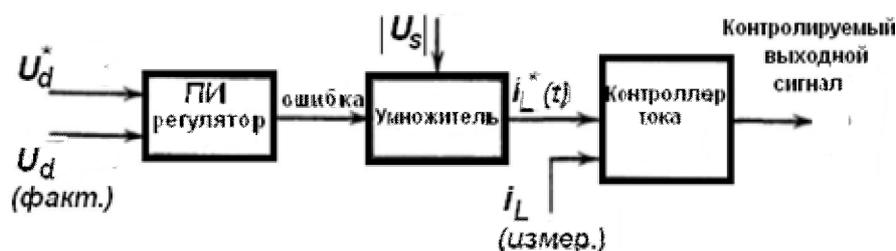


Рис. 2. Управление с обратной связью повышающего преобразователя

Здесь i_L^* имеет такую же форму как $|U_s|$. Амплитуда i_L^* должна быть такая, чтобы поддерживать выходное напряжение на заданном или исходном уровне U_d^* , несмотря на изменения при нагрузке и отклонения напряжения в сети от номинального значения. Форма сигнала i_L^* получена путем измерения $|U_s|$ с помощью резистивного делителя напряжения и умножив его с усиленной ошибки между исходной величиной U_d^* и фактическим измеренным значением U_d . Фактический ток i_L определяется, как правило, путем измерения напряжения через небольшой резистор, вставленный в

направлении, обратном i_L . Состояние переключателя в повышающем преобразователе управляется посредством сравнения фактического тока i_L и i_L^* .

Мгновенное значение i_L^* и i_L определяется различными способами реализации текущего контроля режима из повышающего преобразователя. Четыре таких способа представлены ниже, где f_s – частота переключения и I_{rip} – пиковая пульсация i_L в течение одного периода времени от частоты переключения. Определение контроля постоянной частоты описано более подробно.

1. Контроль постоянной частоты. Здесь частота переключения f_s держится постоянной. Когда i_L достигает i_L^* , переключатель повышающего преобразователя отключается. Переключатель включен на определенное время на фиксированной частоте f_s , что приводит к значению i_L , как показано на рис 3, а. Компенсация наклона разгона должна быть выполнена, в противном случае i_L будет неравномерным в соотношении переключателя долг в избыток 0,5 нормального I_{rip} как показано на рис. 3.

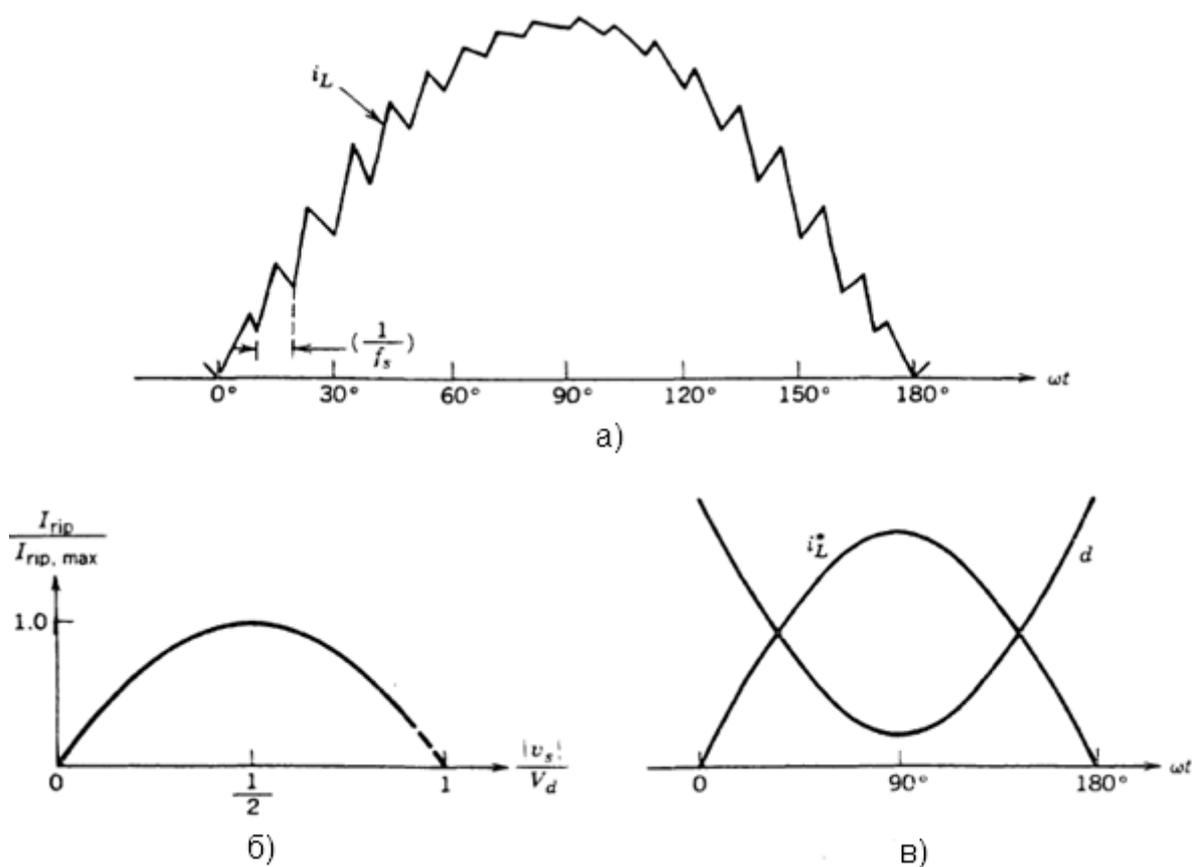


Рис. 3. Контроль постоянной частоты

а) «пилообразный» вид i_L при постоянной частоте переключения f_s ; б) установившееся значение пиковой пульсации I_{rip} ; в) зависимость коэффициента d от ωt

2. Постоянная допуска к диапазону регулирования. Здесь ток i_L управляется таким образом, что пиковая пульсация I_{rip} остается постоянной. С предварительным выбором значений I_{rip} , i_L вынуждена быть в пределах допуска $i_L^* + \frac{1}{2}I_{rip}$ и $i_L^* - \frac{1}{2}I_{rip}$ и путем регулирования положения переключателя [4].

3. Переключение на ручной контроль. Здесь пиковая пульсация I_{rip} увеличивается пропорционально мгновенному значению $|U_s|$.

В противном случае, этот подход аналогичен управлению постоянной допуска-диапазона.

4. Управление прерывистым током. В этой схеме, ключ выключен, когда i_L достигает двукратного значения i^*_L .

Ключ держится закрытым, пока i_L не достигает нуля. В этот момент времени выключатель обратно включается. Это можно рассматривать как частный случай переменной допуска диапазона регулирования.

В течение периода частоты переключения предполагается, выходное напряжение постоянно V_d и входное напряжение повышающего преобразователя считается постоянным в этот момент времени; I_{rip} – пиковая пульсация тока в течение одного периода времени частоты переключения.

Следующие формулы могут быть выведены из рис. 1, в течение интервала t_{on} и интервала закрытия ключа t_{off}

$$t_{on} = \frac{L_d I_{rip}}{|U_s|} \quad (1)$$

$$t_{off} = \frac{L_d I_{rip}}{U_d - |U_s|} \quad (2)$$

Частота переключения f_s :

$$f_s = \frac{1}{t_{on} + t_{off}} = \frac{(U_d - |U_s|)U_s|}{L_d I_{rip} U_d} \quad (3)$$

В схеме с контролем постоянной частоты f_s , которая в этой формуле постоянна, и, следовательно:

$$I_{rip} = \frac{(U_d - |U_s|)U_s|}{f_s L_d U_d} \quad (4)$$

Рис. 3, б показывает график нормальной I_{rip} как функцию от $|U_s|/U_d$, учитывая, что в повышающем преобразователе отношение $|U_s|/U_d$ должно быть ≤ 1 .

Максимальный ток пульсаций задается как

$$I_{rip,max} = \frac{U_d}{4f_s L_d} \quad (5)$$

где $|U_s| = \frac{1}{2}V_d$

ЛИТЕРАТУРА

1. Mohan N. Power electronics. – New York, 2005. – 802 p.
2. Шкрабец Ф.П. Контроль параметров изоляции и режима настройки дугогасящих реакторов / Ф.П. Шкрабец, А.В. Остапчук // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2004. - № 6. - С. 320-322.
3. Костинский С.С. Регулируемый дугогасящий реактор / С.С. Костинский, В.В. Михайлов, Д.С. Алексеева, В.В. Лопанский // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. - 2014. - № 3. -С. 51-54.
4. ЧэньВей Сянь. Новый способ гашения дуги однофазного короткого замыкания в сетях с изолированной нетральнойю / ЧэньВей Сянь, Чень Хо // Электричество . - 2009. - № 1. - С. 54-57.

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРА КАЛМАНА В ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

Бегеза М. В., Цеван А. Н., Жарский С. Е.

Белорусский государственный технологический университет, Республика Беларусь,
г. Минск

Фильтр назван в честь венгерского математика Рудольфа Эмиль Калмана. Это эффективный рекурсивный фильтр, оценивающий вектор состояния динамической системы, используя ряд неполных и зашумленных измерений.

Фильтр Калмана предназначен для рекурсивного до оценивания вектора состояния априорно известной динамической системы, то есть для расчёта текущего состояния системы необходимо знать текущее измерение, а также предыдущее состояние самого фильтра. Таким образом, фильтр Калмана, подобно другим рекурсивным фильтрам, реализован во временном, а не в частотном представлении, но в отличие от других подобных фильтров, фильтр Калмана оперирует не только оценками состояния, а еще и оценками неопределенности (плотности распределения) вектора состояния, опираясь на формулу Байеса условной вероятности.

Алгоритм работает в два этапа. На этапе прогнозирования фильтр Калмана экстраполирует значения переменных состояния, а также их неопределенности. На втором этапе, по данным измерения (полученного с некоторой погрешностью), результат экстраполяции уточняется. Благодаря пошаговой природе алгоритма, он может в реальном времени отслеживать состояние объекта.

Рассмотрим формулировку задачи фильтрации случайного процесса с известными динамическими свойствами, для решения которой фильтр Калмана изначально предназначен. Цель фильтра Калмана — минимизировать дисперсию оценки векторного случайного процесса $x(k)$, изменяющегося во времени следующим образом:

$$x(k+1) = \Phi(k)x(k) + v(k),$$

где $\Phi(k)$ — матрица перехода; $v(k)$ — случайный вектор (шум процесса), имеющий нормальное распределение с корреляционной матрицей $Q_p(k)$.

Для наблюдения доступен линейно преобразованный процесс $y(k)$, к которому добавляется шум наблюдения:

$$y(k) = H(k)x(k) + w(k),$$

где $H(k)$ — матрица наблюдения, $w(k)$ — шум наблюдения, представляющий собой случайный вектор, имеющий нормальное распределение с корреляционной матрицей $Q_M(k)$.

Поиск алгоритма для рекурсивного обновления оценки процесса $X(k)$ дает следующую последовательность формул:

$$v(k) = C(k)\Phi(k)X(k-1) - \text{прогнозируемое значение наблюдаемого сигнала};$$

$e(k) = y(k) - v(k)$ — невязка между прогнозируемым и реально наблюдаемым значениями;

$K(k) = P(k-1)C^T(k)(C(k)P(k-1)C^T(k) + Q_M(k))^{-1}$ — калмановский коэффициент усиления;

$$x(k) = \Phi(k)x(k-1) + K(k)e(k) - \text{обновление оценки процесса } x(k);$$

$P(k) = \Phi(k)[P(k-1) - K(k)C(k)P(k-1)]\Phi(k) + Q_M(k)$ — обновление оценки корреляционной матрицы ошибок фильтрации.

При использовании фильтра Кармана для решения задачи адаптивной фильтрации отслеживаемым процессом является вектор коэффициентов оптимального фильтра w . Предполагается, что детерминированных изменений коэффициентов не происходит, поэтому матрица перехода Φ является единичной: $\Phi(k) = 1$. В качестве матрицы

наблюдения выступает вектор содержимого линии задержки фильтра $u(k)$. Таким образом, выходной сигнал фильтра представляет собой прогнозируемое значение наблюдаемого сигнала, а в качестве самого наблюдаемого сигнала выступает образцовый сигнал адаптивного фильтра $d(k)$. Шум наблюдения в данном случае является ошибкой воспроизведения образцового сигнала, а матрица Q_M превращается в скалярный параметр — средний квадрат сигнала ошибки. Величина этого параметра слабо влияет на поведение алгоритма. Рекомендуемые значения — $(0.001...0.01)\delta_d^2$.

Если фильтруется стационарный случайный процесс, коэффициенты оптимального фильтра являются постоянными и можно принять $Q_p = 0$. Чтобы дать фильтру возможность отслеживать медленные изменения статистики входного сигнала, в качестве Q_p может использоваться диагональная матрица.

В результате приведенные выше формулы принимают следующий вид: $y(k) = u^T(k)w(k-1)$ — выходной сигнал фильтра (прогнозируемое значение образцового сигнала); $e(k) = d(k) - y(k)$ — ошибка фильтрации;

$$K(k) = \frac{P(k-1)u(k)}{u(k)P(k-1)u(k) + Q_m}$$

— калмановский коэффициент усиления; $w(k) = w(k-1) + K(k)e(k)$ — обновление оценки коэффициентов фильтра $w(k)$; $P(k) = P(k-1) - K(k)u^T P(k-1) + Q_p$ — обновление оценки корреляционной матрицы ошибок оценивания.

Начальное значение вектора w обычно принимается нулевым, а в качестве исходной оценки матрицы P используется диагональная матрица вида CI .

Все способы использования адаптивных фильтров так или иначе сводятся к решению задачи идентификации, то есть определения характеристик некоторой системы. Возможны два варианта идентификации — прямая и обратная.

В первом случае адаптивный фильтр включается параллельно с исследуемой системой (рис. 1, а). Входной сигнал является общим для исследуемой системы и адаптивного фильтра, а выходной сигнал системы служит для адаптивного фильтра образцовым сигналом. В процессе адаптации временные и частотные характеристики фильтра будут стремиться к соответствующим характеристикам исследуемой системы.

При обратной идентификации адаптивный фильтр включается последовательно с исследуемой системой (рис. 1, б). Выходной сигнал системы поступает на вход адаптивного фильтра, а входной сигнал системы является образцом для адаптивного фильтра. Таким образом, фильтр стремится компенсировать влияние системы и восстановить исходный сигнал, устранив внесенные системой искажения.

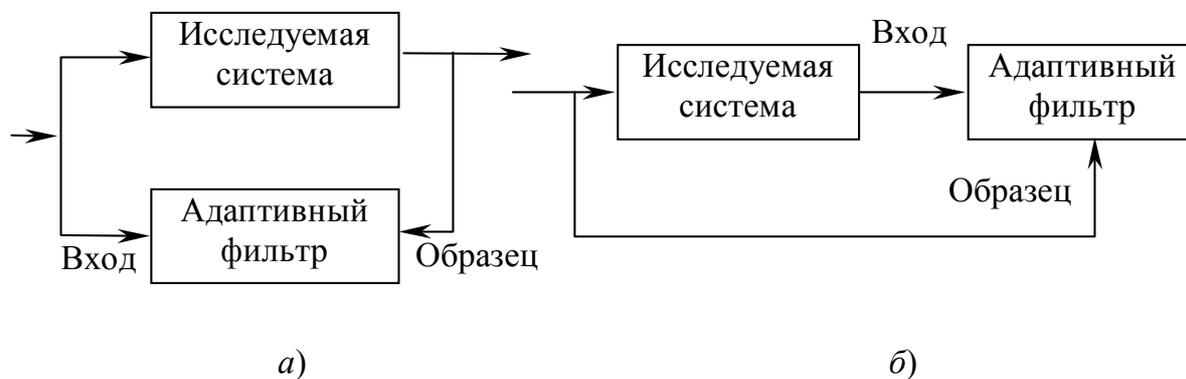


Рис. 1. Идентификация систем с помощью адаптивного фильтра:
 а — прямая, б — обратная

Подавление шума. Пусть необходимо обеспечить пилота самолета или, скажем, водителя трактора системой речевой связи. При этом воспринимаемый микрофоном речевой сигнал неизбежно окажется сильно зашумленным звуками работающего двигателя и т. п. Избавиться от этих шумов нельзя, но можно получить образец шумового сигнала, установив второй микрофон в непосредственной близости от двигателя (или иного источника шумов). Разумеется, этот шум нельзя просто вычесть из речевого сигнала, поскольку по дороге до двух микрофонов шум следует разными путями и, следовательно, претерпевает разные искажения (рис. 2).

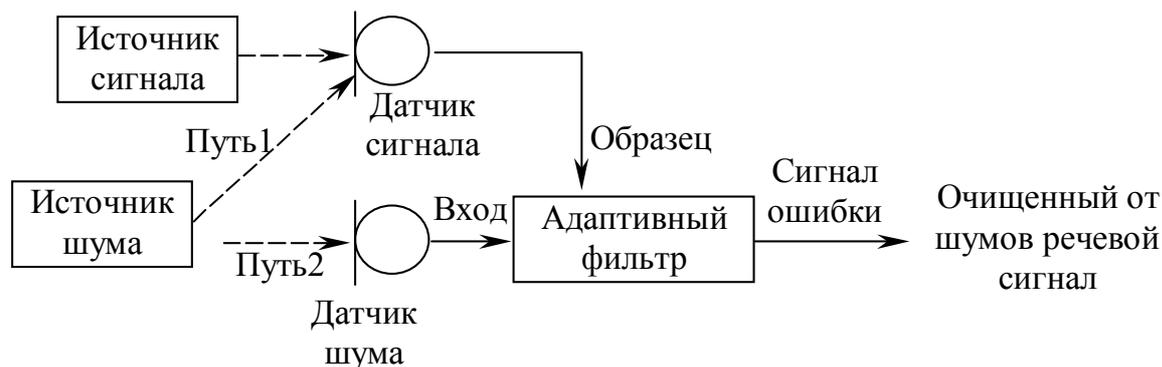


Рис. 2. Подавление шума с помощью адаптивного фильтра

Однако шумовые случайные процессы, воспринимаемые двумя микрофонами, будут коррелированными, так как они происходят из общего источника. В то же время очевидно, что шумовой сигнал не коррелирован с полезным речевым сигналом.

С помощью адаптивного фильтра в данном случае решается задача прямой идентификации (см. рис. 1, а) преобразований шума на пути от шумового микрофона к сигнальному. Входным сигналом адаптивного фильтра является шумовой сигнал от дополнительного микрофона, а в качестве образцового сигнала используется сигнально-шумовая смесь, воспринимаемая основным микрофоном.

Адаптивный фильтр стремится преобразовать входной сигнал так, чтобы сделать его как можно ближе к образцовому. Поскольку с входным сигналом фильтра коррелирована лишь шумовая составляющая образцового сигнала, в установившемся режиме на выходе фильтра будет получаться оценка шума, присутствующего в образцовом сигнале. Сигнал ошибки, рассчитываемый как разность между образцовым сигналом и выходным сигналом адаптивного фильтра, будет в этом случае представлять собой очищенный от шума речевой сигнал.

На настоящий момент основная критика фильтра Калмана ведётся по следующим направлениям: В фильтре Калмана погрешности представлены белым шумом, которого на самом деле в природе не существует.

Нет соответствия необходимому и достаточному условию оптимальности.

Ошибка в выводе фильтра Калмана – требуются противоречивые условия верности разных уравнений алгоритма: в одних чтобы $\tau < t$ и в других $\tau = t$.

Существенные проблемы для фильтра Калмана от нелинейные искажения входных и выходных цепей.

СПОСОБ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ И ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ ЕМКОСТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ НА ЕГО ОСНОВЕ

Хайруллин И. Х., Султанова Р. А.

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

Изучение состояния развития емкостных машин представляет большой интерес. Емкостные машины появились значительно раньше индуктивных машин и имеют ряд преимуществ [1,2]. Во-первых, обладая малой мощностью, они менее чувствительны к электромагнитным помехам, в отличие от индукционных устройств такой же мощности. Во-вторых, обладают малым весом и малогабаритны. Основным классом таких устройств составляют двигатели. Емкостные двигатели, как и большинство электрических машин, состоят из ротора (подвижной части) и статора (неподвижной части). Основное их отличие от индукционных машин состоит в отсутствии магнитопровода и обмоток. Роль обмоток выполняют электроды. Полезную работу в таких устройствах совершает не электромагнитное поле, а электрическое. Это поле создается посредством последовательной подачи напряжения возбуждения на электроды.

Электростатическое поле представляет собой частный случай электромагнитного поля, когда источниками поля являются неподвижные электрические заряды [3]. Наименьшие электрические заряды содержат в себе колоссальные количества элементарных частиц электричества, отделенных друг от друга ничтожно малыми расстояниями. Если элемент объема исчезающе мал в масштабах макроскопической теории, то можно вовсе не учитывать корпускулярное строение электричества и пользоваться представлением о непрерывно распределенных электрических зарядах, заполняющих сплошь заряженные участки материальных тел.

Емкостной преобразователь энергии по конструктивному исполнению представляет собой неподвижную систему возбуждения – статор, подвижную часть – ротор и немагнитный корпус [4].

Под неподвижной системой возбуждения понимается шесть пластин (электродов), описывающих окружность.

Исходя из того, что данная конструкция является экспериментальной, в большей степени для определения оптимального значения емкости и момента, то электроды будут приводиться в движение по следующей схеме (Рис.1. Вращательное движение электродов).

Нижняя часть электрододержателя, закрепленная в боковую стойку, вращается вокруг своей оси. Верхняя часть производит поступательно-вращательные движения и поворачивает электрод в интервале от 0 до 90°.

Такая конструкция позволяет при повороте электродов на определенный угол определять оптимальное значение емкости и момента.

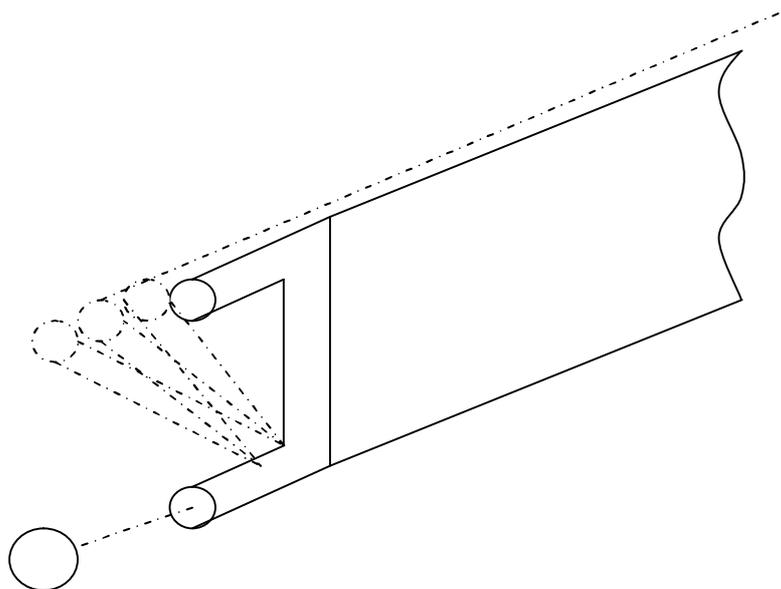


Рис. 1. Вращательное движение электродов:
1 – электрододержатель; 2 – пластина (электрод)

Ротор в данной конструкции – это тонкостенный полый цилиндр с толщиной стенки 1 мм, изготовленный из диэлектрического материала (Рис.2. Полый тонкостенный цилиндр)

Ротор с помощью втулок с обеих сторон крепится к боковым стойкам на камневых подшипниках. Втулка состоит из пробки, которая с одной стороны вставляется с натягом в цилиндр, и цапфы (металлический стержень, изготовленный из стали марки У10А), которая, с одной стороны клеивается в пробку, а с другой – вращает всю систему при помощи камневых подшипников.

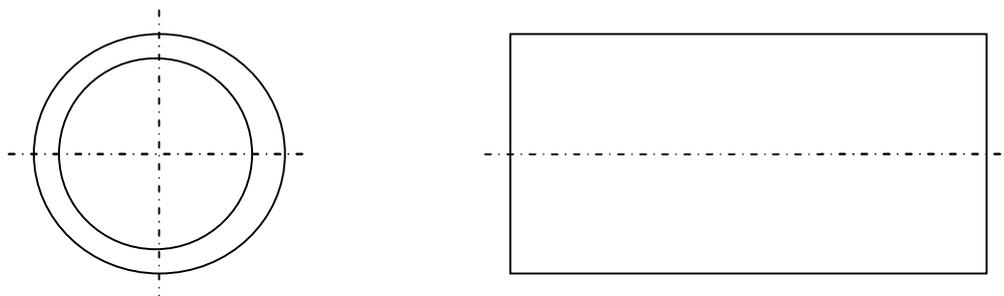


Рис. 2. Полый тонкостенный цилиндр

Система статор – ротор помещена в неметаллический корпус, где боковые и нижняя стойка изготовлены из гетинакса, а боковые и верхняя крышки – из органического стекла.

Емкостная машина, при работе над такими ее недостатками как малая удельная мощность и низкий к.п.д., может быть использована в различных областях [5].

К числу областей применения емкостных машин относятся:

1) питание различной аппаратуры, работающей на постоянном токе высокого напряжения: электрофильтры, электросепараторы, специальные радиотехнические устройства, электронные микроскопы, устройства для окраски в электрическом поле и т.п.;

2) испытание постоянным током высокого напряжения кабелей, изоляторов и другой высоковольтной аппаратуры;

3) питание различных импульсных установок, в которых импульс создается путем зарядки и разрядки конденсатора;

4) устройства, использующие феррозонды, где емкостные двигатели малой мощности, почти не создающие магнитных помех, можно расположить вблизи феррозонда и тем самым уменьшить общие габариты (например, геологические поисковые аэромагнитометры).

В последнее время развиваются емкостные микромашины, которые используются в микросхемотехнике, микропроцессорной технике [6,7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев А.А. Техника высоких напряжений. М – Л.: ГЭИ. – 1945. – 520 с.
2. Каплянский А.Е. Введение в общую теорию электрических машин. М – Л.: ГЭИ. – 1941. – 289 с.
3. Миролубов Н.Н. Методы расчета электростатических полей. М.: Государственное издательство «Высшая школа», 1963. 414 с.
4. Фаттахова Р.К. диссертация «Бесконтактные емкостные элементы систем управления» УГАТУ 2000. 230 с.
5. Полотовский Л.С. Емкостные машины постоянного тока высокого напряжения. – М.: Госэнергоиздат. – 1960. – 135 с.
6. Патент Японии № 135282, МКИ Н 02 Н 11/00. Электростатический силовой двигатель. – Мацусита Такахиса. – заявл. 25.06.84., опубл. 18.06.87.
7. Патент США № 4754185, МКИ 310/309. Электростатический микродвигатель. – заявл. 16.10.86., опубл. 28.06.88.

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛООВОГО АККУМУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ ФАЗОПЕРЕХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Щегольков А. В., Щегольков А. В.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

Тепловая энергия является одним из основных видов энергии, которая используется в химическом производстве [1,2]. Зачастую все химико-технологические процессы (ХТП) протекают при нагревании одних потоков вещества и охлаждении других. Поскольку в ХТП тепловая энергия имеет наибольшее значение, для них составляют тепловой баланс с учетом тепловых эффектов, химических реакций и физических превращений, протекающих в аппарате, а также с учетом подвода или отвода тепла [2]. В общем виде тепловой баланс выражают уравнением:

$$\sum Q_{\text{прих}} = \sum Q_{\text{расх}} \quad (1)$$

$\sum Q_{\text{прих}}$ – приход тепла в производственной операции, Дж;

$\sum Q_{\text{расх}}$ – расход тепла в той же операций, Дж.

В качестве источника тепла для реализации ХТП используется электроэнергия, а также различные виды теплоносителей: водяной пар, холодная и горячая вода, сжатый воздух, инертные газы и т. д. Помимо процессов, связанных с нагревом и охлаждением исходных веществ, участвующих в химических реакциях технологического оборудования, энергоносители используются для создания тепловых режимов в производственных помещениях. В целом химическое производство относится к ряду

наиболее энергозатратных отраслей промышленности, и поэтому существует необходимость в модернизации имеющегося на сегодняшний день оборудования. В этой связи, широкое внедрение энергосберегающих мероприятий, направленных в первую очередь на улучшение энергетических показателей химического производства, становится важнейшей задачей для оптимизации ХТП, т.е. задачей ресурсосбережения в технологическом оборудовании. Из уравнения (1) следует, что при уменьшении значения $Q_{расх.}$ соответственно изменится значение $Q_{прих.}$, таким образом в производственных операциях происходит уменьшение экономических затрат на энергоносители. Поэтому одним из способов снижения себестоимости выпускаемой продукции на химическом производстве, является внедрение тепловой аккумуляции в некоторые тепловые процессы химического оборудования. Накопление тепловой энергии обеспечивает значительную экономию расходуемого тепла на различные нужды и соответственно расходов теплоносителя.

Аккумуляция тепла происходит путем изменения физических параметров теплоаккумулирующего материала (ТАМ) и за счет использования энергии связи атомов и молекул [3]. Каждый аккумулятор должен запасать как можно больше энергии на единицу массы и сохранять эту энергию как можно дольше. Существует несколько способов аккумуляции теплоты: теплоемкостный, термохимический и фазопереходный. Для поглощения тепла, выделяющегося при повторно-кратковременных включениях мощных источников энергии в ряде случаев выгодно применять обратимые процессы, которые сопровождаются значительными эндотермическими эффектами при фазовых или химических превращениях теплоаккумулирующих веществ [4]. Поэтому наиболее эффективным для некоторых производственных операций в том числе и тепловых процессов химического оборудования является аккумуляция тепла за счет фазовых переходов ТАМ [5]. Под аккумуляцией на основе теплоты фазового перехода в большинстве случаев понимают аккумуляцию теплоты плавления. Часто как дополнение к теплоте фазового перехода используется теплота нагрева (внутренняя энергия) жидкости или твердой фазы. Это увеличивает емкость аккумулятора, но лишает возможности использования преимущества теплоснабжения при постоянной температуре. Механизм работы фазопереходного теплового аккумулятора (рис. 1) заключается в том, что

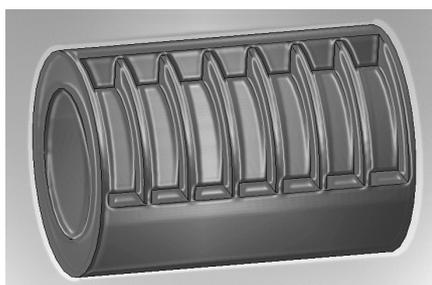


Рис. 1. 3d модель фазопереходного теплового аккумулятора

в ходе отвердевания или кристаллизации (кристаллогидраты солей) фазопереходных материалов (ФПМ) в жидком состоянии выделяется «скрытая» энергия, которая была затрачена при плавлении. В процессе остывания теплоаккумулирующего вещества, тепло постоянно отбирается пока вся масса вещества не затвердеет или не кристаллизуется. Известно, что при переходе вещества из твердого состояния в жидкое, несмотря на значительное поглощения тепла, температура этого вещества останется постоянной, пока не расплавится вся масса вещества [5,6]. В этом случае количество теплоты определяется выражением:

$$Q_a = m_T \int_{t_1}^{t_\phi} C_{тв}(t) dt + m_T r_T + m_T \int_{t_\phi}^{t_2} C_{ж}(t) dt, \quad [\text{Дж}] \quad (2)$$

где m_T – масса ФПМ, кг;

$C_{тв}(T)$ и $C_{ж}(T)$ – удельные массовые теплоемкости ФПМ в зависимости от его температуры соответственно в твердой и жидкой фазах, Дж/(кг·°C);

r_T – удельная теплота фазового перехода плавления-кристаллизации, Дж/(кг·°C);

t_1, t_2, t_ϕ – температуры ФПМ соответственно начальная, конечная и фазового перехода °C.

Температурные режимы работы теплообменных аппаратов (испарители, конденсаторы, дистилляторы, плавители, подогреватели и т.п.) различных химических технологий лежат в диапазоне $t \approx -200 \div 2000$ °C. Исходя из уравнения (2) можно выделить ФПМ с наиболее подходящим запасом тепловой энергии для данных теплообменных аппаратов.

Для создания фазопереходного теплового аккумулятора на основе различных ТАМ проведены ряд исследований, определены возможности многих веществ в качестве рабочего тела аккумулятора и выбраны наиболее перспективные из них. Так, в диапазоне температур плавления от комнатной до 100 °C наиболее подходящими являются парафины и воски, выше 100 °C до 200 °C некоторые кристаллогидраты солей, а в диапазоне 600 – 800 °C – гидрид лития и фторид лития; при температурах выше 1000 °C – окислы бериллия, магния, алюминия, кремния, их соединения и эвтектические составы, а также силициды и бориды некоторых металлов [6]. Как показывает практика и обзор научно-технической литературы наибольшее применение в качестве ФПМ для низкотемпературных процессов получили кристаллогидраты солей и различные парафины. Применение ФПМ разного назначения связано с определенным температурным диапазоном работы теплообменных аппаратов. По интервалу рабочих температур их можно разделить на 4 группы (табл. 1) [3,5].

Таблица 1. Температурный диапазон ФПМ

Класс ФПМ	Для производст ва холода, °C	Низкотемпера- турные, °C	Среднетемпера- турные, °C	Высокотемпера- турные, °C
Фазопе- реходный материал	Кристалло- гидраты солей	Кристалло- гидраты солей, парафины, воски, жидкости	Жидкости, расплавы металлов	Гидрид и фторид лития
Область рабочих температур, °C	$t < 20$	$20 \leq t \leq 200$	$200 \leq t < 500$	$500 < t$

Исходя из условий работы фазопереходного теплового аккумулятора в реальном тепловом процессе можно представить расчетную схему (рис. 2) и с помощью неё смоделировать процесс распределения тепловой энергии.

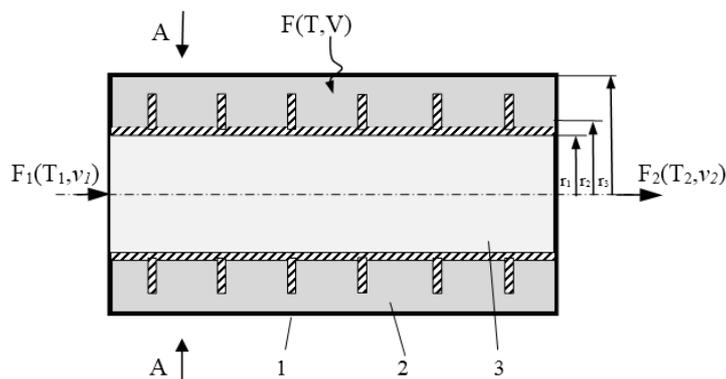


Рис. 2. Расчетная схема фазопереходного теплового аккумулятора:
 1–теплоизоляционное покрытие, 2– ФПМ, 3–теплоноситель; T, T_1, T_2 – температура ФПМ и теплоносителя соответственно, °С; v_1, v_2 – расход теплоносителя, м³/ч; V – объем ФПМ, м³

Режимы накопления (заряда) и снятия (разряда) тепловой энергии осуществляется с помощью теплообменных устройств (рис. 2). Теплообменные устройства размещаются в объеме ТАМ и с их помощью организуются передача теплоты рабочей системе, на которые проектируется тепловой аккумулятор

Для тепловой системы с тепловым аккумулятором уравнение (1) примет вид:

$$Q_c = Q_{ит} - Q_{та} - Q_{п} , \quad (3)$$

Q_c – количество теплоты отданное системе, Дж;

$Q_{ит}$ – количество теплоты источника тепловой энергии, Дж;

$Q_{та}$ – количество теплоты теплового аккумулятора, Дж;

$Q_{п}$ – тепловые потери, Дж.

Тогда исходя из выражения (3) дифференциальное уравнение теплового баланса можно представить в следующем виде:

$$\frac{d(V, C_{та}, T_{та})}{d\tau} = v_1 C_1 T_1 - v_2 C_2 T_2 - KF(T_{та} - T_o), \quad (4)$$

где $T_{та}, T_o$, – температура теплового аккумулятора, температура окружающей среды °С;

$C_1, C_2, C_{та}$ – теплоемкости теплоносителя и теплового аккумулятора, Дж/(кг·°С);

v_1, v_2 – расход теплоносителя, м³/ч;

K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²· °С);

F – площадь поверхности теплообмена, м²;

V – объем теплового аккумулятора, м³.

Аналитическое решение дифференциального уравнения (4) позволяет определить режимно-конструктивные режимы теплового аккумулятора в составе ХТП. Однако, в ряде случаев необходимо дополнительно решить задачу Стефана, решение которой позволит исследовать поведение материала с фазовым переходом в режимах накопления и отдачи тепловой энергии.

Таким образом, учитывая все особенности работы теплообменного оборудования, в котором имеется тепловой аккумулятор, можно сделать вывод, что применение теплового аккумулирования в ряде технологических процессов позволяет с одной стороны экономить энергетические ресурсы, а с другой стороны реализовать новые более эффективные технологические режимы и тем самым повысить эффективность различных типов ХТП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цветков Ф.Ф. Тепломассообмен. – М.: МЭИ, 2006. – 550 с.
2. Леонтьева А.И., Брянкин К.В. Общая химическая технологии. Часть 1. ТГТУ, 2004. – 108 с.
3. Бекман Г., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии. – М.: Мир, 1987. – 272 с.
4. Алексеев В.А., Малозёмов В.В. Проектирование тепловых аккумуляторов. – М.: МАИ, 2008. – 86 с.
5. Мозговой А.Г., Шпильрайн Э.Э., Дибиров М.А., Бочков М.М., Левина Л.Н., Кенисарин М.М. Теплофизические свойства теплоаккумулирующих материалов. Кристаллогидраты: Обзоры по теплофизическим свойствам веществ. – М.: ИВТАН, 1990, №2 – 105 с.
6. Гулиа Н.В. Накопители энергии. – М.: Наука, 1980. – 152 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПОВЫШЕННЫМ ПУСКОВЫМ МОМЕНТОМ

Бурцев Л. Ю., Серов А. Б., Асатурян Д. Э.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение. Стабильная и безопасная работа однофазных асинхронных электродвигателей во многом определяется значением кратности пускового момента, к величине которого предъявляется повышенное внимание при работе с рядом нагрузок. Повышение пускового момента однофазного асинхронного электродвигателя является актуальной задачей для предприятий, занимающихся проектированием и производством данных двигателей. В настоящей работе объектом исследований стал однофазный асинхронный двигатель с рабочей и пусковой обмотками, используемый в шлифовальных машинах настольного исполнения (электроточило «Томск-УХЛ 4», потребляемая мощность $P = 460 \text{ В} \cdot \text{А}$, напряжение питания $U = 220 \text{ В}$, номинальная частота вращения $n = 2700 \text{ мин}^{-1}$).

Исследования однофазного асинхронного электродвигателя с модифицированной конструкцией статора проводились путем моделирования в программной среде ANSYS Software. Расчёт момента вращения в программе ANSYS Maxwell 2D осуществлялся путем дифференцирования величины энергии магнитного поля в воздушном зазоре машины по углу поворота ротора. Модель в среде Maxwell является динамической и представлена системой интегро-дифференциальных уравнений, которые, в свою очередь показывают изменение состояния электромеханического объекта во времени при наличии управляющих воздействий.

Задача повышения пускового момента однофазного асинхронного электродвигателя насчитывает различные технические решения. Одно из таких решений предложено коллективом авторов Томского политехнического университета [1]. Основная суть предложенного решения заключается в расположении в зонах магнитных осей пусковой обмотки немагнитных сквозных зазоров, что позволяет снизить индуктивность ротора до двух раз по сравнению с обычной конструкцией статора. В результате снижения индуктивности обмотки ротора удастся достичь снижения величины индуктивного сопротивления фазы ротора, и, соответственно, повышения пускового момента.

Целью проведенных исследований являлся анализ механических характеристик нескольких вариантов исполнения однофазного асинхронного электродвигателя при равных условиях испытаний:

1 вариант. Электродвигатель с традиционной конструкцией статора серийного производства (прототип).

2 вариант. Электродвигатель модернизированной конструкции, изготовленный в соответствии с предложенным техническим решением и отличающийся от прототипа наличием немагнитного зазора в статоре электродвигателя в области пазов пусковой обмотки (рис.1).

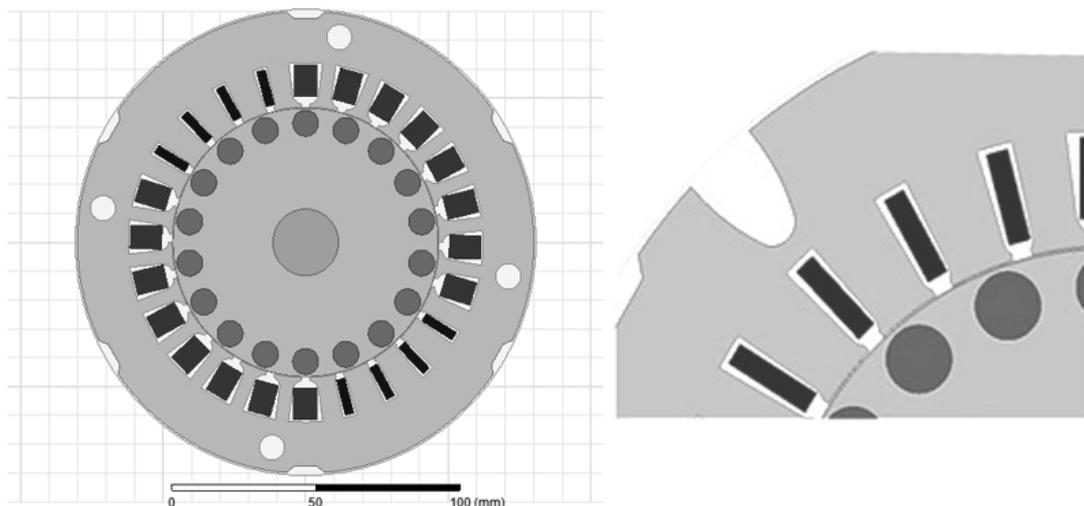


Рис. 1. Модели прототипа асинхронного однофазного электродвигателя УХЛ-4 (слева) и модификации с модернизированной конструкцией статора (справа), представленные в программной среде Ansys Maxwell 2D

Результаты моделирования предложенных конструкций представлены в таблице 1. Стоит отметить, что механическая характеристика прототипа (рис.2) с учетом момента инерции вращающихся масс (ротор и шлифовальные круги) в значительной степени совпадает с экспериментальными данными, полученными в результате натурных испытаний прототипа на динамометрическом стенде, что свидетельствует об адекватности рассматриваемой модели электродвигателя. Последнее в свою очередь позволяет осуществлять сравнительный анализ математических моделей модификаций и прототипа.

Таблица 1. Результаты моделирования прототипа и конструкции с модифицированным статором

Конструкция электродвигателя	Номинальная скорость вращения	Время разгона	Средний пусковой момент	Увеличение момента	Уменьшение времени пуска
Прототип	2700 об/мин	1.83 с	0.86 Н·м	+0%	-0%
Конструкция с немагнитным вырезом	2700 об/мин	1.25 с	1.26 Н·м	+46.5%	-31.6%

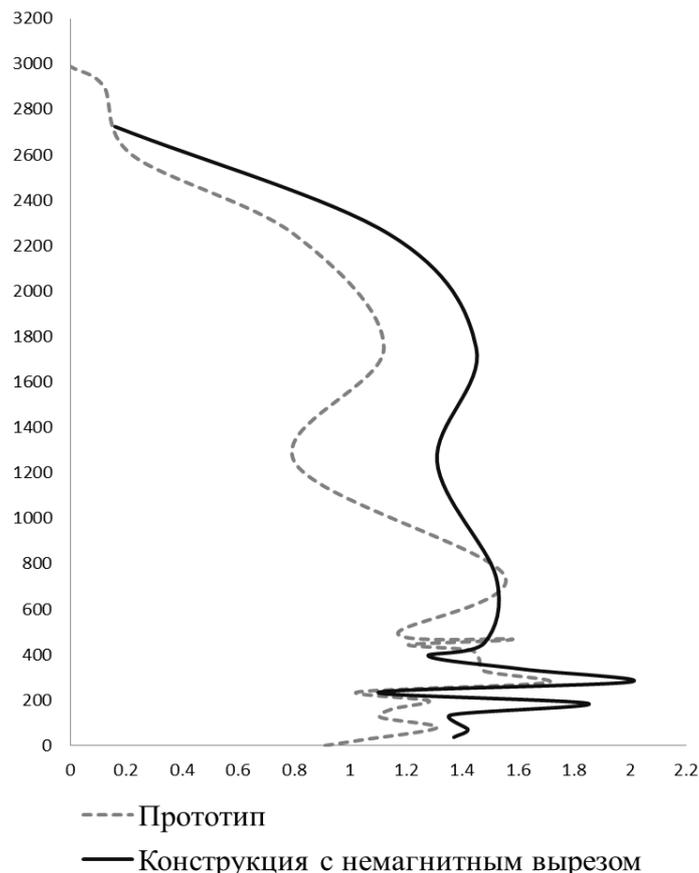


Рис. 2. Механическая характеристика для прототипа и для конструкции с немагнитным вырезом

Заключение. Основные результаты сводятся к следующему: было выполнено исследование влияния сквозного немагнитного зазора в области пазов пускового обмотки статора однофазного двухполюсного асинхронного электродвигателя. Проведено моделирование работы двигателя прототипа и модифицированной конструкции. Моделирование магнитного состояния двигателя выполнялось через конечно – элементный комплекс ANSYS Maxwell 2D . Через анализ результатов моделирования было установлено увеличение пускового момента однофазного двигателя с модернизированной конструкцией на 46.5% по сравнению с прототипом, а также уменьшение времени пуска на 31.6%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2 5101 20 РФ, МПК Н 02К 17/08. Однофазный электродвигатель / С.И. Качин, О.С. Качин (РФ). - №2 012 139 937/07; заявл. 18.09.12; опубл. 20.03.14. Бюл. № 8. – 8с.
2. ANSYS, Inc.: современные методы моделирования электромагнитного поля [электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cae-expert.ru/sites/default/files/sovremennye_metody_modelirovaniya_elektromagnitnogo_pola.pdf
3. Специальные электрические машины: источники и преобразователи энергии: учебное пособие для вузов / А.И. Бертинов, Д.А. Бут, С.Р. Мизюрин и др.; под ред. А.И. Бертинова. М.: Энергоиздат, 1982. - 552 с.

ФАЗАСДВИГАЮЩИЙ ШИМ-КОНТРОЛЛЕР ДЛЯ АКТИВНО ИНДУКТИВНОЙ НАГРУЗКИ

Кульченко С. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Энергосбережение (рационализация производства, распределения и использования всех видов энергии) стало в последние годы одним из приоритетных направлений технической политики во всех развитых странах мира. Энергосбережение в любой сфере сводится к снижению бесполезных потерь. Анализ структуры потерь в сфере производства, распределения и потребления электроэнергии показывает, что основная составляющая потерь (до 90 %) приходится на сферу потребления.

В течение длительного отрезка времени в России и странах СНГ отпускная цена на энергоносители была значительно ниже фактической стоимости, что не стимулировало оптимизацию энергопотребления и внедрения энергосберегающих технологий. По оценкам специалистов, среднее энергопотребление на единицу валового национального продукта в России в 2-3 раза превышает соответствующие показатели передовых стран мира. Опережающий рост стоимости энергоносителей привел к тому, что энергетическая составляющая в себестоимости готовой продукции на предприятиях достигает 20-60 %. Поэтому чрезвычайную актуальность приобретает разработка комплекса технических и организационных мероприятий, направленных на оптимальное использование энергетических ресурсов. Для решения этих задач принят Федеральный закон «Об энергосбережении» от 3 апреля 1996 г. Закон регулирует отношения, возникающие в процессе деятельности в области энергосбережения, в целях создания экономических и организационных условий для эффективного использования энергетических ресурсов [1].

Так же преследуется цель автоматизации в управлении преобразовательной техники, что так же позволяет рационально использовать электроэнергию

Из спектра различных решений, применяемых для энергосбережения и автоматизации, одно из наиболее эффективных и быстро окупаемых, требующих относительно небольших капиталовложений – внедрение высокотехнологичной и наукоемкой энергосберегающей техники – контроллеров с широтно-импульсной модуляцией, позволяющих оптимизировать режимы работы в широком диапазоне изменения нагрузок и включающих себя схем защиты.

Одним из подходов, позволяющих уменьшить потери на нагрев силовых элементов схем, является применение переключательных режимов работы. При таких режимах силовой элемент либо открыт, тогда на нем практически нулевое падение напряжения, либо закрыт, тогда через него идет нулевой ток [5].

Чтобы получить на выходе сигнал нужной формы, силовой ключ открывается на определенное время, пропорциональное нужному выходному напряжению. Это и есть широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Далее такой сигнал, состоящий из импульсов разной ширины, поступает в фильтр, состоящий из дросселя и конденсатора. На выходе фильтра получается практически идеальный сигнал нужной формы [1].

Для управления преобразователями используются специализированные микросхемы – ШИМ-контроллеры, в состав которых, как правило, входят генератор тактовой частоты, источник опорного напряжения, усилитель ошибки. В последнее время наметилась тенденция включать в состав таких микросхем также различные дополнительные функциональные узлы, улучшающие их потребительские свойства и уменьшающие число компонентов "обвязки" - например цепи плавного пуска.

Но в настоящее время, все еще актуальным остается применения более дешевых

микросхем ШИМ-контроллеров в сочетании с MOSFET-транзистором (в качестве силового ключа). Кроме выигрыша в стоимости, это решение позволяет достичь большей гибкости за счет возможности выбора частоты преобразования, применения различных способов защиты и сервисных функций и т.д. [2].

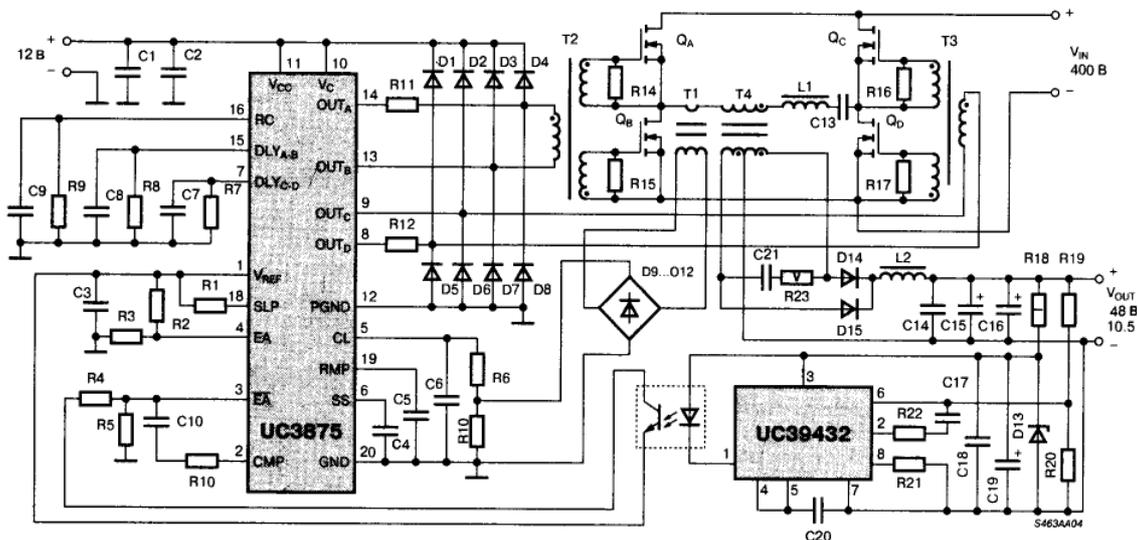


Рис. 1. Схема фазосдвигающего ШИМ-контроллера 500Вт на микросхеме UC3875

Семейство микросхем, объединенных под названием UC3875 осуществляющих управление мощным мостовым каскадом с помощью сдвига по фазе момента переключения одной половины моста относительно другой. Используется ШИМ совместно с резонансными методами и переключением при нулевом напряжении для повышения эффективности ИВП на высоких частотах. Микросхемы этого семейства применяются в схемах управления ИВП с обратной связью, как по напряжению, так и по току и имеют встроенную схему токовой защиты [3].

Обеспечивается программируемая временная задержка, чтобы вставить «запрещенное время» при включении каждого выходного каскада. Эта задержка обеспечивает время для работы в резонансном режиме и является независимо управляемой для каждой пары выходом.

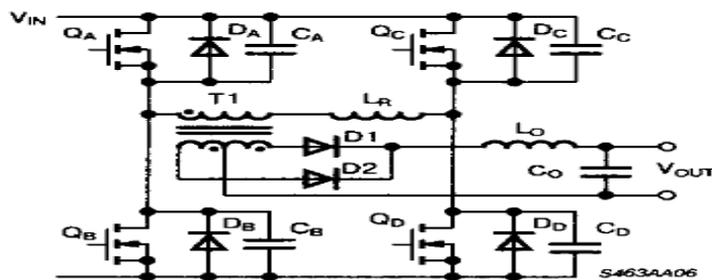


Рис. 2. Схема ключей фазосдвигающего инвертора

Расположенные по диагонали мостовой схемы ключи возбуждаются вместе в полномостовом инверторе и поочередно подключают первичную обмотку трансформатора к входному напряжению питания в течение некоторого периода времени, как показано на Рис.3.

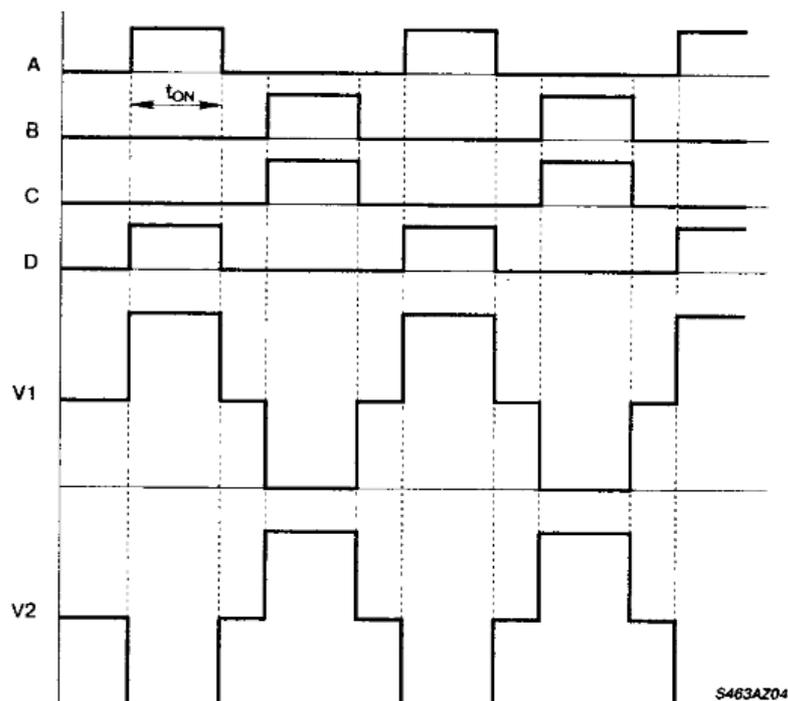


Рис. 3. Формы ШИМ-сигналов в схеме полного моста

До появления сигнала возбуждения диагональных ключей полномостовой схемы вводится преднамеренная задержка, чтобы можно было выдать сигнал возбуждения диагональных ключей со сдвигом фазы. Эта задержка определяется напряжением петли обратной связи схемы управления и, по существу, является сдвигом фазы между двумя выходными сигналами формирователей одного плеча моста. Эффективное управление рабочим циклом производится изменением сдвига фаз между сигналами возбуждения ключей как показано на Рис. 4.

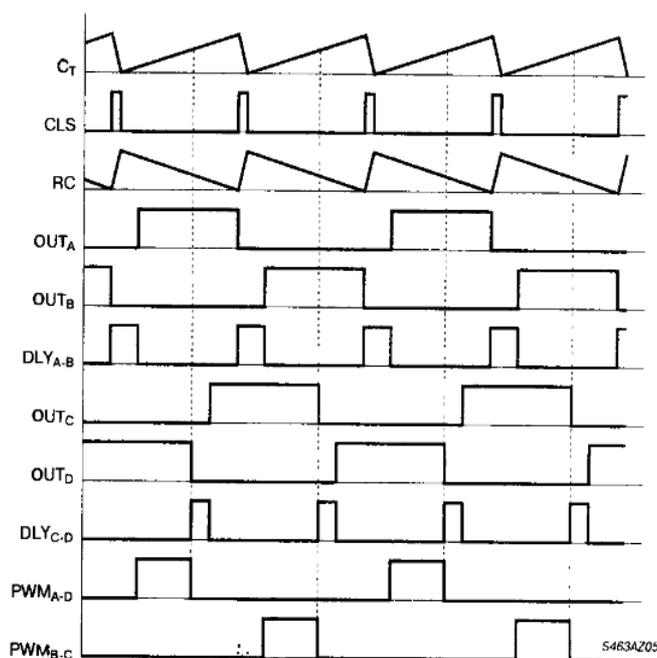


Рис. 4. Формы сигналов в схеме фазосдвигающего ШИМ-контроллера

Уникальным в фазосдвигающей технологии является то, что оба ключа, соединенных последовательно с трансформатором, могут быть открыты, а напряжение, приложенное к трансформатору, равно нулю. Это возможно потому, что эти ключи не являются диагональными ключами полномостовой схемы, а представляют из себя или два верхних, или два нижних ключа. В этом режиме первичная обмотка трансформатора по существу закорочена и имеет потенциал соответствующей шины входного напряжения [4].

Ключи в фазосдвигающем полномостовом инверторе используются по-другому, чем такие же ключи в нерезонансных схемах. Основным в этой схемотехнике является использование паразитных элементов конструкции MOSFET-ключей. Внутренний паразитный диод подложки и выходная емкость каждого ключа (совместно с током первичной обмотки) являются основными компонентами, используемыми для порождения и коммутации резонансных процессов [4].

Вероятно, наиболее критический аспект управления в фазосдвигающей ШИМ-технике – неспособность охватить полный диапазон сдвига фаз от 0° до 180° . Невозможность охвата этого диапазона может вызывать ненужные трудности в схеме защиты или ключах. Потеря управления в любой ситуации кончится катастрофическими последствиями в виде одновременного открывания обоих транзисторов в одном плече инвертора.

Микросхема фазосдвигающего обладает необходимыми свойствами, чтобы обеспечить без особых усилий переключение при нулевом напряжении, и эффективный полный рабочий цикл. Дополнительно микросхема контроллера используется, чтобы обеспечить необходимые функции управления, декодирования, защиты и формирования для данного применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Браун М. Источники питания. / М. Браун. Пер. с англ. – К.: МК – Пресс, 2007. – 256 с.
2. Ирвинг М. Готтлиб Источники питания. Инверторы. Пер. с англ. А.Л. Ларина. Постмаркет, 2000. 470 с.
3. Семейство фазосдвигающих инверторов. Unitrode Products from Texas Instruments [Электронный ресурс]-режим доступа <http://www.unitrode.com/products/products.htm> , свободный, дата обращения 25.09.2015.
4. Семенов Б. Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов / Б.Ю. Семенов. – М.: Солон-Р, 2001. – 327 с.
5. Преобразователь на основе ШИМ модулятора. [Электронный ресурс] – режим доступа, <http://berdnikov.org/papers/08071501.html> свободный, дата обращения 25.09.2015.
6. ШИМ-контроллеры. [Электронный ресурс] – режим доступа, <http://gyrator.ru/pwm-controller> свободный, дата обращения 25.09.2015.

ОЦЕНКА НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ ВОЗДУШНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ РАСХОДА ВОЗДУХА

Морозова М. П., Гречная Т. В., Сарока В. В.

Белорусский государственный технологический университет, Республика Беларусь,
г. Минск

Наличие автоматизации технологических процессов стало обязательным условием в современных экономических условиях. Период экстенсивного пути повышения уровня автоматизации за счет установки измерительных приборов с необходимой точностью и настройкой локальных контуров практически завершился. В настоящее время уже недостаточно просто настроить пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор. Получение конкурентных преимуществ требует применения более сложных алгоритмов, адаптации локальных контуров под действием изменяющихся контуров и оптимизации в реальном времени. В англоязычной литературе возник специальный термин: усовершенствованное управление Advanced Process Control (APC) [1, 2].

Из теории управления известно, что настройки системы для оптимального переходного процесса по возмущению и сигналу задания имеют отличия. Однако по причине сложности предугадывания ситуаций на объекте управления наладчики оборудования устанавливают единые настройки. На объектах, в которых наблюдаются взаимовлияния отдельных контуров регулирования, настройки регулятора выбираются с еще большим запасом по устойчивости для обеспечения робастности работы контуров.

С целью выявления свойств объектов был проведен ряд экспериментов, базой для которых служил контроллер VIPA 200. Он относится к серии средних ПЛК и может реализовать алгоритмы ПИД-регулирования и цифровой фильтрации. По производительности, объему памяти и функциональности эти контроллеры стоят в одном ряду с такими системами как Simatic S7-300, Modicon TSX Micro, OMRON CJ1, MELSEC AnAS. Время выполнения операции с битами – 0,25 мкс, со словами – 1,2 мкс. Объем памяти: 48 kB work memory, 80 kB load memory [3].

Контроллер подключен к оборудованию с тепловыми нагревателями, которые обдувались потоком воздуха. Скорость потока регулировалась путем изменения частоты вращения двигателя вентилятора. В качестве информативных параметров использовались температуры воздуха на входе и на выходе, информация о частоте с привода напрямую и через вторичный преобразователь. Каждый из этих информационных каналов обладает своей особенностью, связанной с источником сигнала и способом попадания во входной регистр контроллера в виде цифровых данных.

Управление и фиксация данных осуществлялись с помощью MatLab по структуре обмена данных, приведенной рисунке 2. Опрос данных происходил с частотой 0,1 с.

Контур регулирования $f - \theta_{out}$ характеризуется существенной нелинейностью (рис. 1), которая может меняться под воздействием входной температуры.

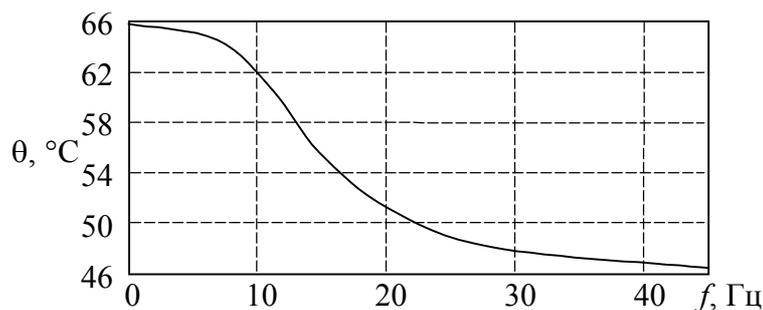


Рис. 1. Статическая характеристика объекта

Вид переходного процесса показал, что несмотря на наличие сложного процесса теплообмена, признаков запаздывания как транспортного, так и апериодического, не наблюдается (рис. 2-4). Это говорит об отсутствии влияния распределенности на динамические свойства объекта. На всем диапазоне исследований переходные процессы описывались апериодическим звеном второго порядка (табл.).

$$W = \frac{k}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$$

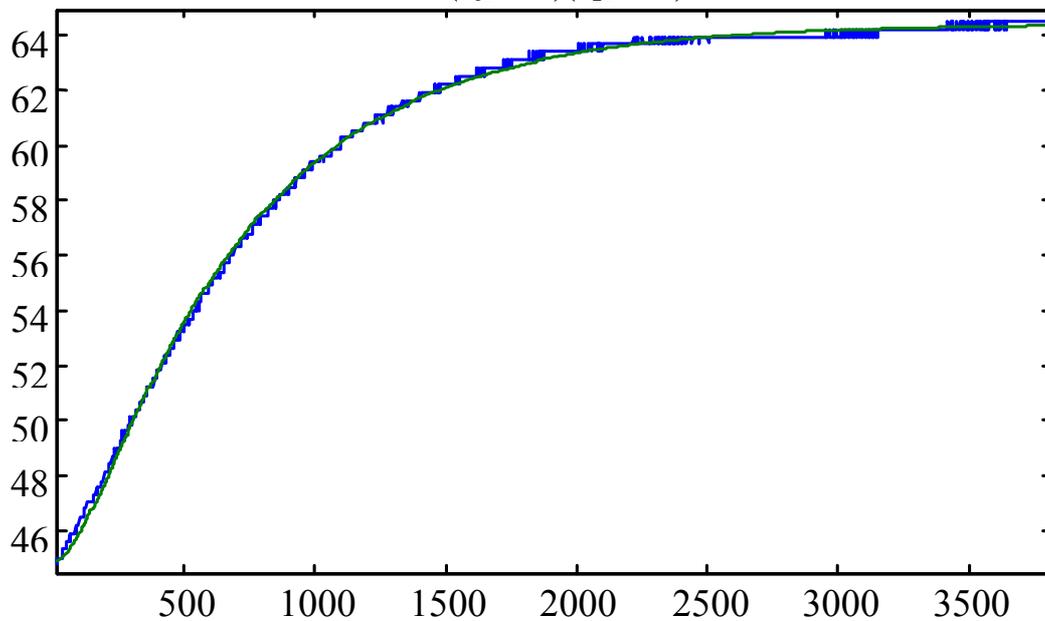


Рис. 2. Динамика выходной температуры при снижении частоты и его аппроксимация

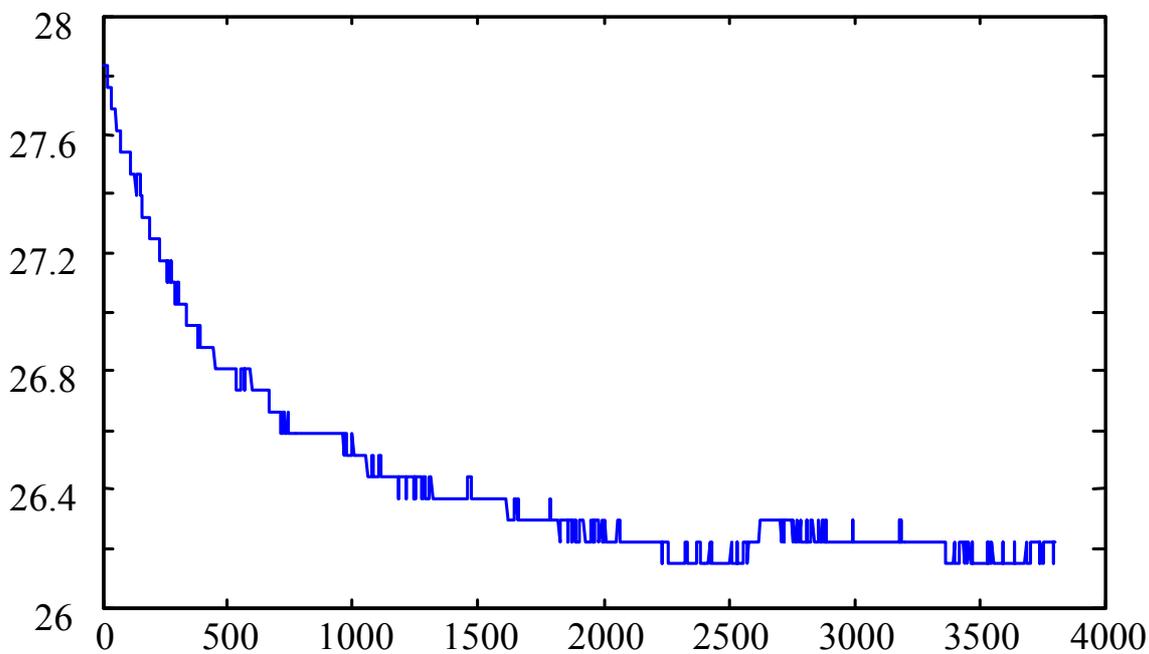


Рис. 3. Динамика входной температуры при снижении 25.3 – 5.42 частоты и его аппроксимация

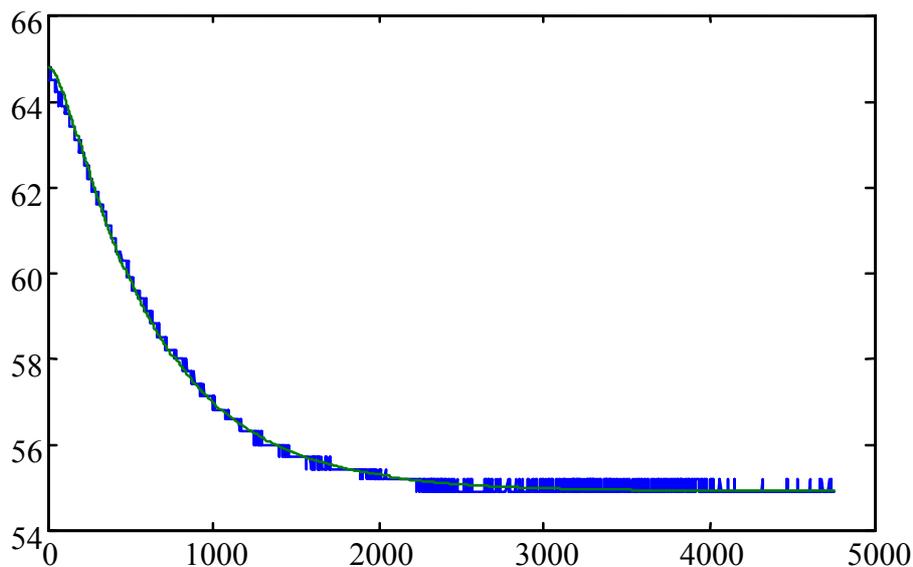


Рис. 4. Динамика выходной температуры при повышении частоты и его аппроксимация

Таблица 1. Результаты всех экспериментов

№	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$k, ^\circ\text{C}/\text{Гц}$	Диапазон изменения входного воздействия
1.	651,2	110,2	-0,9829	с 5,42 до 25,3 Гц
2.	583,2	82	-0,7811	с 25,3 до 12,7 Гц
3.	336,1	118,9	-0,6663	с 12,7 до 25,3 Гц
4.	533,5	336,1	-0,7487	с 25,3 до 12,7 Гц
5.	363,1	85	-0,5117	с 12,7 до 36,2 Гц
6.	613,5	162,7	-0,6877	с 36,2 до 12,7 Гц

* – большая постоянная времени аппроксимации; ** – меньшая постоянная времени аппроксимации; *** – размерный коэффициент передачи.

Входная температура (рис. 3) подвержена влиянию гидродинамики воздушного потока (возможно и температуры двигателя).

Результаты показывают, что при стабилизации температуры воздуха путем изменения скорости движения воздуха около нагревателя приходится иметь дело с объектом с существенным колебанием свойств и нелинейностями. Объект имеет существенную гистерезисную характеристику как по коэффициенту передачи, так и по постоянным времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Emerson Process Management [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www2.emersonprocess.com/en-us/brands/deltav/advanced/pages/index.aspx> – Дата доступа: 4.02.2013.
2. Журнал Control Engineering Россия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://controlengrussia.com/proekty-i-vnedrenija/metody-usovershenstvovannogo-upravlenija-processami/> – Дата доступа: 4.02.2013.
3. VIPA GmbH [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vipa.co.uk/products/system-200v/cpus/>
4. Олсон, Г. Цифровые системы автоматизации и управления / Г. Олсон, Д. Пиани. СПб: Невский диалект, 2001. – 557 с.

МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫЙ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

Брусов А. В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Многодвигательный электропривод – электропривод, содержащий несколько электродвигателей, механическая связь между которыми осуществляется через исполнительный орган рабочей машины [1].

Два одинаковых или разных двигателя могут работать с одной нагрузкой. Такой многодвигательный электропривод способен помочь в решении некоторых технических проблем. Он имеет достаточно преимуществ и, как правило, используется для:

- повышение надежности электропривода;
- повышение энергоэффективности при работе с малыми нагрузками;
- уменьшение крутящего момента маховика;
- более удобное расположение рабочих механизмов.

Недостатками многодвигательного электропривода являются:

- сложность электрической схемы электродвигателей, либо для их последовательного и параллельного подключения к электросети;
- возможность неравномерного распределения нагрузок между двумя двигателями.

Причиной неравномерного распределения нагрузки заключается в различиях в параметрах двигателей, имеющих одинаковые паспортные данные. В процессе производства электродвигателей существует вероятность изменения технологических параметров. Это изменение приводит к различным сопротивлениям обмоток, т. е. магнитный поток различен. Каких-либо нестыковок в параметрах двух двигателей приводит к изменению жесткости механической характеристики и, как следствие, неравномерное распределение нагрузки.

Таким образом, при использовании двух двигателей электроприводе необходимо определить неравномерное распределение нагрузки и принять меры для устранения негативных последствий этого явления (например, перегрев одной из машин).

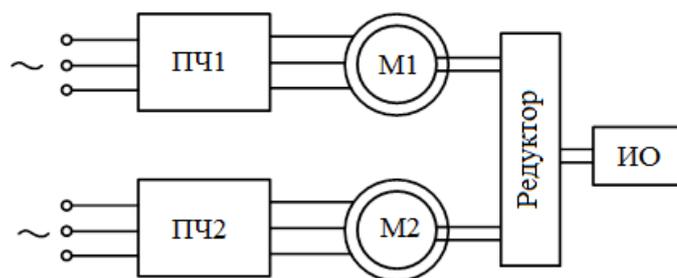


Рис. 1. Структурная схема двухдвигательного частотно-регулируемого электропривода
Элементы схемы: ПЧ1, ПЧ2 – преобразователи частоты; М1, М2 – электродвигатели;
ИО – исполнительный орган.

В настоящее время внимание разработчиков технологического оборудования акцентируется на использовании для управления исполнительными устройствами технологических процессов многодвигательных электроприводов.

Это связано с тем, что при использовании многодвигательного электропривода:

- уменьшается суммарная масса исполнительной части комплекса (двигатель – передаточный механизм), где на подвижных частях технологических устройств;

- уменьшаются динамические нагрузки на механические системы – мультипликаторы момента и зубчатые венцы технологических машин;
- снижается мощность применяемых электродвигателей.

Поэтому при проектировании и изготовлении технологической машины появляется возможность применить исполнительные устройства с меньшей массой, жесткостью и развиваемым моментом, уменьшаются собственные моменты трения и инерции установки. Все это снижает габариты технологического устройства, его стоимость, повышает надежность работы оборудования [2].

Вместе с тем, наряду с положительными факторами при использовании многодвигательных электроприводных систем остро встает проблема обеспечения совместной работы электродвигателей при равномерной их нагрузке в составе многодвигательного электропривода.

В многодвигательном электроприводе обычно используются электродвигатели одного типа. Реальные значения параметров электродвигателей: моменты и скорости при одинаковых параметрах управляющих сигналов различаются между собой, и, следовательно, будут различаться их механические характеристики. Так как электродвигатели работают на один исполнительный (технологический) механизм, возможно создание таких условий, при которых один электродвигатель будет брать на себя часть нагрузки других электродвигателей при одинаковой номинальной скорости. При достаточно больших различиях в характеристиках ведомый электродвигатель переходит в генераторный режим и полностью отдает свою нагрузку ведущему электродвигателю. Учитывая, что электропривод содержит упругие звенья, колебательность системы в данном случае может достигнуть достаточно больших значений.

Работа многодвигательного частотно-регулируемого электропривода происходит следующим образом. Многодвигательный электропривод имеет в своем составе n локальных электроприводов, построенных на базе частотно-регулируемых асинхронных электродвигателей. Каждый асинхронный электродвигатель установлен в передаточном механизме, являющемся мультипликатором момента. Локальные электроприводы работают на общую нагрузку – один технологический механизм H со скоростями $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$. Нагрузка в свою очередь воздействует на локальные электроприводы моментами M_n .

Каждый локальный электропривод имеет в своем составе замкнутый контур регулирования момента, датчики обратной связи на базе импульсных датчиков угловых перемещений с блоком обработки импульсных сигналов и выработкой сигналов, пропорциональных скорости вращения и углу перемещения вала исполнительного электродвигателя локального электропривода.

Обратная связь контура регулирования скорости многодвигательного электропривода вычисляется по сигналам скорости с импульсного датчика каждого асинхронного электродвигателя в осреднителе, где сигналы импульсных датчиков вначале суммируются в сумматоре, затем поступают на блок деления. После деления на делитель, равный числу локальных электроприводов, вычисленный сигнал обратной связи многодвигательного электропривода поступает на один из входов регулятора скорости вращения многодвигательного электропривода. На другой вход регулятора скорости вращения поступает сигнал с задатчика текущей угловой скорости многодвигательного электропривода. После сравнения сигналов и соответствующей динамической коррекции разностный сигнал с выхода регулятора скорости вращения, являющийся заданием момента M_3 , поступает одновременно на первые входы всех блоков векторного управления моментом соответствующего электродвигателя локальных электроприводов, на вторые входы которых поступает сигнал обратной

связи по углу со второго выхода соответствующих импульсных датчиков перемещений вала асинхронного электродвигателя. В блоке векторного управления моментом по сигналу, пропорциональному угловому перемещению вала асинхронного электродвигателя, с импульсного датчика перемещений и по параметрам электродвигателя, замеренным датчиками момента, происходит вычисление сигнала обратной связи по моменту [1].

Известна двухдвигательная приводная электромеханическая система, состоящая из двух электроприводов, каждый из которых включает в себя последовательно соединенные регулятор скорости, замкнутый контур тока, электродвигатель. Эти электроприводы работают на общую нагрузку H со скоростями ω_1, ω_2 соответственно. Нагрузка H , в свою очередь, воздействует на электроприводы моментами M_n посредством суммирования с обратным знаком сигнала, пропорционального моменту нагрузки, с сигналом, пропорциональным развиваемому электроприводом моменту с выхода замкнутого контура тока на блоке суммирования. По обратной связи каждого электропривода приходит сигнал U_{oc} . Для того чтобы синхронизировать скорость вращения электродвигателей, задание на скорость ведущего электропривода подается пропорционально разности скоростей электродвигателей - ведущего и ведомого, получаемое в соответствии с выражением (1) на блоке суммирования:

$$U_{эс2} = U_{эс1} - U_{др} \quad (1)$$

где: $U_{эс2}$ – скорректированное задание на скорость;

$U_{эс1}$ – нескорректированное задание на скорость;

$U_{др}$ – сигнал коррекции с датчика рассинхронизации.

Этот двухдвигательный электропривод имеет систему управления скоростью каждого электродвигателя и соответствующие датчики выходной координаты (скорости) каждого электродвигателя. Данная приводная система позволяет синхронизировать скорость вращения исполнительных электродвигателей. В связи с тем, что электродвигатели в двухдвигательном приводе используются одного типа, соответственно, система управления для электродвигателей выбирается одинаковой. Учитывая, что реальные значения параметров автоматизированных электроприводов, входящих в состав двухдвигательного электропривода, часто различаются между собой, различаются и их механические характеристики, что при одинаковых параметрах электродвигателей не обеспечивает одинаковость развиваемых электродвигателями моментов. Последнее обстоятельство может вызвать механические колебания в технологическом механизме и значительные перегрузки электродвигателей по току, в системе возникают дополнительные динамические нагрузки, приводящие к механическому резонансу элементов конструкции электродвигателей и технологической машины, что резко сокращает срок службы электропривода и технологической машины.

Известна также двухдвигательная приводная система, содержащая два электропривода и общий для каждого электропривода задатчик текущей скорости, а выход каждого электропривода подключен к общей нагрузке H . В состав каждого электропривода входят регулятор скорости, замкнутый контур тока, электродвигатель [3]. Для синхронизации скоростей электродвигателей в первый электропривод введены дополнительный сигнал синхронизации $K_{синх}$, умножитель и блок суммирования, во второй электропривод - блок суммирования, а в двухдвигательный электропривод - блок суммирования и интегратор. При этом выход задатчика скорости подключен к первому входу регулятора скорости каждого электропривода, на второй вход которого подается сигнал обратной связи по скорости с выхода электродвигателя. Выход регулятора скорости первого электропривода

присоединен к первому входу умножителя, второй вход которого подключен к задатчику сигнала синхронизации. Выход умножителя соединен с последовательно соединенными замкнутым контуром тока, первым входом сумматора и электродвигателем. Выход регулятора скорости второго электропривода подключен к последовательно соединенным замкнутому контуру тока, первому входу сумматора и электродвигателю. Сигнал с выхода электродвигателя первого электропривода суммируется с обратным знаком с сигналом с выхода электродвигателя второго электропривода на сумматоре двухдвигательного электропривода, выходом подключенного ко входу интегратора, выход которого подключен ко второму входу сумматора первого и второго электроприводов. В известном двухдвигательном приводе задача синхронизации скоростей электродвигателей решается обеспечением одинаковости характеристик входящих в двухдвигательный электропривод исполнительных (приводных) электродвигателей за счет выравнивания токов якорных цепей электродвигателей при одинаковой скорости вращения электродвигателей. Одинаковость токов обеспечивается системой подчиненного регулирования, и, чтобы не перегружать электродвигатель с меньшим током, снижается задание на ток двигателя с большим током в I_1/I_2 раз или, что то же самое, в R_1/R_2 раз (I_1, I_2, R_1, R_2 – соответственно токи и сопротивление якорной цепи первого и второго электродвигателя).

В данной двухдвигательной приводной системе электроприводы имеют общее задание на скорость и индивидуальные сигналы обратных связей. Синхронизирующий вал реализован интегральным звеном с жесткостью «С». На это звено приходит сигнал разности скоростей электродвигателей. Выходной сигнал интегрального звена заводится в систему регулирования каждого электродвигателя в значении момента. Данный способ синхронизации значительно увеличивает декремент затухания колебаний относительно рассинхронизации. Однако указанная двухдвигательная приводная система имеет следующие недостатки:

а) система обеспечивает одинаковость характеристик по току и требует дополнительной синхронизации входящих в двухдвигательную приводную систему электроприводов по скорости для исключения вышеуказанных колебательных процессов. Согласование электродвигателей по скорости решается за счет введения дополнительного сигнала со значениями $K = R_1/R_2$;

б) необходимость дополнительного фиксированного сигнала синхронизации, вводимого перед контуром тока, зависящего от значений сопротивлений якорной цепи электродвигателя и, соответственно, от температуры двигателей и окружающей среды. Причем сигнал синхронизации должен подаваться в ведущий электропривод, а электроприводы в практических применениях меняют свое назначение;

в) метод применим только для двухдвигательной приводной системы и не может быть использован для многодвигательного электропривода с тремя и более электродвигателями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев А.М., Орлова Р.Т., Пальцев А.В. Следящие электроприводы станков с ЧПУ. М.: Энергоатомиздат. – 1988. 223 с.
2. Павлов В.В. Управляющие устройства логического типа. М., Энергия. – 2012. 83 с.
3. Колесников К.С., Сидоров П.Г., Александров Е.В., Рывкин С.Е. К созданию многооборотных регулируемых асинхронных электроприводов нового технического уровня. Известия Тульского государственного университета – Тула: Из-во ТулГУ. – 2005. С. 5-6.

ОБ ОДНОМ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕНТИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Комлев И. В.

Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва

С развитием компонентной базы силовой преобразовательной техники в автономном электроснабжении всё чаще находит применение системы «переменная скорость постоянная частота» (ПСПЧ). Первичным источником электроэнергии в такой системе является вентильный генератор (ВГ).

В стандартном исполнении он представляет собой трёхфазную синхронную электрическую машину (ЭМ) и трёхфазный выпрямительный блок (ВБ). При таком исполнении электрическая машина рассчитывается на большую мощность, чем при работе на активную нагрузку. К тому же для снижения пульсаций выпрямленного напряжения требуется сглаживающий фильтр. В настоящее время существует два варианта решения этих проблем: использование особого ВБ с низким значением коэффициента гармоник фазных токов ЭМ и высокой пульсностью выпрямленного напряжения или увеличением числа фаз ЭМ и ВБ, при их интегральном исполнении. В первом случае система усложняется дополнительным устройством – АТВУ-18 [1], которое также снижает КПД системы и снижает общую надёжность. Второй случай считается более перспективным.

В настоящее время известно множество вариантов реализации ВГ, различающихся числом фаз, топологией их соединения и исполнением ВБ. Варианты топологий обмоток:

- Трёхфазная с соединением обмоток в звезду;
- Трёхфазная с соединением обмоток в треугольник;
- Шестифазная с соединением обмоток в 2 звезды [2-3];
- Шестифазная с соединением обмоток в 2 треугольника [2-3];
- Девятифазная с лучевым соединением обмоток [4];
- Девятифазная с кольцевым соединением обмоток [4];

Научно обоснованных рекомендаций по выбору той или иной структуры в методической литературе для проектирования ВГ фактически нет. Причиной этого является сложность процессов, протекающих в электрической машине, при работе на нелинейную нагрузку, что делает невозможным сравнение этих структур аналитическими методами. Появление новых компьютерных программ моделирования магнитных полей методом конечных элементов позволяет сейчас решить эту задачу.

Целью этой работы является определение наиболее оптимальной структуры интегрального исполнения ВГ для скорости вращения вала 6000 об/мин с мощностью около 30 кВт.

Для объективности сравнения выберем такую геометрию ЭМ в которой можно реализовать все варианты фазности при одинаковой полюсности. Также к условиям сравнения добавим одинаковый уровень потерь, одинаковые материалы активных частей, одинаковую скорость вращения.

Критерием при этих условиях выбрана максимальная генерируемая мощность ВГ. Тогда в глобальном плане наиболее оптимальная структура будет иметь максимальную удельную генерируемую мощность. Величины пульсаций электромагнитного момента и пульсаций выпрямленного напряжения выделены как дополнительные критерии.

Само сравнение осуществляется сопоставлением внешних характеристик и производных от них зависимостей генерируемой мощности от тока нагрузки. Чтобы напряжение холостого хода во всех случаях было одинаковым, число витков

подбирается в каждом случае индивидуально. Для определения нужного режима нагрузки по уровню потерь также нужно получить зависимости потерь от тока нагрузки.

В качестве программы компьютерного моделирования методом конечных элементов выбран программный пакет Jmag designer (студенческая версия). Эта программа обладает возможностью моделировать электромеханическую систему целиком (вместе с электронным преобразователем), при этом уравнения внешней электрической цепи решаются в одной системе с уравнениями конечных элементов.

Результаты моделирования показывают, что наиболее жёсткой внешней характеристикой (рис.1) и максимальной генерируемой мощностью (рис.2.) обладает девятифазная кольцевая структура. Мощность постоянных потерь в стали в различных вариантах отличалась незначительно (10-50 Вт), поэтому сравнение проводится только на основе переменных потерь в меди (рис. 3.).

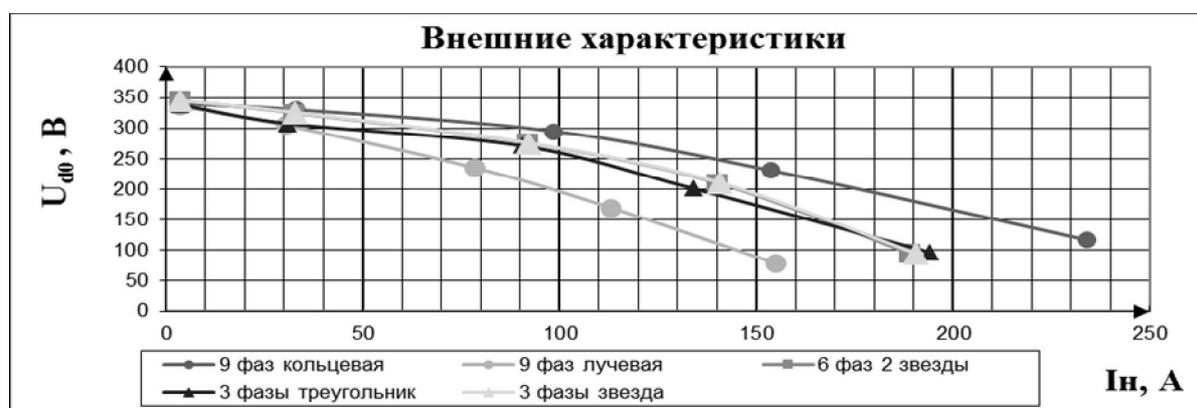


Рис. 1. Внешние характеристики различных структур ВГ

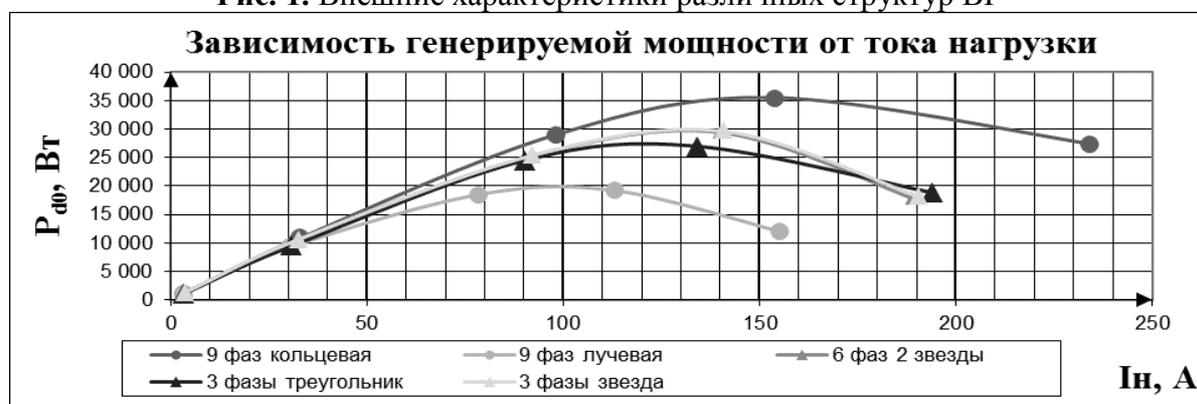


Рис. 2. Зависимости генерируемой мощности от тока нагрузки различных структур ВГ



Рис. 3. Зависимости мощности потерь в меди от тока нагрузки различных структур ВГ

Из графика потерь в меди (рис. 3.) видно, что график девятифазной кольцевой структуры располагается ниже остальных, что говорит о том, что при любом токе нагрузки мощность потерь у этой структуры будет меньше чем у других.

При том, что кольцевая структура обладает лучшими энергетическими показателями, размах пульсаций момента и напряжения у неё меньше, чем у других структур (рис. 4.).

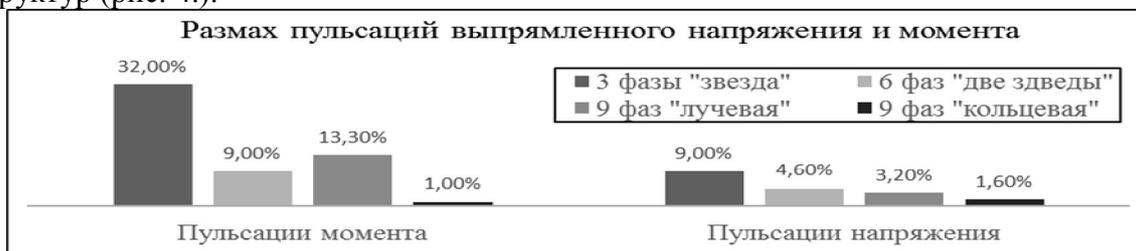


Рис. 4. Размах пульсаций выпрямленного напряжения и момента различных структур ВГ

Вывод: исходя из данных, полученных в результате моделирования, лучшими показателями обладает девятифазная кольцевая структура.

Теперь рассмотрим процессы в этой структуре. Как видно из осциллограммы, эволюции фазного тока (рис. 5.), то его форма близка к меандру с выраженными пульсациями. В режиме, близком к холостому ходу, протекает ток нулевой последовательности, так как все фазы соединены последовательно, но его величина небольшая в виду большой фазности. При увеличении тока нагрузки в момент изменения направления тока проявляется индуктивность рассеяния, сглаживая его фронты и срезы. Индуктивность, накапливая энергию при росте тока, отдаёт её в момент, когда ток должен изменить своё направление, тем самым снижая напряжение (т.е. снижая жесткость внешней характеристики) и уменьшая максимально возможную генерируемую мощность.

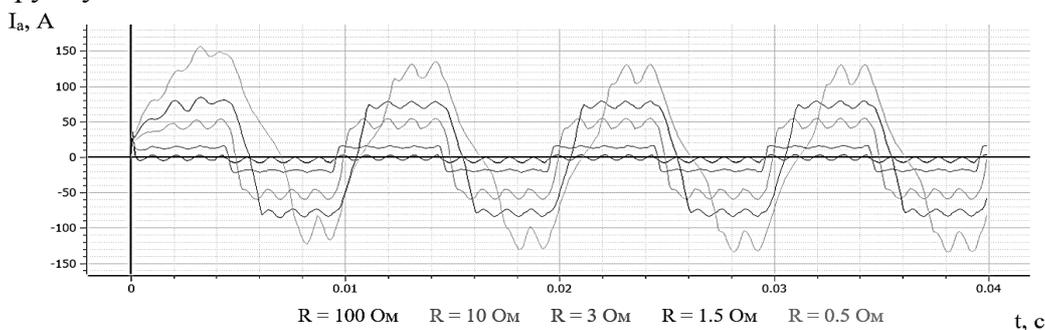


Рис. 5. Осциллограммы, эволюции фазного тока кольцевой структуры ВГ

Улучшить ситуацию можно создав условия для того чтобы ток менял своё направление не скачком, а плавно. Этого можно добиться, разделив ток нагрузки на 3 независимых канала по 3 фазы и объединить каналы ВБ через уравнивательные реакторы, или как их ещё называют – «трансфильтры» (рис. 6.б.). Обмотки трансфильтров соединены встречно, и они преобразуют лишь переменную составляющую выпрямленного тока каждого из мостов и работают на утроенной частоте, поэтому их габаритная мощность составляет всего 1.5% от мощности нагрузки каждый.

По предварительному моделированию (с идеальными источниками ЭДС) (рис. 6.в) фазные токи в такой структуре меньше, их изменение происходит более плавно и индуктивность будет меньше сказываться на падении выпрямленного напряжения.

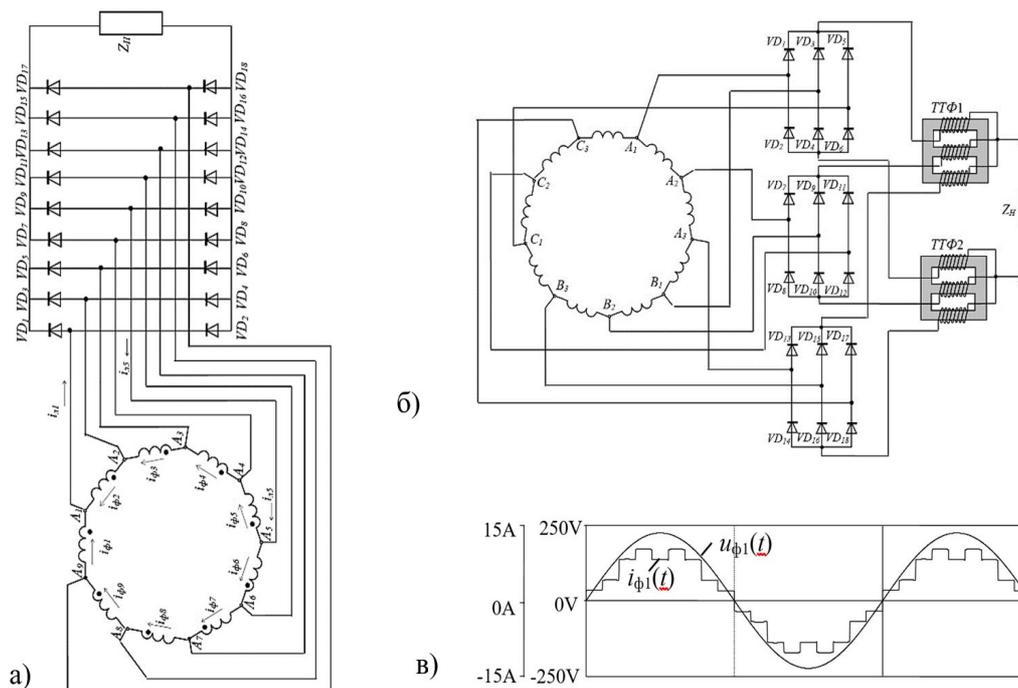


Рис. 6. Схема девятифазной кольцевой структуры; **а** – без трансфильтров; **б** – с трансфильтрами; **в** – осциллограммы фазного тока и напряжения структуры с трансфильтрами

Также отношение действующего напряжения фазы к выпрямленному напряжению в такой структуре выше, и для создания нужного напряжения потребуется меньше витков обмотки, а, значит, её индуктивность тоже будет меньше.

Предложенное техническое решение разрабатывалось на кафедре ЭКАОиЭТ НИУ «МЭИ» и запатентовано [5]. В настоящее время продолжается исследование этой структуры методом конечных элементов. Но существуют сложности с объединением магнитных моделей ЭМ и трансфильтров в общую цепь и длительными переходными процессами, которые в процессе решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мыцык Г.С., Хлаинг Мин У, Комлев И.В. О способе улучшения массогабаритных показателей автотрансформаторно-выпрямительных устройств. *Электричество*, 2013, №12. – С.43÷50.
2. Маслов С.И., Мыцык Г.С., Хлаинг Мин У, Ян Найнг Мьинт. О влиянии топологии и числа фаз якорной обмотки на показатели качества вентильного генератора. *Электричество*, 2014, №2. – С.32÷40.
3. Мыцык Г.С., Хлаинг Мин У. Сопоставительный анализ вариантов шестифазного вентильного генератора. *Практическая силовая электроника*, 2015, №1. – С.19÷23.
4. Мыцык Г.С., Хлаинг Мин У. Вентильный генератор с кольцевой схемой соединения якорных обмоток и 18-пульсным выпрямленным напряжением. *Электричество*, 2015, №1. – С.30÷3
5. Бесконтактная система генерирования постоянного тока: пат. №152206. Оpubл. 10.05.2015. Бюл. №13.

ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В РОБОТОТЕХНИКЕ

Саттаров Р. Р., Шакиров Т. И.

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

В современном мире, для достижения экономической выгоды требуется конкурентоспособное производство, которое способно не только выдавать продукцию удовлетворяющую требованиям конечных потребителей, но и быть технически более совершенной чем ее аналоги на рынке. Если речь идет о производстве в высокотехнологичных сферах, таких как машиностроение, роботостроение, электронное и электромеханическое производство, то для достижения конкурентоспособной продукции, способной, по крайней мере, быть на уровне современных брендов, российским производителям необходимо внедрять такое же высокотехнологичное производство, которое невозможно без применения промышленных технологических роботов.

Основное требование к конструкции промышленных роботов - надежность в условиях многолетней эксплуатации на повторяющихся операциях, а также точность позиционирования, грузоподъемность, угловая скорость вращения. Более точные требования к электроприводам в составе робота даны в [3]: основным рабочим циклом механизма робота является позиционирование. Ускорение перемещения может достигать 30 м/мин, а точность позиционирования – 0,01 мм. Режим работы электроприводов повторно-кратковременный с частыми пусками и торможениями. Возмущений по нагрузке нет ввиду отсутствия процесса резания. Мощность приводов мала, как правило, не выше 1 кВт, но при этом требуется большой момент и малые скорости. Таким образом, с точки зрения технологии электропривод робота должен иметь диапазон регулирования порядка 1000, обладать перегрузочной способностью в пусковых режимах (иметь малые времена пусков и торможений на максимальную скорость).

Для получения больших моментов необходимо устанавливать в механизмы робота редукторы или разрабатывать двигатели оригинальной конструкции. С точки зрения конструкции промышленный робот представляет собой довольно сложное устройство: сложные кинематические цепи, взаимно влияющие друг на друга, малая жесткость механических передач, переменные моменты инерции механизмов, превышающие собственный момент инерции двигателя. Перемещение рабочего органа робота вместе с исполнительным двигателем приводит к необходимости применения двигателей с малыми массогабаритными параметрами.

Вентильно-индукторный электропривод, рассматриваемый в этой статье, не только соответствует перечисленным выше требованиям, но и во многом превосходит некоторые из них. Так, практически все модели имеют диапазон регулирования порядка 10000, момент в 12 Н*м при мощности в 0,7 кВт и регулируемой частоте вращения от 0 до 500 об/мин.

При оценке экономичности регулируемого электропривода следует принимать во внимание дефицитность материалов и оборудования, затрачиваемых на сооружение того или иного привода. Существенное значение имеют потери энергии в процессе регулирования. Потери мощности, возникающие при регулировании скорости, определяют коэффициент полезного действия (далее КПД) привода. При известных условиях работы электропривода КПД за цикл может оказаться значительно выше КПД на какой-либо одной ступени скорости. Если цикл не задан, то можно принять, что на всех ступенях двигатель работает одинаковое время с одинаковой нагрузкой.

Потери энергии при регулировании скорости различны для разных способов регулирования. Они сравнительно велики в системах, где регулирование ведется в главных цепях возбуждения. Последнее становится понятным, если вспомнить, что мощность цепи возбуждения, например, машин постоянного тока составляет лишь 1-5% мощности главных цепей. С этой точки зрения, вентильно-индукторный электропривод, который регулируется в цепях возбуждения изменением тока возбуждения, который в свою очередь изменяется по сигналам системы управления, является наиболее экономически выгодным решением по сравнению с асинхронным, синхронным электроприводами и электроприводами постоянного тока за счет снижения потерь энергии при регулировании и, следовательно, повышенной энергоэффективности [1].

Высокая энергоэффективность электроприводов используемых в устройствах робототехники, особенно мобильных, является одним из важнейших требований к их производителям. Современные мобильные роботы питаются, как правило, от аккумуляторных батарей, которые имеют ограниченное время автономной работы, что в свою очередь накладывает ограничения при работе в зонах их применения. Эта проблема решается разработкой новых видов источников питания и увеличения количества известных источников питания в одном роботе. Однако возможен другой путь – повышение энергоэффективности электромеханических и электронных устройств в устройствах робототехники. В частности электропривода, который наиболее требователен к источнику питания. Одним из возможных решений может быть применение вентильно-индукторного электропривода.

В настоящее время, по сведениям некоторых источников [4,5] в промышленных роботах в основном используют электроприводы постоянного тока, как наиболее успешное решение с точки зрения управляемости. Вентильно-индукторный электропривод имеет следующие конкурентные особенности конструкции:

1. Отсутствие каких-либо обмоток на роторе, что способствует экономии материалов, лучшему энергосбережению, за счет снижения потерь в роторе и повышению надежности всего электропривода, а значит и всего робота в целом;

2. Концентрические обмотки на статоре. Этот фактор также способствует экономии материалов за счет минимизации неактивной части. Кроме того, это также уменьшает остаточную индуктивность, а в результате потери в меди и общие потери в электроприводе;

3. По сравнению с другим электроприводами, ротор имеет меньшие массогабаритные показатели, что уменьшает момент инерции, увеличивает ускорение, скорость реакции на сигналы системы управления, а это, как было указано выше, является важным требованием к электроприводам в составе устройств робототехники;

4. Основной источник тепла находится на статоре, что упрощает охлаждение электропривода. Это в свою очередь упрощает всю конструкцию, делая ее более надежной, энергоэффективной и экономичной по сравнению с другими электроприводами;

5. Еще одной уникальной особенностью вентильно-индукторного электропривода от других электроприводов является электромагнитная изолированность обмоток полюсов друг от друга. Это достигается за счет особенностей системы управления. Таким образом, при возникновении неисправности в одном из полюсов это не вызовет остановки всего электропривода если только это не запрограммировано в систему управления. В этом случае, машина переключится на режим работы с другим количеством пар полюсов. Эта особенность значительно повышает надежность;

6. Электропривод имеет в своем составе датчики положения ротора, которые однозначно определяют позицию ротора и ток возбуждения. Это способствует большей точности и плавности управления, что немаловажно для электропривода в составе промышленного робота. Кроме того, такой точный учет позиции ротора и тока возбуждения является дополнительным фактором повышения надежности электропривода;

7. Систему управления вентильно-индукторного электропривода возможно построить по топологиям силового преобразователя на основе всего двух силовых ключей, в отличие от системы управления на основе полумостового инвертора как правило используемой в электроприводах постоянного тока. Это значительно повышает надежность электропривода.

Таким образом, применение вентильно-индукторного электропривода в устройствах робототехники может дать преимущества для производителей подобных устройств не только в виде повышения энергоэффективности, надежности, точности управления, но и в повышении экономичности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода: [учебник для электромеханических и электроэнергетических вузов] / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. — 6-е изд. доп. и перераб. — Москва : Энергоиздат, 1981. — 576 с. : ил. ; 21 см.
2. Krishnan R. Switched reluctance motor drives: modeling, simulation, analysis, design, and applications / Boca Raton : CRC Press, 2001, 432 pages.
3. Электропривод промышленных роботов // Электронный портал «Автоматика и автоматизация производства» [Электронный ресурс] // Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.avtomatika-ufa.ru/electroprivod/electroprivod126.html>, свободный.
4. ООО «Сапфир» [Электронный ресурс] // Электрон. дан. – Режим доступа: <http://ooo-sapfir.ru/about.html>, свободный.
5. Nicholas McGill, Nicholas Parrotta. Winning the Cornell Cup Student Competition with a Robotic Arm Exoskeleton // [electronic resource] Access mode – free: <http://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/winning-the-cornell-cup-student-competition-with-a-robotic-arm-exoskeleton.html>.

ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ДИНАМИКИ ВПИТЫВАНИЯ

Астапенко А. С., Олиферович Н. М., Чернышева А. Е.

Белорусский государственный технологический университет, Республика Беларусь,
г. Минск

Смачивание очень широко распространено в природе, технике, сельском хозяйстве, повседневном быту и играет важную роль в протекании многих природных процессов. Для оптимального управления такими процессами необходимо знание законов смачивания.

Первое решение по динамике капиллярного впитывания было получено Вошберном (Уошбурном) в 20-х годах прошлого столетия. Множества сопутствующих явлений, которые влияют на движение жидкости в капиллярах, а также разнообразие строения самих дисперсных сред продолжают привлекать внимание к теоретическому и практическому исследованию динамики впитывания.

Рассмотрим течение смачивающей жидкости в цилиндрическом капилляре радиуса r (рис. 1.).

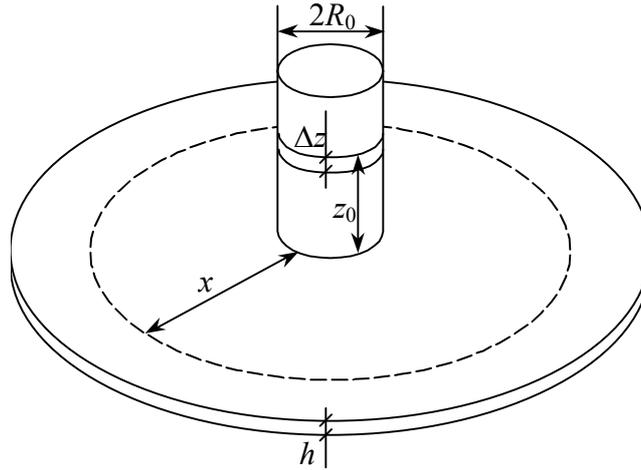


Рис. 1. Геометрические параметры измерительного преобразователя

Равнодействующая сила, действующая на жидкость будет равна:

$$f = f_1 + f_2 + f_3,$$

где f_1 – сила поверхностного натяжения; f_2 – сила тяжести; f_3 – сила учитывающая движение жидкости в капиллярах.

Рассмотрим каждую силу в отдельности. Сила поверхностного натяжения. Изменение свободной энергии системы при растекании в данном случае можно представить:

$$\Delta F = \Delta S_{13} (\sigma_{12} - \sigma_{13}),$$

где ΔS_{13} – изменение площади контакта соприкасающихся фаз при растекании;

$$\Delta S_{13} = 2\pi r x,$$

где x – перемещение жидкости; σ_{12} – межфазное натяжение на границе раздела «газ-твердое тело», σ_{13} – межфазное натяжение на границе раздела «жидкость-твердое тело». Тогда движущая сила растекания может быть рассчитана:

$$f_1 = 2\pi r (\sigma_{12} - \sigma_{13}) n,$$

Сделаем замены

$$A_1 = \frac{8\Pi^4 h^2 R_0 (\sigma_{12} - \sigma_{13})}{\pi r^3},$$

$$A_2 = \frac{4\Pi^3 h^2 R_0 (\sigma_{12} - \sigma_{13})}{\pi r^3},$$

Тогда выражение для f_1 приобретет вид

$$f_1 = A_1 (x + R_0)^2 - A_2 (x + R_0)$$

Вклад силы тяжести описывается следующим уравнением:

$$f_2 = PS = \rho g z \frac{2\Pi^3 h^2 R_0^2 [2\Pi R_0 - r]}{\pi r^5} \pi r^2 = \rho g z \frac{2\Pi^3 h^2 R_0^2 [2\Pi R_0 - r]}{r^3}$$

После замены,

$$C_1 = \frac{2\Pi^3 h^2 R_0^2 [2\Pi R_0 - r] \rho g z_0}{r^3}; C_2 = \frac{2\Pi^4 h^3 \rho g [2\Pi R_0 - r]}{r^3}$$

получаем следующий вид уравнения для силы тяжести.

$$f_2 = C_1 - C_2 (x + R_0)^2$$

Сила учитывающая движение жидкости в капиллярах. При расчете динамики впитывания для учета влияния движения жидкости в капиллярах принимают условие о

квазистационарном течении (т.е. для больших времен t) пользуются формулой Пуазейля.

$$f_3 = -8\pi\eta\dot{x}\dot{x}\frac{2hR_0\Pi}{r^2} = D\dot{x}\dot{x}$$

Воспользуемся упрощенной моделью построения системы капилляров, приведенной на рис.2.

Сделав не большое упрощение, получим следующее выражение:

$$f_3 = -8\pi\eta\dot{x}\dot{x}\frac{2hR_0\Pi}{r^2} = D\dot{x}\dot{x}$$

$$D = -8\pi\eta\frac{2hR_0\Pi}{r^2}$$

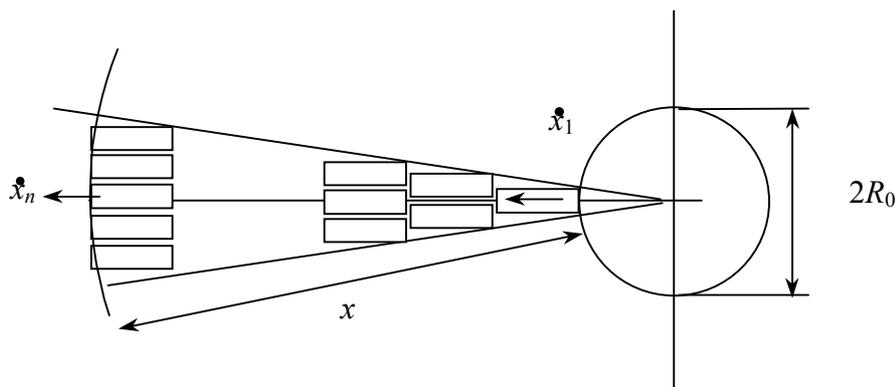


Рис. 2. Модель системы капилляров образца

Итоговое уравнение будет иметь следующий вид:

$$f_1 + f_2 + f_3 = \frac{dm}{dt}\dot{x} + m\ddot{x}$$

В итоге уравнение динамики круговой пропитки можно переписать в виде:

$$\ddot{x} = -a_0\dot{x} - \frac{\dot{x}^2}{x} + \frac{1}{x}a_1 + a_2 - a_3x, \quad (1)$$

где

$$a_0 = \frac{8\eta}{\rho r^2}; \quad a_1 = \frac{2\Delta\sigma}{r\rho} + \frac{g}{2\pi}\left(z_0 - h\gamma\frac{R_0^2}{R^2}\right);$$

$$a_2 = \frac{2\Delta\sigma}{r\rho R_0} - \frac{h\gamma g R_0}{\pi R^2}; \quad a_3 = \frac{h\gamma g}{2\pi R^2}$$

η – динамическая вязкость; ρ – плотность жидкости; r – радиус капилляров; $\Delta\sigma$ – разность межфазных натяжения твердое тело–газ и твердое тело–жидкость; z_0 – начальное значение уровня впитывания в кювете; g – ускорение свободного падения γ – пористость; h – толщина тестовой или тестируемой бумаги; R – радиус кюветы; R_0 – начальный радиус пропитки.

При анализе решений с хорошим приближением решением уравнения (1) может быть функция

$$x(t) = \sqrt{\frac{2a_1}{a_0}\left(\frac{a_2\sqrt{2}}{\sqrt{a_0a_1}}f(t) + t + \frac{\exp(-a_0t) - 1}{a_0}\right)}, \quad (2)$$

где $f(t)$ решение уравнения системы уравнений

$$\begin{cases} \frac{f(t)'' + a_0 f(t)' + \frac{a_3}{a_2} \sqrt{2a_1 a_0} g(t) - a_0 \sqrt{g(t)}}{\sqrt{g(t)}} = 0; \\ g(t) \neq \frac{a_2 \sqrt{2}}{\sqrt{a_0 a_1}} f(t) + t + \frac{\exp(-a_0 t) - 1}{a_0}. \end{cases} \quad (3)$$

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОГРУЖНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

День Конг Кюи

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Увеличение добычи минеральных ресурсов и научно-исследовательских работ на больших глубинах в океанах требует большое количество телеуправляемых подводных аппаратов (ТПА). Для питания этих аппаратов применяются системы электропитания, обеспечивающиеся судном с использованием мощных погружных трансформаторов (ПТ) [1, 2]. Совершенствование погружного трансформатора повышает передаваемую мощность и эффективность работы системы электропитания ТПА. В связи с этим выбор оптимальных параметров трансформатора является актуальной задачей.

Под задачей оптимизации погружного трансформатора понимается поиск научно обоснованных инженерных решений, которые являются технически осуществимыми и экономически целесообразными. Оптимизация предполагает определение значений варьируемых параметров, необходимых для конструкторско-технологической разработки изделия, выбор которых приводит к экстремальному значению оптимизируемого показателя качества или целевой функции при заданных или принятых ограничениях [3].

Возможны следующие направления совершенствования ПТ:

- выбор оптимального типа и конструкции трансформатора;
- выбор совершенных материалов обмотки, магнитопровода, электрической изоляции и т.д.;
- выбор системы охлаждения трансформатора;
- использование более точных методов и методик расчетов при проектировании.

В классе напряжения до 10 кВ используются все конструкции трансформаторов. По сравнению с другими трансформаторами, тороидальная имеет следующие преимущества:

- большая экономика по объему и массе;
- равномерное распределение всех обмоток по всей окружности сердечника уменьшает длину обмоток, следовательно, уменьшается сопротивление обмоток и повышается КПД трансформатора;
- тороидальный трансформатор (ТТ) обеспечивает снижение уровня магнитных помех в восемь раз относительно СТТ, что обуславливает низкие потери мощности ТТ.

Показано, что в соответствии с техническими требованиями, предъявляемыми к электрооборудованию ТПА, ПТ рекомендуется изготавливать тороидальной конструкции с масляным охлаждением, медными обмотками и аморфным магнитопроводом.

С появлением быстродействующих ЭВМ расширяется область применения численных методов. Применение численных методов в задачах проектирования и оптимизации трансформатора позволяет снизить погрешность расчетов и учитывать многие факторы, которые исключались из рассмотрения в аналитических решениях.

При оптимизационном расчете погружного трансформатора необходимо решить следующие задачи:

- выбрать наиболее целесообразное значение плотности тока обмоточных проводов трансформаторов и определить функцию ограничения;
- определить оптимальный вариант размеров обмоточных проводов трансформаторов.

Важнейшим моментом в оптимальном проектировании является определение и обоснование критерия оптимальности. Критерий оптимальности выбирается с учетом эксплуатационных требований к погружному трансформатору. Погружной трансформатор применяется в системе электропитания телеуправляемых подводных аппаратов. Ее мощность определяет мощностью всех подводных аппаратов, влияет на эффективность работы всей системы научного исследования, разработки, поиска и т.д. В большой степени мощность любого трансформатора зависит от его массы и габаритов. Поэтому в качестве критерия оптимальности выступают массогабаритные показатели.

Одним из массогабаритных показателей является удельная масса на единицу мощности. Этот показатель выбирается нами в качестве критерия оптимизации ввиду обеспечения простоты решения оптимизационной задачи при принятом методе моделирования.

При оптимизации погружного трансформатора возможно варьировать такие параметры, как плотность тока обмоток однофазных трансформаторов и магнитную индукцию магнитопровода. Изменение магнитной индукции приводит к изменению напряжения между витками, следовательно, изменению толщины изоляции обмоточных проводов и габаритов погружного трансформатора. Поэтому в нашей работе учитывается только зависимость удельной массы на единицу мощности от плотности тока обмоток трансформаторов.

Оптимизация проводится с учетом следующего ограничения – максимальная температура обмоток трансформаторов (T_{MAX}) не должна превышать допустимую рабочую температуру масла и изоляции. Для проектирования погружного трансформатора было использовано масло «Пента-ТРМС-110» с высокой допустимой рабочей температурой – 200 градусов. Алгоритм оптимизации представлен на рис. 1.

Исходными данными являются номинальная мощность, напряжение первичной и вторичной обмотки, частота, масса и габариты трансформатора.

С помощью комплекса ELCUT построена модель температурного поля погружного трансформатора. Задаются для всех элементов модели такие теплофизические свойства, как теплопроводность, удельная теплоёмкость, плотность, объемную плотность тепловыделения [4]. Проверка адекватности показала, что полученная модель с высокой точностью воспроизводит температурное поле трансформатора – расхождение с экспериментальными данными находится в пределах $-4,3\% \div 3,09\%$.

С учетом максимальной погрешностью (4,3%) максимальная температура обмоток погружного трансформатора, определяемая в ELCUT, может достигаться 191,7 градусов. При повышении плотности тока повышаются мощность погружного трансформатора и максимальная температура обмоток погружного трансформатора. Результаты оптимизации представлены в таблице 1.

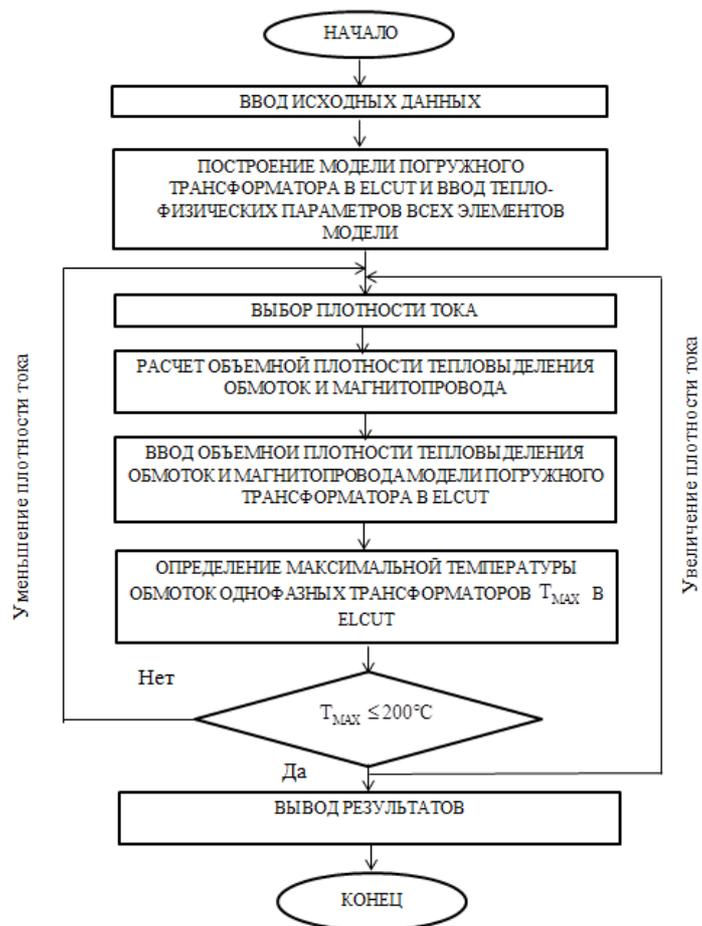


Рис.1. Алгоритм оптимизации погружного трансформатора

Таблица. 1. Результаты оптимизации погружного трансформатора

	Плотность тока обмоток трансформаторов, А/м ²							
	1.75	1.84	1.93	2.01	2.1	2.19	2.28	2.29
Объемная плотность тепловыделения (Вт/м ³)	60080	68130	74770	83990	93920	104600	118000	123700
Максимальная температура обмоток погружного трансформатора, град.	106.7	117.4	125.5	137.7	150.3	163.9	180.2	188.2
Мощность погружного трансформатора, кВА	33.4	35.07	36.74	38.41	40.08	41.75	43.42	43.754
Удельная масса на единицу мощности, кг/кВА	1.060	1.009	0.964	0.922	0.883	0.848	0.815	0.809

По данным таблицы построены графики зависимости удельной массы на единицу мощности и максимальной температуры обмоток погружного трансформатора от плотности тока обмоток однофазных трансформаторов (рис. 2).

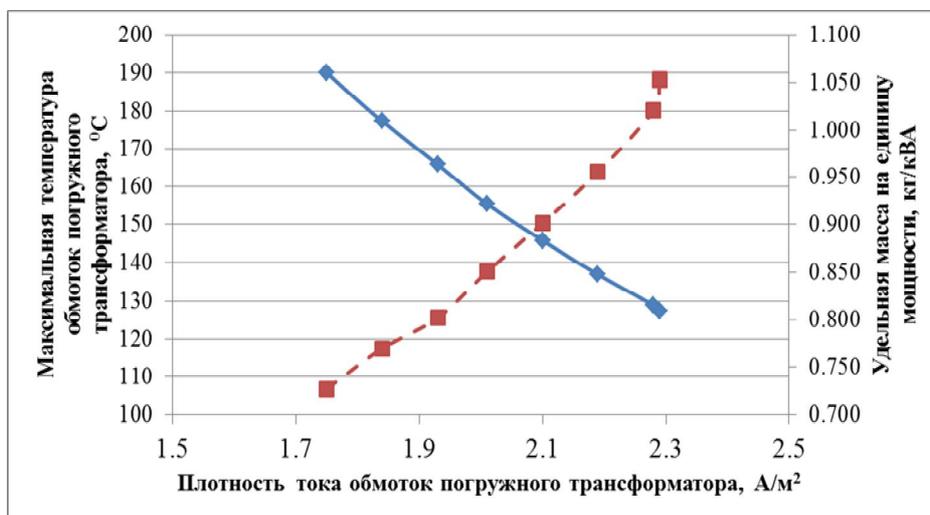


Рис. 2. Зависимости максимальной температуры обмоток погружного трансформатора (штриховая) и удельной массы на единицу мощности (сплошная) от плотности тока

При неизменных габаритах погружного трансформатора, мощность погружного трансформатора может достигать в пределе 43,75 кВА – на 31% больше мощности экспериментального трансформатора.

Вывод:

В данной работе был построен алгоритм оптимизации погружного трансформатора, на основе которого проведено усовершенствование массо-габаритных характеристик. Полученные графики позволяют осуществлять выбор плотности тока при известной марке изоляции и предварительно определять показатели по массе погружного трансформатора тороидальной конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рулевский В.М. Системы электропитания телеуправляемого подводного аппарата большой энерговооруженности. автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. – Томск: РГБ, 2006 – 196 с.
2. Noirhomme, B., Cote, J. Evaluation of underground submersible distribution transformers through oil analysis // Electrical Insulation (ISEI) Conference Record of the 2012 IEEE International Symposium on. – 2012. – С. 217-222.
3. Любчик М.А. Оптимальное проектирование силовых электромагнитных механизмов. – М.: Энергия, 1974. – 264 с.
4. <http://elcut.ru/index.htm>

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ВЫСОКООБОРОТНЫЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИНТЕГРАЦИИ В АВИАЦИОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Вавилов В. Е., Бекузин В. И., Айгузина В. В.

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

Прямая интеграция (без редуктора) стартер-генератора (СГ) в авиационный турбореактивный двигатель (ТРД) позволит снизить массогабаритные показатели последнего за счет отказа от редуктора и коробки механических приводов, а также повысить его экологичность за счет прямого электрозапуска турбины, и позволит перейти к практической реализации концепции электрического авиационного двигателя. Все это приведет к повышению топливной эффективности летательного аппарата (ЛА) и расширению его функциональных возможностей.

В то же время перед современной авиационной промышленностью, помимо разработки перспективных пилотируемых авиационных ЛА и их двигателей, стоит задача разработки перспективных беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

К основным техническим требованиям к СГ с возможностью прямой интеграции (без редуктора) в ТРД БЛА относятся:

- высокая частота вращения ротора (60 000 об/мин и более);
- минимальные потери в магнитопроводе статора, спинки ротора, максимальный коэффициент полезного действия;
- рабочая температура СГ 493-513 К;
- возможность обеспечения импульсной нагрузки в течение заданного промежутка времени;
- высокая механическая прочность;
- невысокая мощность СГ (до 5 кВт).
- минимальные массогабаритные показатели.

При разработке СГ БЛА с возможностью интеграции в ТРД с учётом вышеперечисленных требований применение известных методик проектирования высокотемпературных СГ мощностью от 50 до 500 кВт невозможно в полной мере. Поэтому целью работы является определение проектного облика, разработка и исследования СГ мощностью до 5 кВт с возможностью интеграции в двигатель БЛА.

Предлагаемая конструкция высокотемпературного высокооборотного СГ с возможностью интеграции в ТРД БЛА представляет собой генератор на высококоэрцитивных постоянных магнитах (ВМП) с многополюсным внешним ротором. Применение ВМП способствует максимальным энергетическим характеристикам при высоких рабочих температурах в СГ с возможностью интеграции в ТРД БЛА, авторами рекомендуется использование ВМП на основе сплавов $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, поскольку такие сплавы обеспечивают при температуре 300–350°C характеристики: $H_c = 350–400$ кА/м и $B_r = 0,9$ Тл. Отказ от бандажной оболочки ротора позволяет достигнуть максимальной индукции в воздушном зазоре СГ, а следовательно, и максимальных удельных энергетических характеристик СГ. Многополюсность конструкции обеспечивает минимальную толщину спинки статора, за счет чего возможно увеличение размеров пазовой зоны. Кроме того, минимизируются потери на вихревые токи вследствие низкой массы магнитопровода статора и расположение его внутри ротора.

При расчётах СГ с возможностью интеграции в ТРД БЛА использовался программный комплекс Ansoft Maxwell, а также оригинальные приложения [1–3].

Расчеты проводились для номинальной нагрузки СГ, т.е. учитывалось влияние поля реакции якоря. В таблице 1 представлены результаты расчётов.

Таблица 1. Основные параметры СГ с возможностью интеграции в ТРД БЛА

Мощность, кВт	4,6
Номинальное фазное напряжение, В	30
Частота вращения ротора, об/мин	60000
Число полюсов	6
Число пазов магнитопровода статора	12
Частота тока фазы, Гц	3000
Плотность тока, А/мм ²	25
Линейная токовая нагрузка, А/м	30000
Тепловой фактор, А/см*(А/мм ²)	7500
$X_{ad}=X_{aq}$	0,035
Число витков	18
Число проводников в пазу	3
Число жил в проводнике	4
Диаметр голого провода, мм	0,5
Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки	0,07
Магнитная индукция в воздушном зазоре (холостой ход), Тл	0,59
Магнитная индукция в воздушном зазоре при номинальной нагрузке, Тл	0,45
Масса активных элементов СГ, кг	0,8-1,1
Параметры и тип магнитов	
Тип магнита	Sm ₂ Co ₁₂
Остаточная индукция, Тл	1,05-1,07
Коэрцитивная сила, кА/м	835-850
Температурный коэффициент по индукции	-0,03
Температурный коэффициент по коэрцитивной силе	-0,2

Из табл. 1 видно, что удельные характеристики СГ, с учетом всех изложенных выше требований, при предлагаемой конструктивной схеме будут составлять 0,2-0,22 кг/кВт. Для сравнения, удельная масса генератора ТГ-4Т, применяемого в некоторых типах БЛА, составляет 1,5 кг/кВт при топливном охлаждении и частоте вращения 36000 об/мин.

Для обоснования работоспособности предложенного технического решения, помимо электромагнитных расчетов, выполнены тепловые расчеты СГ, результаты которых представлены на рис. 1, максимальная температура обмотки составляет 124,28°С. При тепловых расчётах предполагалось, что полет БЛА будет осуществляться с числом Маха М=0,5, а также что СГ будет охлаждаться набегающим в ТРД воздухом, возможная схема охлаждения СГ при интеграции в ТРД представлена на рис. 2. При этом охлаждение СГ будет осуществляться через каналы, выполненные в магнитопроводе статора (рис. 3) на стадии намотки обмоток.

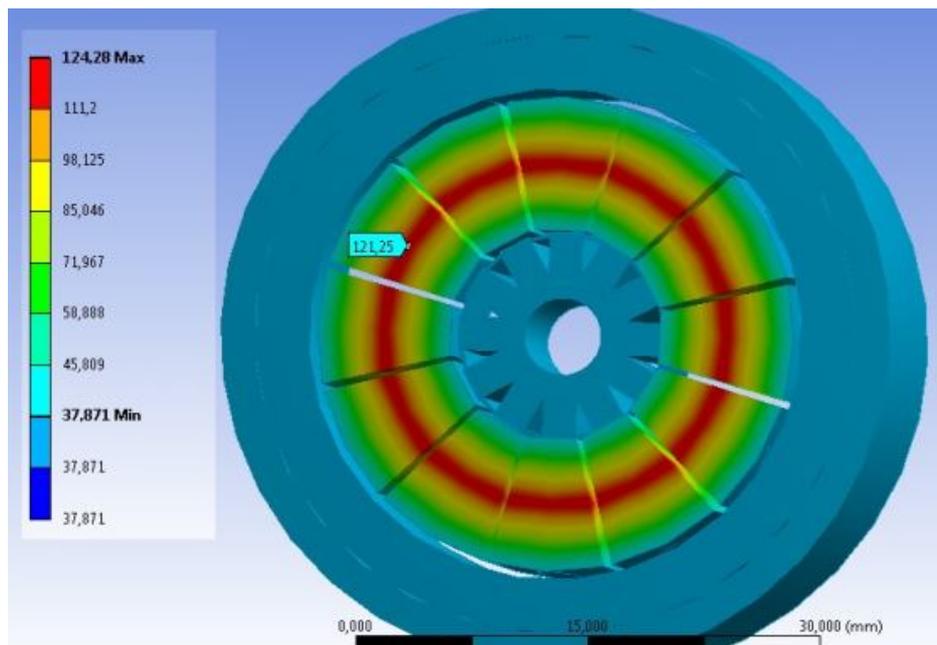


Рис. 1. Результаты теплового расчет СГ с возможностью интеграции в ТРД БЛА

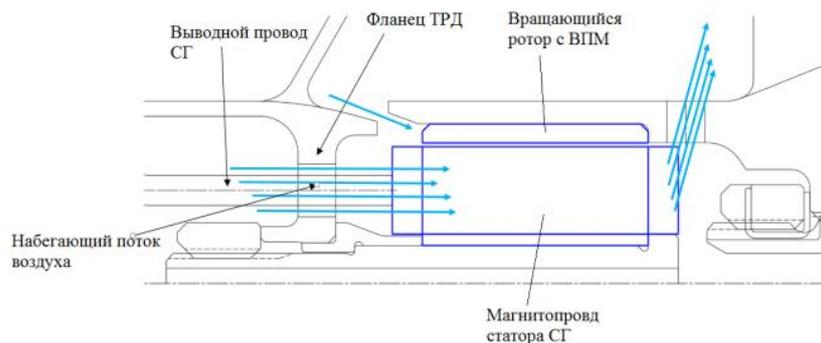


Рис. 2. Схема охлаждения СГ при интеграции в ТРД БЛА



Рис. 3. Каналы охлаждения СГ

Таким образом, в работе показана возможность создания высокотемпературных высокооборотных СГ с возможностью интеграции в ТРД БЛА, проведен анализ основных конструктивных и произведены расчеты, в результате которых установлено, что с учетом достижений современной промышленности возможно создание высокооборотного СГ для БЛА. Полученные результаты будут использованы в дальнейшем при создании опытных образцов высокооборотных высокотемпературных СГ с возможностью интеграции в ТРД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Имитационная модель высокоскоростного авиационного магнитоэлектрического генератора: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2013660109 Рос. Федерация; опубл. 24.10.2013.
2. Методика критериального выбора материала магнитопровода статора электромеханических преобразователей: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2014617266 Рос. Федерация; опубл. 16.07.2014.
3. Автоматическое оптимальное проектирование высокоскоростных электрических машин с высококоэрцитивными постоянными магнитами: Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2014617339 Рос. Федерация; опубл. 17.07.2014.
4. Вавилов В.Е., Исмагилов Ф.Р., Хайруллин И.Х., Каримов Р.Д. Высокотемпературные электромеханические преобразователи энергии с возможностью интеграции в авиационный двигатель, перспективы и проблемы создания // Авиакосмическое приборостроение, 2015. – № 9. – С. 48–56.

ПОСТРОЕНИЕ СХЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЕ

Олиферович Н. М., Кашкан М. А., Кадлубович П. П.

Белорусский государственный технологический университет, Республика Беларусь,
г. Минск

Наиболее простые варианты построения измерительного преобразователя параметра времени капиллярного впитывания на мультивибратарной и резонансной схемах показали неустойчивую работу из-за изменения соотношения емкости и сопротивления схемы замещения в процессе динамики пропитки. Дальнейшие исследования по получению схемы замещения (рис. 1) позволили определить, что желательные значения частот измерительного преобразователя находятся в диапазоне от 105 Гц и выше. Кроме того, измерительная схема должна быть способна перенастраивать измерительный канал ввиду падения полного сопротивления с начала измерения от нескольких мега Ом до сотни Ом.

С учетом полученных выводов, гарантированным вариантом является использования принципа построения измерительного преобразователя с определением полного сопротивления на квадратурном демодуляторе. Адаптивная схема преобразователя должна быть построена на достаточно быстродействующем и мощном микроконтроллере. С учетом данного требования выбран STM32F407. Его особенностью является наличие встроенных аналогово-цифровых (ADC) и цифро-аналоговых преобразователей (DAC) и работа на частоте 168 МГц.

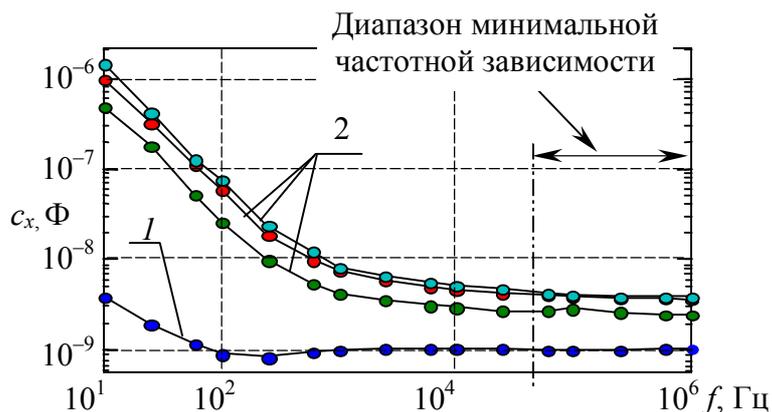


Рис. 1. Зависимость емкости c_x от частоты f для сухой (1) и смоченной (2) бумаги

Квадратурный демодулятор можно построить на аналоговом принципе (рис. 3), используя цифровые преобразования на Field-Programmable Gate Array (FPGA) матрице (рис. 5) или быстрое преобразование Фурье непосредственно в микроконтроллере.

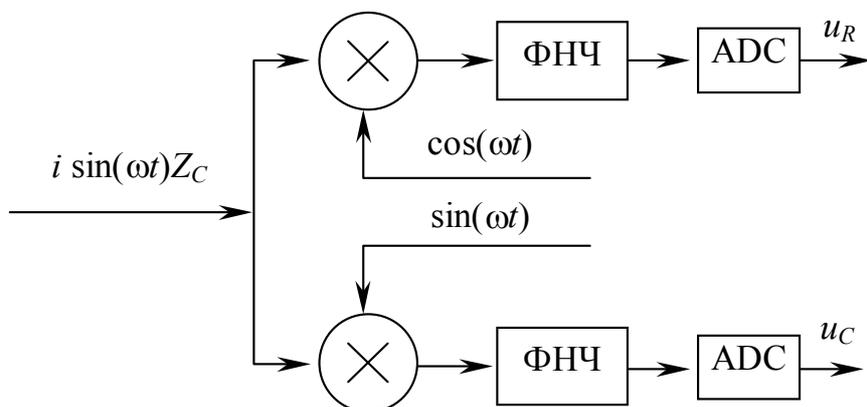


Рис. 2. Общая структура аналогового квадратурного демодулятора, ФНЧ – фильтр низких частот

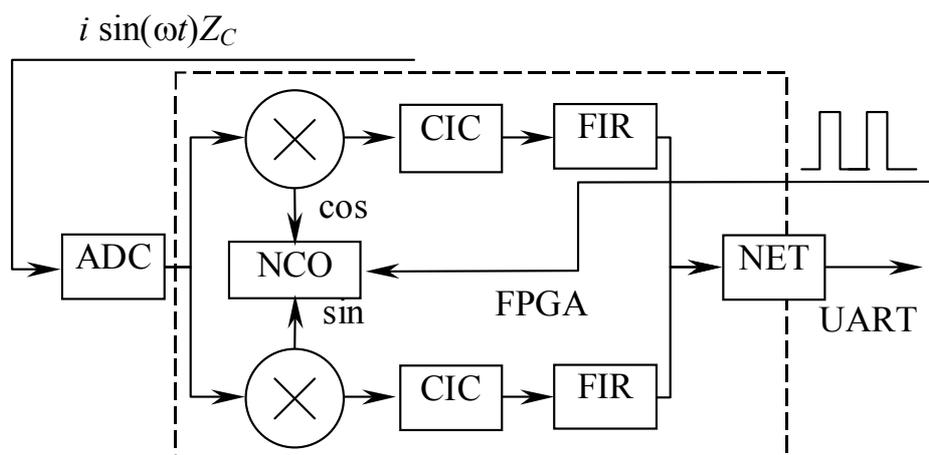


Рис. 3. Общая структура цифрового квадратурного демодулятора на FPGA. CIC (cascaded integrator-comb) и FIR (finite impulse response) компоненты программирования для создания фильтров; NCO (numerically controlled oscillators) – цифровой управляемый генератор

Предлагаемые в литературе решения предусматривают формирование контроллером тестового сигнала с преобразованием его в источник тока, измерение напряжения исследуемого участка цепи, преобразование его величины с помощью ADC в цифровую форму и дальнейшее осуществление быстрого преобразования Фурье. Однако для нашего случая препятствием для построения измерителя на таком принципе является требование высокой частоты, на которой необходимо производить измерения. И, не смотря на высокую частоту процессора 168 МГц, нет гарантий реализации преобразователя, поскольку контроллер должен обрабатывать одновременно сигналы с ADC и формировать сигнал через DAC на первичный преобразователь, осуществлять перенастройку усилительных схем и выполнять быстрое преобразование Фурье. По предварительным расчетам, рабочую частоту измерения не удастся поднять до 150 кГц.

Источник сигнала и приемник работают в рамках одной микросхемы, и их не получится развязать, что будет приводить к наводке на входы ADC периодической помехи. Спектр помехи будет иметь множество дискретных спектральных составляющих (шпор, spurs), которые будут возвышаться над «пьедесталом» полезного спектра. Для устранения данного недостатка первичную информацию с АЦП необходимо рандомизировать. В этом случае увеличится отношение сигнал/шум, но импульсная помеха «размазывается» по спектру. Встроенные в контроллер АЦП не имеют механизма рандомизации. Обычно таким механизмом можно воспользоваться только при использовании внешних параллельных АЦП.

При построении измерительных преобразователей следует не забывать о шуме квантования. При подаче на вход АЦП одной синусоиды, шум будет иметь явно выраженную периодичность, что приведет к появлению в спектре тех же шпор. Поскольку разрабатываемая схема имеет данную особенность, то желательно предусмотреть в схеме механизм подмешивания аналогового широкополосного шума. Это позволит декоррелировать шум квантования.

Узким местом является и быстродействие встроенных ADC и DAC. Их характеристики не позволят поднять сигнал измерения выше 500 кГц.

Использование преобразования по схеме рис. 3 в аналоговом виде тоже не является идеальным вариантом. Несмотря на возможность использования для формирования функций \cos и \sin двух встроенных DAC, абсолютную идентичность получить не возможно по причине того, что формируются сигналы от 0 до 3,6 В, и возникает необходимость убирать постоянную составляющую сигналов с применением схем с использованием аналоговых элементов и конденсаторов. Аналогично не существует идеальных операционных усилителей. Будет присутствовать разница в амплитудах и отличие в фазе $\pi/2$. Можно добавить не идентичность аналоговых перемножителей, амплитудно-частотной и фазовой характеристик аналоговых фильтров на выходе перемножителей. Все это будет приводить к появлению зеркальных частот в спектре сигнала на выходе. Однако следует учесть, что в нашем случае нас интересуют не абсолютные значения результатов измерений, а непосредственно зависимость параметра от времени, что нивелирует некоторые из вышеперечисленных недостатков аналогового решения.

При использование FPGA матрицы возможны практически те же проблемы, что и при использовании встроенных ADC и DAC, которые были рассмотрены несколькими абзацами выше. Для его реализации придется использовать внешнее ADC и FPGA матрицу, что значительно удорожает построение измерительной схемы. К матрице FPGA предъявляются достаточно высокие требования, так как это в этом случае возникает необходимость в большом количестве структурных перемножителей для реализации фильтров FIR.

Анализ уже снятых переходных процессов позволяет говорить, что фильтры ФНЧ с постоянной времени 0,01–0,02 с не будут вносить существенных искажений в динамику снимаемых кривых.

Аналоговая часть преобразования от DAC до ADC независимо от выбранной схемы квадратурного демодулятора должна предусматривать адаптивную схему регулирования уровня сигналов в зависимости от изменения сопротивления первичного преобразователя. В качестве основного элемента для этого может выступать инструментальный усилитель, коэффициент которого программируется дискретно тремя цифровыми входами. Поскольку полоса пропускания усилителя в зависимости от коэффициента сужается, для измерителя возможно использовать усиление сигнала только на 10, а в некоторых случаях на 100. При коэффициенте 100 полоса усиления сужается до 514 кГц. Исходя из диапазона изменяющегося сопротивления первичного преобразователя, на частоте 1 МГц потребуется 4 каскада усиления, на 500 кГц можно обойтись двумя. Поскольку в начале измерений сопротивление максимально, то коэффициенты должны быть минимальны. После старта пропитки необходимо постоянно просчитывать в контроллере общую амплитуду напряжения, которое формируется на измерительных клеммах, и по мере падения напряжения производить дискретно увеличение общего коэффициента усиления. Непосредственно на измерительные клеммы следует формировать сигнал источника тока, и, лучше всего, на высокочастотном усилителе.

В качестве еще одного решения согласования уровня может выступить использование управляемой матрицы R-2R на базе цифроаналогового преобразователя и с помощью ключевых схем.

С помощью аналоговых решений на операционных усилителях решается преобразование однополярного выхода с выходов DAC в двухполярный сигнал без постоянной составляющей на измерительные клеммы и на перемножители.

Преимуществом аналоговой схемотехнического решения также может выступать меньше проблем связанных с вопросами монтажа, разводки платы, борьбы с помехами.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДЛИТЕЛЬНУЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ПРОВОДОВ С ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Мараткызы М., Баданова А. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Аннотация. В работе проводилось исследование влияния температуры на длительную электрическую прочность проводов с изоляцией из полипропилена. Показано, что зависимость времени до пробоя может быть объяснена на основе термофлуктуационной теории разрушения.

Известно, что зависимость времени до пробоя от температуры и напряженности электрического поля, может быть описана на основе известных эмпирических уравнений степенного, экспоненциального, универсального уравнений. Однако использование данных уравнений не дает физического объяснения закономерностям электрического старения и практически наталкивается на большие затруднения, связанные с отсутствием в литературе значений параметров изоляции входящих в эти уравнения, а также отсутствием условий, в которых проводились исследования [1].

В работе, было показано, что объяснение закономерностей электрического старения полимерных диэлектриков может быть выполнено на основе термофлуктуационной теории. Согласно этой теории процесс разрушения диэлектрика рассматривается как разрыв химической связи под действием тепловых флуктуаций молекул с учетом воздействия различных сил (напряженности электрического поля, механической нагрузки и т.д.), которые облегчают разрыв химической связи [2].

Для проверки данного предположения нами проводились исследования влияния температуры и напряженности приложенного электрического поля на время до пробоя.

В качестве образцов для исследования использовались отрезки провода с диаметром жилы 1.2 мм и толщиной изоляции 0.3 мм, которые скручивались согласно ГОСТУ Р МЭК 60 851-5-2008 с длиной скрутки 125мм. Образцы провода в количестве 30 шт. испытывались при температурах 130°C и 140°C, соответствующих максимальным рабочим температурам для выбранных материалов изоляции. Испытания проводились при напряженностях электрического поля $1.35 \cdot 10^7$ В/м и $1.7 \cdot 10^7$ В/м, соответствующих порядку 80-85% от кратковременной пробивной напряженности электрического поля.

Результаты экспериментальных данных и расчета времени до пробоя на основе термофлуктуационной теории согласно [2] представлены на рис.1 и рис. 2. Время до пробоя рассчитывалось по уравнению

$$\tau = \tau_0 e^{\frac{D - \varphi(x)}{2kT}} \quad (1)$$

где: τ_0 – постоянная времени, с; D – энергия разрыва химической связи, Дж; $\varphi(x)$ – функция от действующих нагрузок (x), вызывающих уменьшение потенциального барьера

$$\varphi(x) = \sqrt{1-2x} - x \ln \left[\frac{1}{x} + \frac{1}{x} \sqrt{1-2x} - 1 \right] \quad (2)$$

$$x = \frac{1}{D} \sqrt{(Ae^{-bT} \beta \eta E)^2 + (\gamma \sigma)^2} \quad (3)$$

Здесь: A, γ - параметры уравнения (1), определяемые экспериментально; η - коэффициент, учитывающей повышение напряженности электрического поля за счет формы электродов; β - коэффициент, учитывающий повышение напряженности электрического поля за счет неоднородности структуры материала диэлектрика; σ - механическая нагрузка, [Н/м]; E - напряженность приложенного электрического поля, [В/м]; b - коэффициент, учитывающий изменение модуля упругости материала с температурой, 1/К°.

Из рис.1 видно, что с ростом напряженности электрического поля среднее время до пробоя уменьшается. При увеличении температуры от T1 до T2 кривая зависимости лежит ниже. Такой же характер изменения имеют и экспериментальные значения τ_{cp} .

С ростом температуры, как видно из рис.2 среднее время до пробоя резко уменьшается по экспоненциальному закону в соответствии с термофлуктуационной теорией. Это характерно как для теоретических кривых, так и для экспериментальных данных, которые отмечены точками $\tau_{cp1}=1.628 \cdot 10^5$ с и $\tau_{cp2}=9.15 \cdot 10^4$ с при напряженности поля E1 и $\tau_{cp3}=1.029 \cdot 10^5$ с и $\tau_{cp4}=6.521 \cdot 10^4$ с при напряженности поля E2. Таким образом, можно сказать, что полученные результаты подтверждают высказанные ранее предположения о возможности использования термофлуктуационной теории.

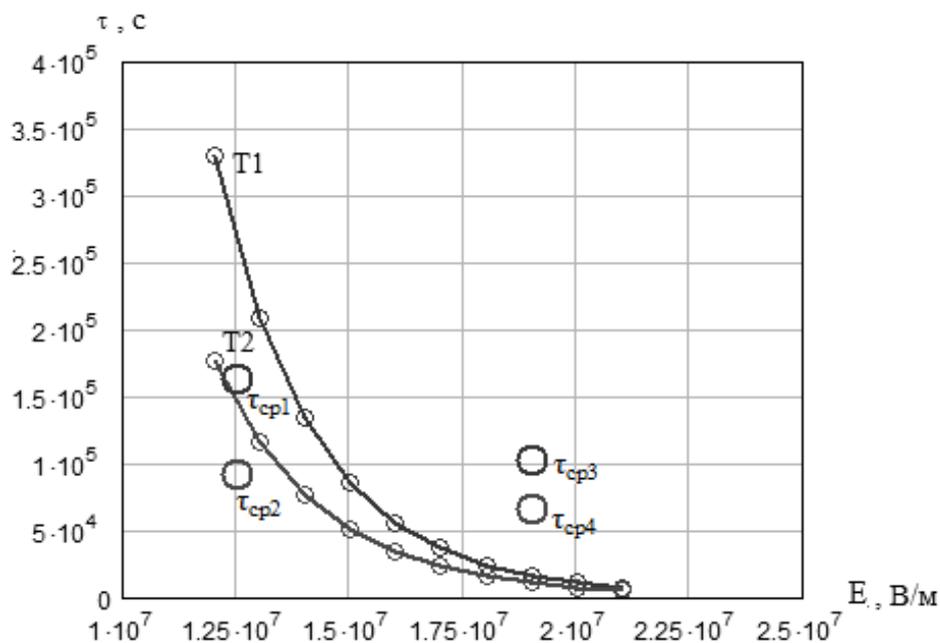


Рис.1. Зависимость времени до пробоя от напряженности электрического поля при различных температурах $T1$ и $T2$

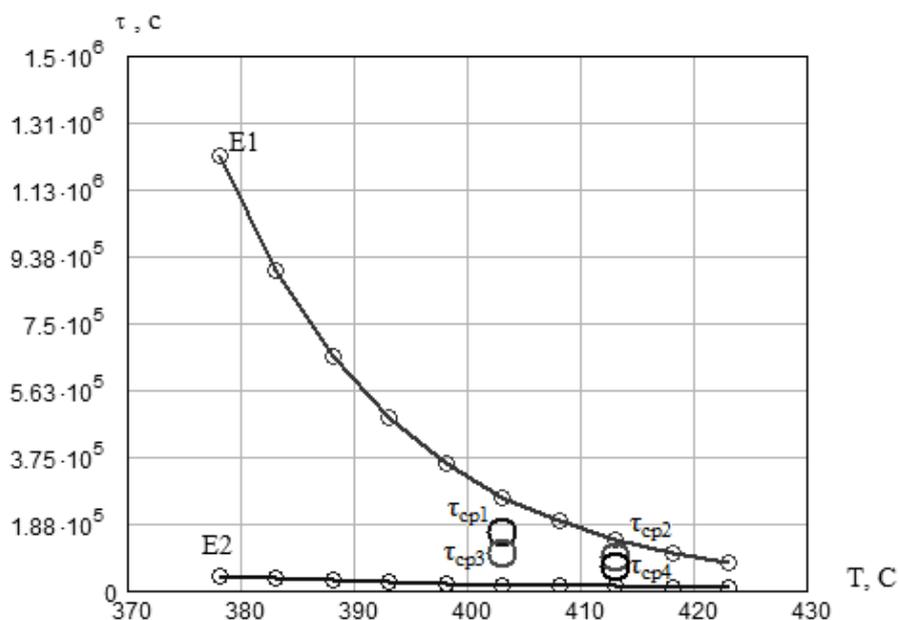


Рис.2. Зависимость времени до пробоя от температуры при напряженности электрического поля $E1$ и $E2$

Выводы:

1. Показано, что для объяснения влияния температуры и напряженности электрического поля на время до пробоя исследованных полимерных материалов может быть использована термофлуктуационная теория.
2. Полученные экспериментальные результаты удовлетворительно согласуются с результатами расчета согласно термофлуктуационной теории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриевский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции. – М.: Энергоиздат, 1981. -392 с.
2. Меркулов В.И., Арефьев К.П., Леонов А.П., Определение параметров уравнения кривой жизни на основе термофлуктуационной теории [Электронный ресурс]. <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C49/090.pdf>

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЛЕЧИВАНИЯ ПРОПИТКОЙ СКВОЗНЫХ ДЕФЕКТОВ В МЕЖВИТКОВОЙ

Выгузов Д. О., Кодочигов А. В., Супуева А. С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Известно: критерием отказа низковольтных обмоток является наличие сквозного повреждения в изоляции - дефекта. При этом особенно опасны дефекты в эмалевой изоляции, т.к. их наличие существенно влияет на надежность межвитковой изоляции. Подобные повреждения существуют в обмоточных проводах в состоянии поставки, возникают в процессе изготовления обмоток (проколы, порезы, сдиры и т.п.) и могут образовываться в процессе старения изоляции при эксплуатации (трещины, отслаивания и т.п.). Соответственно, вероятность отказа будет тем выше, чем больше число повреждений. Т.к. окончательное формирование электроизоляционных свойств изоляции обмоток происходит после пропитки и отверждения пропиточного состава, важно обеспечить полное скрытие таких сквозных дефектов пропиточным составом.

Изучение скрытия дефектов при пропитке выявило: «залечиваемость» сквозных повреждений зависит от их вида (точечные, кольцевые, протяженные) и типа их расположения в реальной обмотке [1]. Наиболее опасными считаются те повреждения, которые лежат на смежных, плотно касающихся витках обмотки. В этом случае вероятно возникновение короткого замыкания, связанного с действием искровых разрядов во время коммутаций.

Внедрение частотно-регулируемых электроприводов (ЧРП), построенных на базе широтно-импульсной модуляции (ШИМ) существенно изменило характер старения межвитковой изоляции низковольтной обмотки. Традиционно было принято считать: основным фактором, вызывающим ухудшение свойств низковольтной изоляции, является действие температуры. Повышение уровня электрических перенапряжений в обмотке, обусловленное действием ШИМ, привело к преобладанию электротеплового характера старения изоляции. В связи с этим интересно оценить - насколько эффективно будет «залечивание» сквозных повреждений в межвитковой изоляции при пропитке в новых условиях эксплуатации?

Испытания проводились на образцах, представляющих стандартные скрутки из короностойкого провода ПЭТД 2К-180. Испытывались образцы в следующих состояниях: бездефектные скрутки; с искусственно нанесенным дефектом на одном витке и с дефектами на соседних витках. Были нанесены дефекты 2 типов: в виде кольцевых порезов эмалевой изоляции до жилы провода и протяженные (удаление изоляции на протяжении 1 мм). В случае дефектов на обоих витках расстояние между ними составляло 0, 10 и 20мм. Скрутки пропитывались короностойким лаком КО-916К методом погружения (общий вид образцов показан на рис.1). Образцы были испытаны на высокочастотном лабораторном стенде, имитирующем электрические нагрузки от ШИМ. Результаты определения среднего времени до пробоя приведены на рисунке 2.

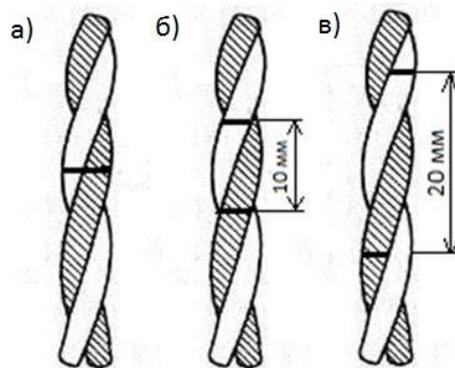


Рис. 1. Общий вид скруток обмоточного провода с кольцевыми дефектами на обеих витках (а – дефекты напротив друг друга, б – расстояние между дефектами 10мм, в – расстояние между дефектами 20мм)

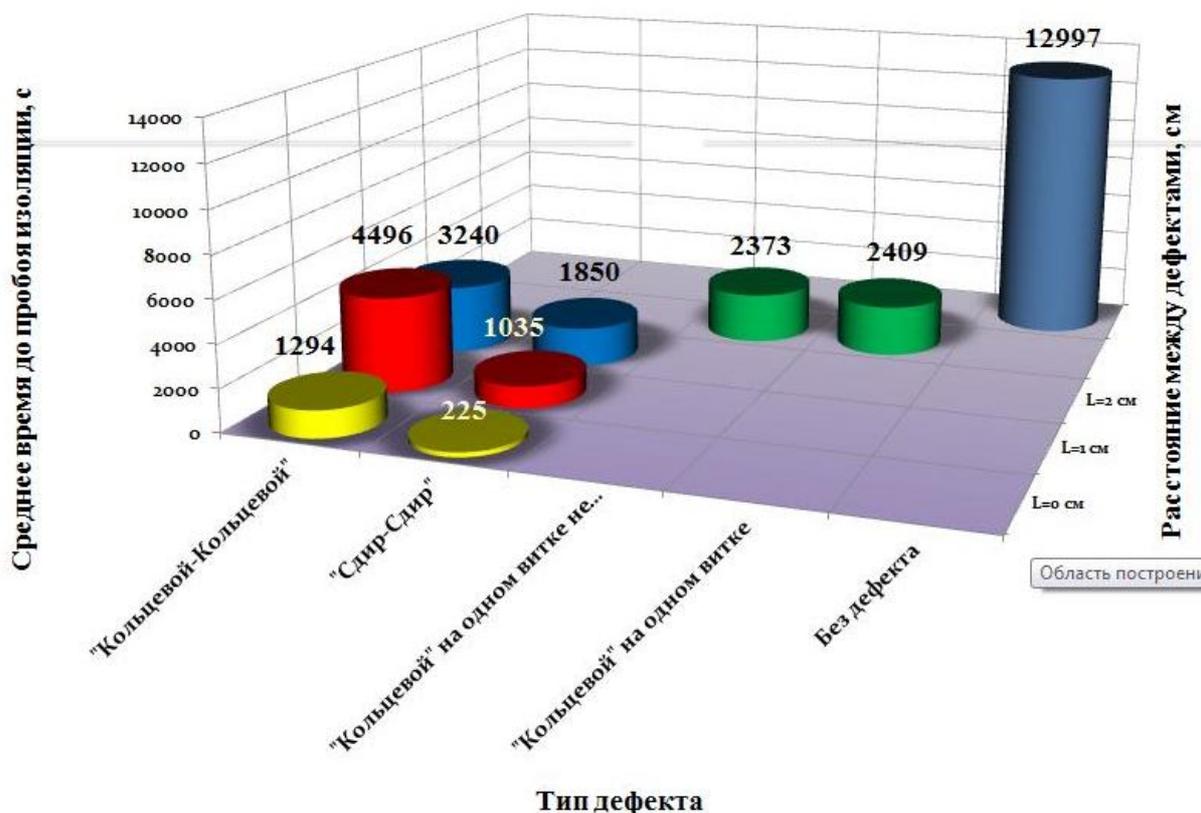


Рис. 2. Результаты определения среднего времени до пробоя образцов.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1) Наличие сквозных дефектов в эмалевой изоляции, даже на одном витке, ведет к резкому снижению среднего времени до пробоя:

Традиционно считалось: отказы изоляции низковольтных обмоток электрооборудования, как правило, возможны только при существовании сквозных повреждений. Наиболее опасными являются совпадающие повреждения, лежащие на смежных плотно касающихся витках.

Наличие дефекта на одном витке повреждения не приводит к резкому снижению пробивного напряжения, так как на соседнем витке изоляция остаётся неповрежденной. Пробивное напряжение снизится до уровня пробивного напряжения воздуха лишь при сквозном повреждении двух слоев изоляции близком совпадении дефектов на соседних

витках. Тем самым, если дефект был на одном витке в межвитковой изоляции, это не влияло на преждевременный отказ изоляции.

При эксплуатации двигателя в составе ЧРП стал преобладать электротепловой характер старения под действием перенапряжений, вызванных работой ШИМ. В связи с этим, в местах сквозных дефектов между соседними витками стало возможно возникновение коронных разрядов, приводящих к ускоренному разрушению неповрежденной эмалевой изоляции на втором витке. Как показали результаты пробой происходит в месте дефекта практически на всех образцах.

2) При действии эксплуатационных нагрузок, характерных для ШИМ, пропитка не обеспечивает эффективного скрывания сквозных дефектов. Практически во всех случаях среднее время до пробоя бездефектных образцов в несколько раз больше, по сравнению с образцами на которые нанесен хотя бы один дефект (не смотря на двукратную пропитку образцов короностойким пропиточным лаком). Эти результаты характерны для всех типов дефектов для любых расстояний, в том числе и для образцов с дефектом на одном витке.

3) Отказ элемента витковой изоляции низковольтной обмотки ЧРП возможен на расстоянии между дефектами, превышающим предельное для обычных условий эксплуатации (без применения частотного управления).

Как известно, величина пробивного напряжения для низковольтной однослойной изоляции подчиняется нормальному закону распределения. При наличии сквозных дефектов происходит пробой воздушного промежутка, напряжение пробоя которого также подчиняется нормальному закону.

Как показывает опыт, с учетом конструктивных параметров обмотки, величин рабочих напряжений и перенапряжений, максимальная величина подобного промежутка для низковольтных обмоток двигателей общепромышленного применения, как правило, не превышает нескольких миллиметров.

Результаты испытаний на макетных образцах показали: перекрытие между дефектами возможно при расстоянии в несколько раз превышающее максимально возможное. Коронные разряды вызывают перекрытия по всему проводу, что способствует образованию короткого замыкания между соседними витками даже при значительной удаленности дефектов друг от друга. При обычных условиях это вряд ли возможно, т.к. величины прикладываемых напряжений и перенапряжений не достигнут необходимой величины.

Результаты работы являются отправной точкой для более детального изучения проблемы.

ВЛИЯНИЯ КВАНТОВАНИЯ МОДУЛЕЙ ПЛК НА СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Белецкий Е. А., Широков А. М., Сухорукова И. Г.

Белорусский государственный технологический университет, Республика Беларусь,
г. Минск

Наличие автоматизации технологических процессов стало обязательным условием в современных экономических условиях. Период экстенсивного пути повышения уровня автоматизации за счет установки измерительных приборов с необходимой точностью и настройкой локальных контуров практически завершился. Получение конкурентных преимуществ требует применения более сложных алгоритмов, адаптации локальных

контуров под действием изменяющихся контуров и оптимизации в реальном времени. Для построения эффективных систем управления требуется использовать динамическую компенсацию основных возмущений и идентификацию каналов регулирования. Повышение эффективности за счет математической обработки трендов следует проводить с осторожностью, так как измерительная информация может быть существенно искажена измерительными каналами.

Регулирование технологических параметров на сегодняшний день осуществляют программируемыми логическими контроллерами (PLC). Заявленная разрядность ADC и DAC современных находится в диапазоне 10-12 разрядов. Эффективная же разрядность еще ниже, поскольку определенная часть динамического диапазона модулей контроллера используют для компенсации потенциальных смещений каналов и диагностики.

Дискретизация аналоговых каналов в первую очередь повлияет на адекватность вычисления производных. С целью оценки вероятности ошибки вычисления производных было смоделирована ситуация работы объекта регулирования при разных значения младшего разряда и оценена погрешность вычисления.

Моделирование производилось путем создания модели (рис. 1) в Simulink в Matlab и состояло из параллельных трех замкнутых контуров регулирования. Один был чисто аналоговым контуром с ПИД-регулятором трехмассовом объекте с подмешенным случайным процессом. Кроме этого в обратной связи использовалось апериодическое звено в обратной связи. Настройки регулятора были подобраны по модифицированному интегральному критерию. Во втором варианте аналоговый ПИД-регулятор был заменен на цифровой вариант. В третьем – использованные нелинейные элементы на выходе датчика и регулятора для отражения работы АЦП и ЦАП.

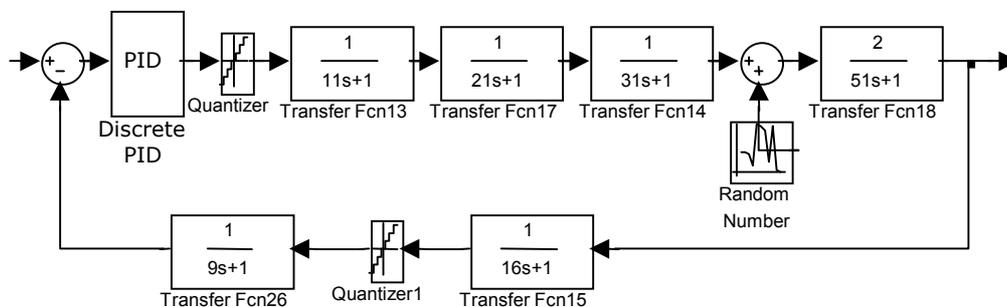


Рис. 1. Структура моделирования

Сигнал по каналу задания менялся плавно с различной величиной ускорения путем изменения амплитуды синусоидальных колебаний. Сигнал управления был сформирован так, чтобы производная менял свой знак и значение в широком диапазоне (рис. 2)

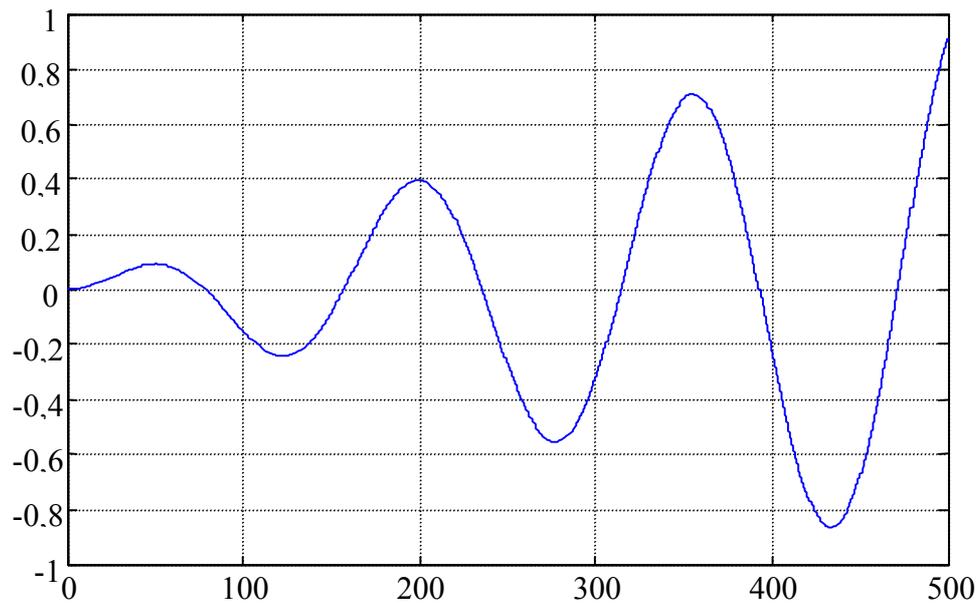


Рис. 2. Сигнал по канала задания для создания меняющегося значения и знака производной

Амплитуда случайного процесса подбиралась на уровне младшего значащего разряда и была одинакова для всех контуров регулирования. Результаты сравнения для первой и второй производной можно увидеть на рис. 3-5.

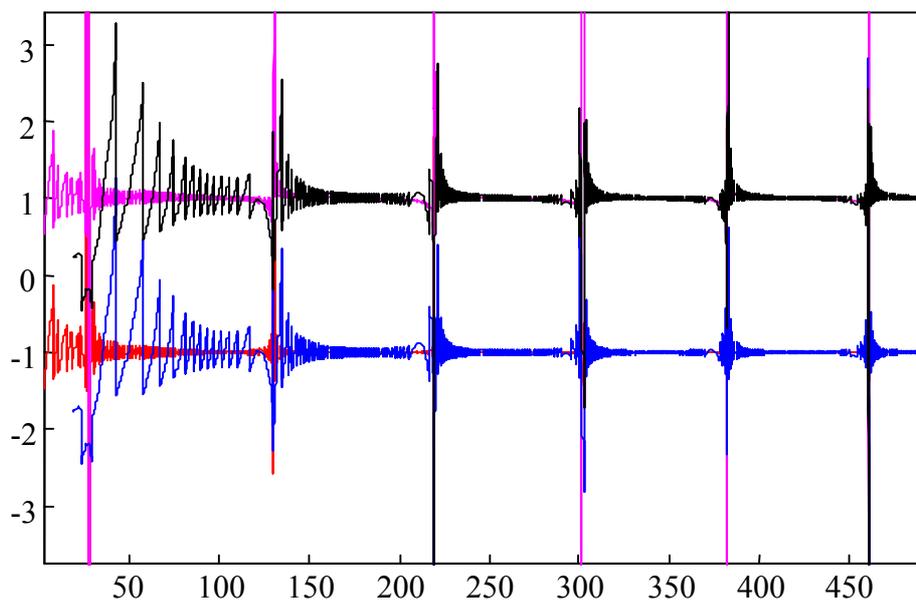


Рис. 3. Относительная погрешность вычисления первой производной Sample time 0,1; 1 (фрагмент)

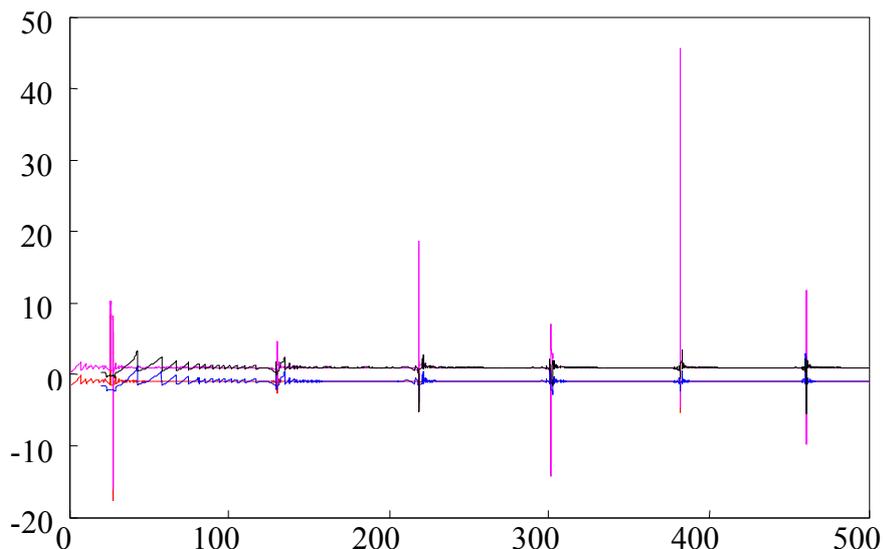


Рис. 4. Относительная погрешность вычисления первой производной Sample time 0,1; 1

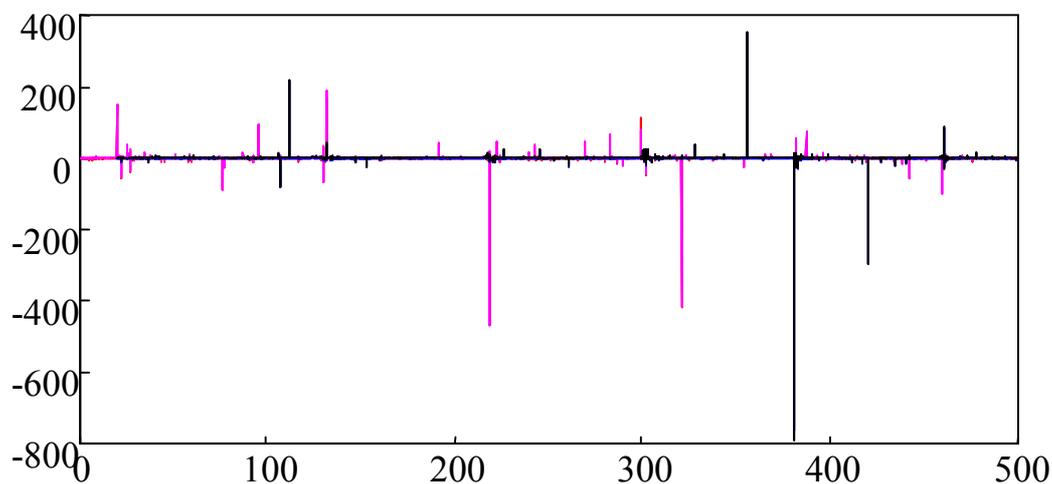


Рис. 5. Относительная погрешность вычисления второй производной Sample time 0,1; 1

Погрешность оценивалась по отношению к чисто аналоговой работе контура. Анализ результатов показал, что при вычислении только первой производной относительная погрешность может достигать 2000% ошибки. Наибольшая ошибка достигается при изменении знака ускорения сигнала задания. В среднем же при наличии на диапазоне работы 2000 комбинаций ADC она была 30-40%. Вычисление второй и третьей производной приводило к значительно большим погрешностям. Поэтому при использовании компенсаторов с необходимостью вычисления производных стоит ограничиваться первым порядком.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ИСКРЕНИЯ В КОЛЛЕКТОРНЫХ МАШИНАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Бурец А. С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

При вводе в эксплуатацию после ремонта электровоза, должна производиться проверка всех электрических частей машины. Одним из испытаний является проверка работы двигателя под нагрузкой для определения уровня искрения, при определенной величине тока двигателя.

Метод проведения таких испытаний электровоза, в собранном состоянии, заключается в следующем: каждая из тележек секции электровоза поднимается на домкраты; предварительно устанавливаются датчики искрения и тока на щеткодержатели двигателей, и подключаются через АЦП к компьютеру. Далее запускается двигатель, и плавным сведением тормозных колодок создают нагрузку, и снимают зависимость величины искрения от тока нагрузки.

Одним из методов индикации искрения является измерение дополнительного тока коммутаций разрезной щеткой. Наличие ЭДС в коммутируемой секции приводит к появлению дополнительного тока коммутаций, величина и характер которого свидетельствует о нарушениях коммутационного процесса. При превышении определенной величины дополнительного тока под контактной поверхностью щетки возникает искрение. Таким образом, регистрируя величину и направление этого тока можно характеризовать коммутационный процесс, проходящий в двигателе.

В данном случае требуется одновременная регистрация величин дополнительного тока коммутаций и тока нагрузки, для того чтобы можно было оценить степень искрения двигателя при разных нагрузках. Для этого требуется датчик, который будет регистрировать 2 сигнала: якорный ток двигателя и дополнительный ток коммутаций. Поскольку по якорю протекает постоянный ток, его измерение следует проводить датчиком, основанным на использовании эффекта Холла.

Схема устройства датчика показана на рисунке 1.

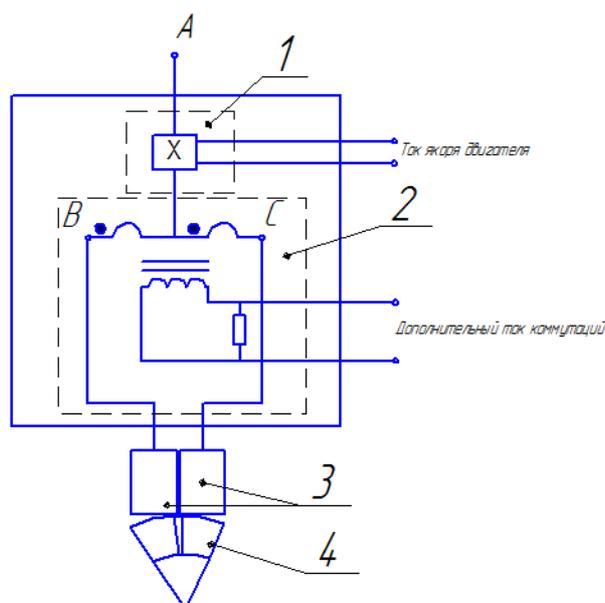


Рис. 1. Схема устройства: 1 – Датчик тока, основанный на использовании эффекта Холла [2]; 2 – Датчик искрения [1]; 3 – Щётки; 4 – Коллектор; А, В, С – Вводы устройства

Данное устройство, в соответствии со схемой (рисунок 1), будет выглядеть следующим образом (рисунок 2).

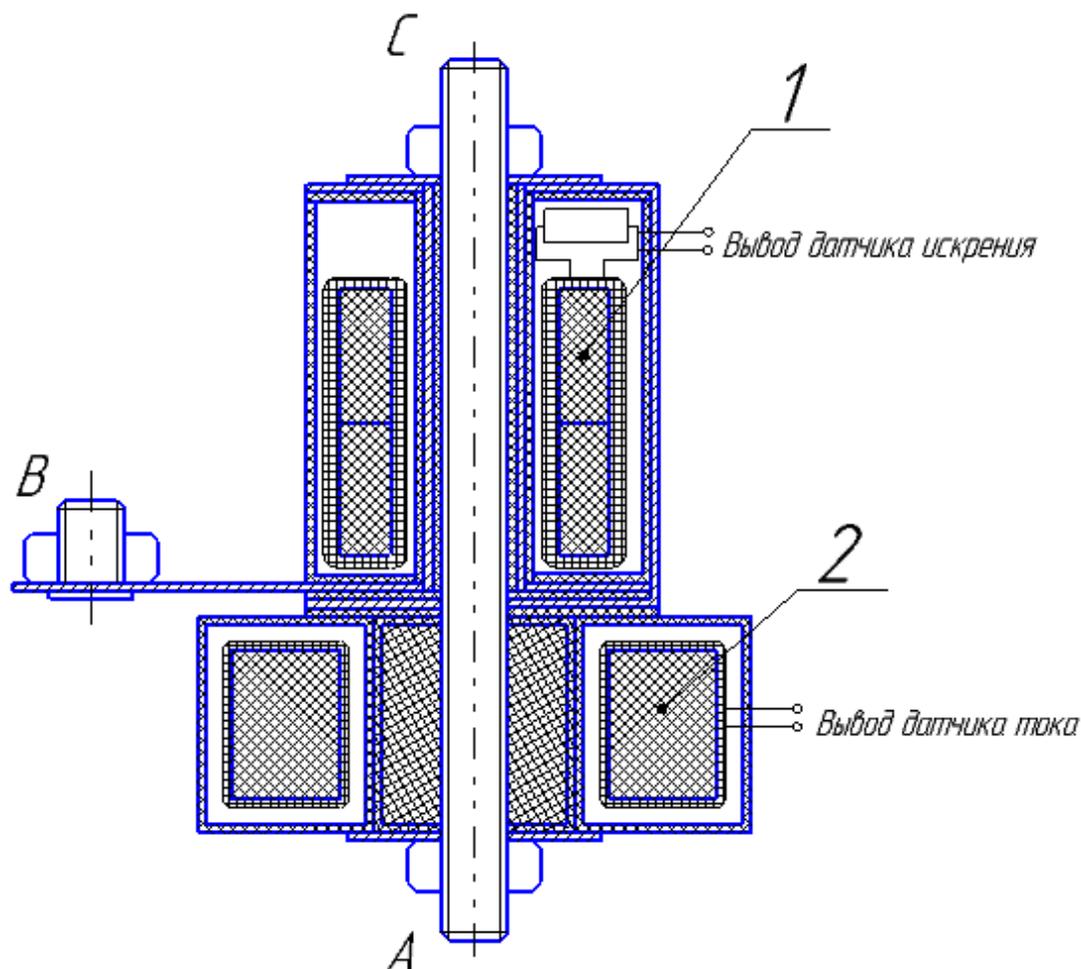


Рис. 2. Вид устройства: 1 – Датчик искрения; 2 – Датчик тока, основанный на использовании эффекта Холла

Анализ дополнительного тока коммутаций различного рода тяговых электродвигателей постоянного тока современных электровозов (например ТЛ2К1, НБ418К, ДПТ 820 и т.д.) показывает, что дополнительный ток коммутаций не превышает эффективных значений тока от 5 до 10 А. Поэтому для расчета датчика искрения принимаем величину дополнительного тока коммутаций равной 6 А.

Расчетные параметры датчика искрения следующие:

1. Материал сердечника – НМ2000;
2. Частота $f = 5 \text{ кГц}$;
3. Номинальный первичный ток $I_{1НОМ} = 4 \text{ А}$;
4. Номинальный вторичный ток $I_{2НОМ} = 90 \text{ мА}$;
5. Номинальная вторичная нагрузка $Z_{2НОМ} = 100 \text{ Ом}$;
6. Коэффициент мощности $\cos \varphi_2 = 0,8$;
7. Номинальная первичная М.Д.С. $F_{1Н} = 4 \text{ А}$;
8. Плотность тока $j = 0,3 \text{ А/мм}^2$;
9. Число витков вторичной обмотки $w_2 = 180$.

Так как требуется измерение величины тока только одной щетки двигателя, по которой протекает ток равный 90 А, то для измерения этого тока выбран датчик, основанный на эффекте Холла, марки MSA100 компании Mors Smitt.

Электрические характеристики датчика MSA100 представлены в табл.1.

Таблица 1. Электрические характеристики

Номинальный первичный ток, эфф. значения IPN	100 А
Диапазон измеряемых первичных токов IP	± 200 А
Номинальный вторичный ток, эфф. значения ISN	100 mA или 50 mA (ISN = IPN / KN)
Коэффициент преобразования KN	1:1000 / 1:2000 *
Сопrotивление вторичной обмотки при 70°C RS	20 Ω при KN= 1:1000 / 25 Ω при KN= 1:2000 *
Напряжение дополнительного питания VN	от ± 12 В пост. тока до ± 18 В пост. тока $\pm 5\%$
Потребляемый ток IC	± 24 mA + ISN при 18 В постоянного тока (ISN = ток вторичной обмотки)
Диэлектрическая прочность VD	3 кВ / 6 кВ (50 Гц – 1 мин.)*

Выбор данного датчика обусловлен его работой при номинальном первичном токе 100 А, а также при температурах от -50 до +85 °С, что делает возможным проведение испытаний в Сибирском регионе.

Вывод: Данное устройство упростит задачу проведения испытаний, а также может быть использован для мониторинга, чтобы контролировать работу двигателя в ходе эксплуатации. Недостатком этого устройства, является необходимость подведения к датчику тока дополнительного питания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ № 67284, 10.10.2007.
2. Измерительные преобразователи на эффекте Холла Mors Smitt [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.morssmitt.com>, свободный.

ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО ХАРАКТЕРИСТИКЕ ДОБАВОЧНОГО ТОКА КОММУТАЦИИ

Феоктистов К. А.

Национальный Исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Тяжелые условия эксплуатации локомотивов предъявляют высокие требования к техническому состоянию отдельных узлов и агрегатов. Особое место в них занимают тяговые электродвигатели (ТЭД), которые являются наиболее нагруженными и, одновременно, наиболее уязвимыми и неконтролируемыми узлами.

На долю ТЭД приходится свыше 50% возникающих неисправностей, из-за которых отрасль терпит убытки, связанные с внеплановыми ремонтами, простоями, исчисляемыми десятками часов, а также с аварийными ситуациями, нарушающими безопасность движения.

Одним из основных узлов тяговых электрических машин является коллекторно-щеточный узел (КЩУ). Большая часть неисправностей ТЭД связана с обмотками и проявляется в нарушении процесса коммутации. Увеличение искрения вызывается также многими причинами механического характера. Проявление нарушений коммутации в искрении коллекторно-щеточного узла давно рассматривается как показатель состояния машины постоянного тока и, в частности, ТЭД.

Целью наблюдения за искрением коллекторно-щеточных узлов ТЭД заключается в контроле качества коммутации тяговых электродвигателей при работе на электровозе, что позволяет: исследовать состояние ТЭД в разных режимах эксплуатации, предупреждать о появлении неисправности для своевременного принятия решения и сохранения работоспособности ТЭД.

Основной целью нашей исследовательской работы является создание системы контроля добавочного тока коммутации ТЭД во время эксплуатации в электровозах в следствии программной обработки информации и оценки искрения коллекторно-щеточного узла.

Для решения задач диагностики рассматривается применение устройство контроля искрения (УКИ) [3]. УКИ позволяет напрямую определить величину искрения в баллах, характер коммутации [4], частоту вращения двигателя после обработки сигнала [5]. Спектральный анализ сигнала даст возможность выявить электрические и механические дефекты двигателя, а так же позволит настроить магнитную систему двигателя. На рис.1 приведена спектрограмма сигнала УКИ, по оси y амплитуда в вольтах, по оси x частота в десятках Гц.

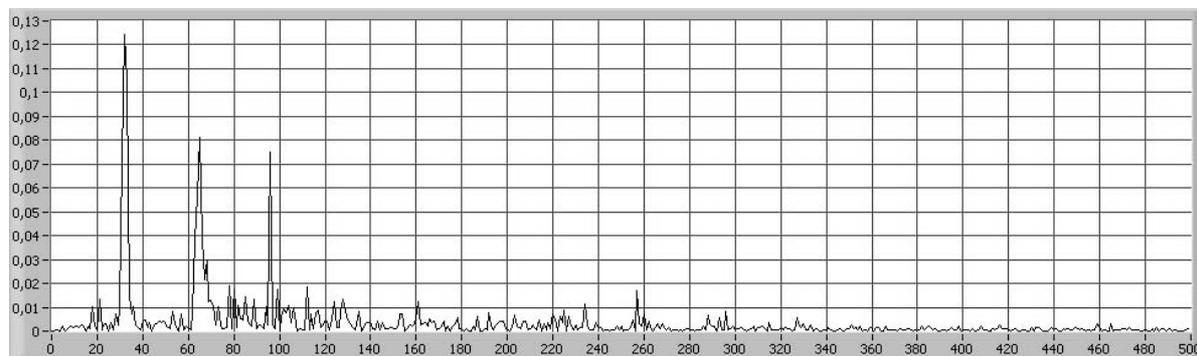


Рис. 1.

Алгоритм обработки сигнала показан на рис.2. Сигнал с УКИ подается на АЦП, в оцифрованном виде поступает в ПК. Программа, созданная в среде графического программирования LabView, выполняет необходимые вычисления и преобразования: фильтрацию сигнала от высокочастотных помех, вычисление бальности искрения по среднеквадратичному значению сигнала УКИ и характера коммутации, разложение в ряд Фурье для диагностики ТЭД и вычисления частоты вращения якоря. Результаты вычислений отображаются на экране монитора посредством экранных приборов.

На основании обработки сигнала УКИ, произведенного с помощью специального программного обеспечения, выводится информация о бальности искрения, характере коммутации, величинах магнитных зазоров под дополнительными полюсами ДПТ в относительных единицах.

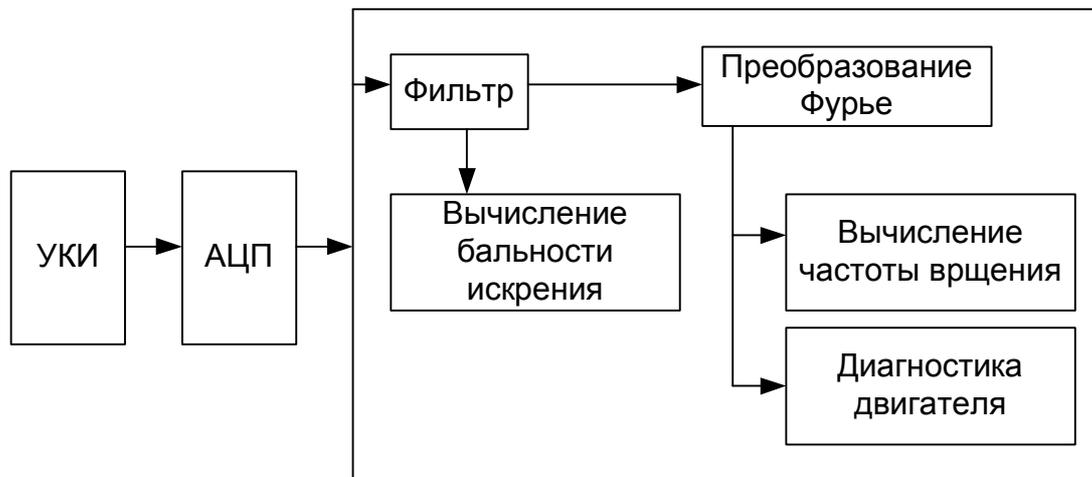


Рис. 2.

При выполнении научно-исследовательской работы будут решены следующие задачи:

- 1) Рассмотрена необходимая для исследования техническая литература;
- 2) Обоснование выбора добавочного тока коммутации в качестве информационного сигнала для диагностики ТЭД;
- 3) Разработка способа измерения добавочного тока с целью выявления технических неполадок ТЭД.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Ю. Коньков. Основы технической диагностики локомотивов // Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2007.
2. Петухов В.С., Жуков С.В. Диагностика состояния электродвигателей на основе спектрального анализа потребляемого тока. 2007.
3. Авилов В.Д., Беяев В.П., Исмаилов Ш.К., Харламов В.В. Диагностирование и настройка коммутации тяговых и других коллекторных электрических машин. Омск 2002, с. 63-66.
4. Авилов В.Д., Савельева Е.Н., Улучшение условий коммутации крупных машин постоянного тока с составными щетками, – В кн.: Тез. докладов науч.-техн. конф. кафедр Омского ин-та инж. Ж.-д. транспорта. – Омск, 1984, с.79-80.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Кормилин Ю. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Сфера применения

Автоматический выключатель служит для нечастых включений и отключений электрических цепей и защиты электроустановок от перегрузки и коротких замыканий, а также недопустимого снижения напряжения.

Расчет токоведущего контура

В результате расчета токоведущего контура был произведен расчет размеров сечения шины по термической стойкости, номинальному току. Также произведен

расчет площади сечения и размера гибкого соединения, контактного сопротивления коммутирующих контактов, расчет на термическую, динамическую стойкость.

Выбор и расчет дугогасительного устройства

Дугогасительная решетка дает возможность значительно сократить длину дуги и гасить ее в ограниченном объеме при малых звуковом и световом эффекте. Возникающая при отключении электрической цепи между контактами дуга втягивается в решетку, за счет электро- и аэродинамических сил.

Расчет электромагнитного расцепителя

Электромагнит устройство, создающее магнитное поле при прохождении электрического тока. Обычно электромагнит состоит из обмотки и ферромагнитного сердечника, который приобретает свойства магнита при прохождении по обмотке тока. В ходе работы была произведена разработка конструкции электромагнитного расцепителя таким образом, чтобы повысить надежность устройства и его технологичность. Чем технологичней устройство, тем дешевле, именно поэтому решение технологических проблем очень актуально.

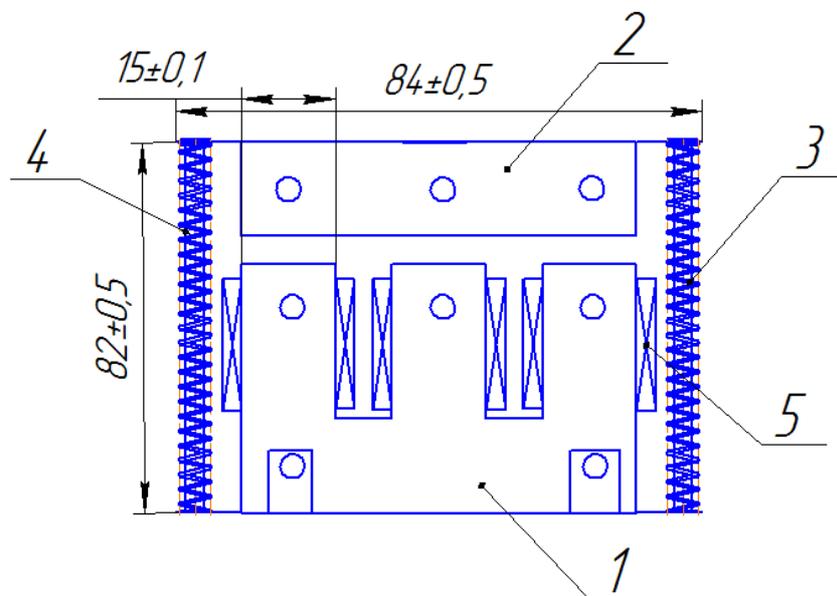


Рис. 1. Разработка эскиза электромагнитного расцепителя

Моделирование работы электромагнитных расцепителей

Для того чтобы выявить особенности работы расцепителя и явления, которые в нем происходят необходимо использовать различные программно-аппаратные комплексы. В данной работе моделирование осуществлено путем совмещения программ *MATLAB* и *ELCUT*. Взаимодействие между *ELCUT* и *MATLAB* происходит через программный интерфейс – *ActiveField*. Объектная модель состоит из объектов, которые соответствуют сущностям пользовательского интерфейса *ELCUT*: документы, окна, геометрические фигуры, метки, графики и т.д. На рисунке 2 показана структура объектной модели *ELCUT*.

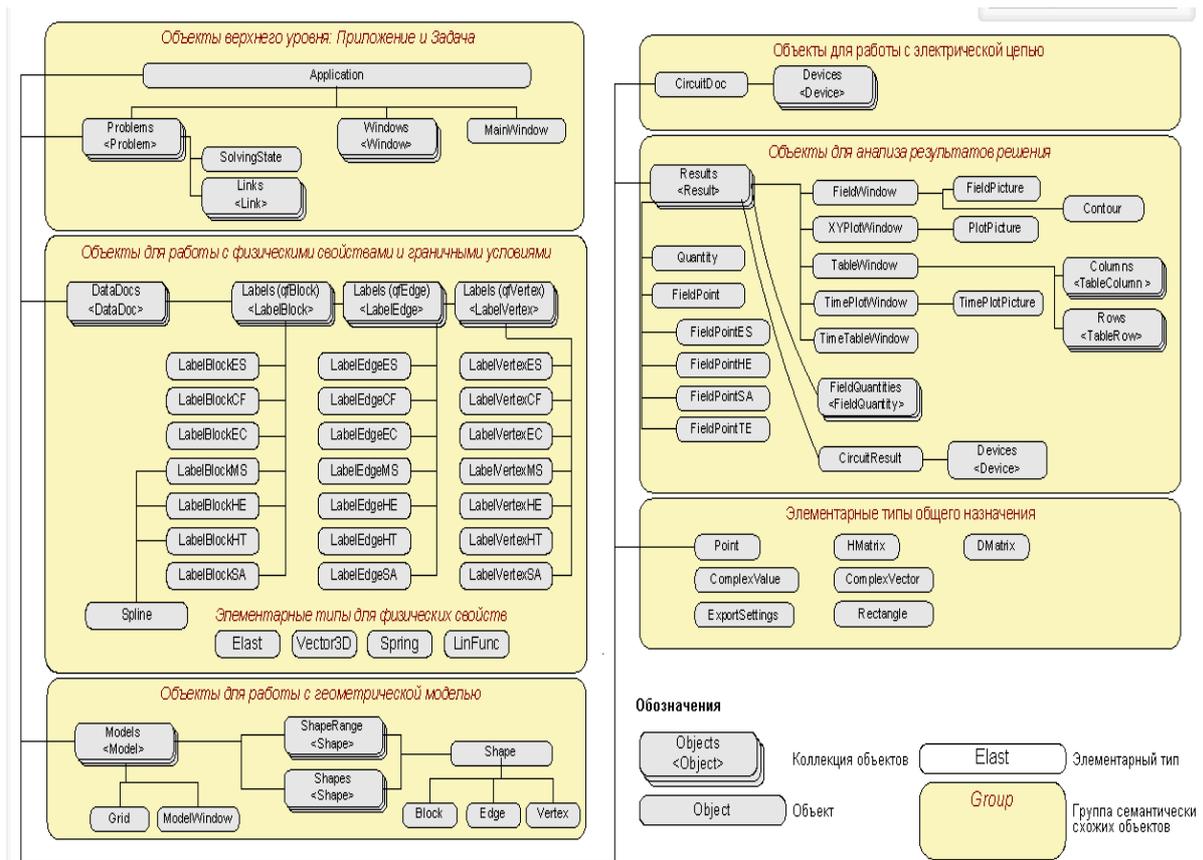


Рис. 2. Структура объектной модели ELCUT

Совместное использование ELCUT и MATLAB это хорошая альтернатива программированию в MATLAB. Этот подход даёт возможность использовать все преимущества средств MATLAB и в то же время подключить простой и быстрый "движок" ELCUT.

MATLAB работает как COM-клиент. Не требуется дополнительных действий для подключения библиотек ELCUT. Каждая переменная MATLAB может содержать указатель на COM-объект. Указатель можно получить двумя способами:

1. COM-объект может быть создан напрямую функцией actxserver;
2. Объект может быть получен в результате вызова методов или свойств другого объекта.

В ELCUT есть только один объект, создаваемый напрямую: объект Application. Каждая программа, использующая ELCUT, должна создать единственный объект Application следующим образом:

```
elc = actxserver ('ELCUT.Application');
```

Ко всем другим объектам ELCUT доступ обеспечивается посредством свойств Application и других объектов. Доступ к главному окну ELCUT возможен через свойство MainWindow объекта Application:

```
mainWnd = elc.MainWindow;
```

Теперь подробнее об особенностях работы в MATLAB:

Уравнения решаются в MATLAB. Динамическая связь используется, чтобы вызывать ELCUT и вычислять электромагнитную силу на каждом шаге. Вычисления заканчиваются, когда якорь полностью втянут. В ходе работы осуществлялось моделирование работы электромагнитов традиционного типа и Ш – образного типа (рис. 3.,4.).

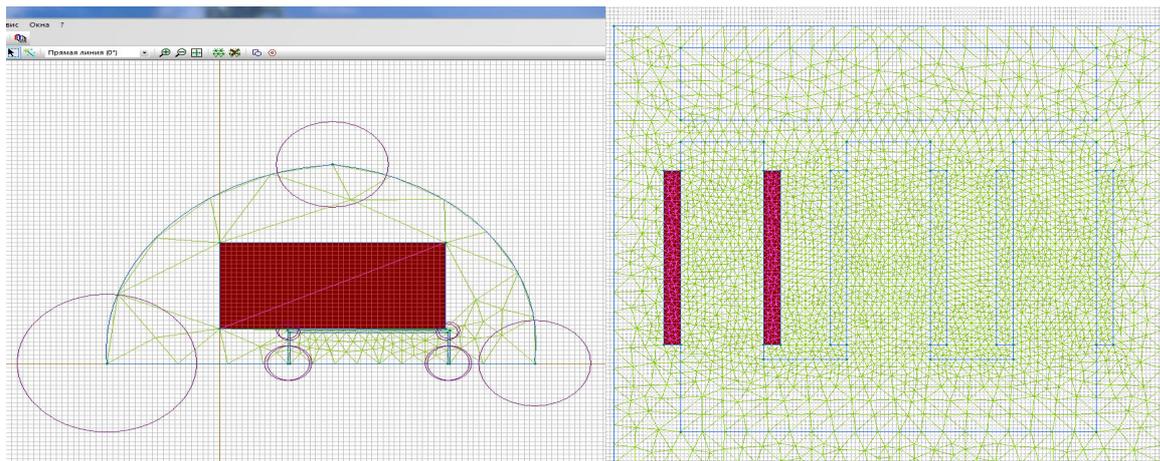


Рис. 3. Работа в программной среде *ELCUT* с расцепителями разного типа

Результат взаимодействия *MATLAB* и *ELCUT* представлен на рисунке 4. Кривые показывают быстродействие движения якоря расцепителей.

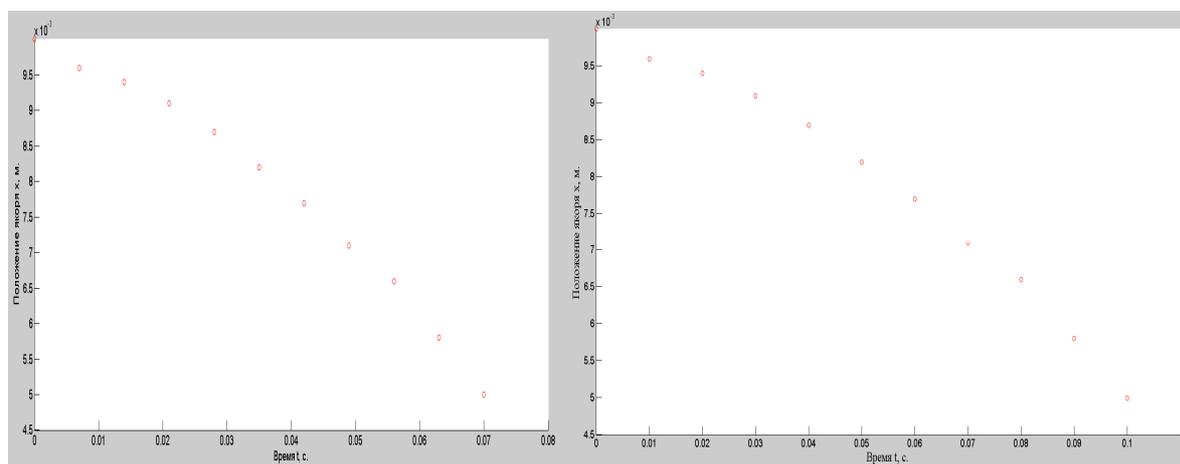


Рис. 4. Быстродействие расцепителей в *MATLAB*

Исходя из результатов моделирования (рисунок 4), можно сделать вывод, что расцепители имеют хорошие показатели быстродействия.

Также хотелось бы добавить, что в программной среде *ELCUT*, при моделировании работы электромагнитного расцепителя, имеется возможность наблюдения физических явлений, происходящих в процессе работы устройства. Например можно наблюдать распределение магнитного потока при работе расцепителя.

Также имеется возможность моделирования ситуации межфазного короткого замыкания во время работы расцепителя. Моделирование в *ELCUT* позволяет наглядно представить ситуацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сахаров П. В. Проектирование электрических аппаратов (Общие вопросы проектирования). Учебное пособие для студентов электрических вузов. - М.: Энергия, 1971.
2. Таев И. С. Электрические аппараты управления: Учебник для вузов по спец. Электрические аппараты. 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1984

3. Копылов Ю.В. «Расчёт магнитной цепи постоянного тока». Учебное пособие. Томск. Изд. ТПИ, 1985
4. Буль Б. К. Основы теории и расчёта магнитных цепей. М.-Л., издательство Энергия, 1964
5. Чунихин А. А. Электрические аппараты (общий курс). Учебник для энергетических и электротехнических институтов и факультетов. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Энергия, 1975.
6. <http://matlab.ru>
7. <http://elcut.ru>

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ТРОЛЛЕЙБУСА

Коробков А. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

Для приведения в движение троллейбуса необходим тяговый электродвигатель (ТЭД). Тяговый электродвигатель (или электродвигатели, если их несколько) приводит троллейбус в движение посредством передачи создаваемого им вращающего момента через специальные механизмы (тяговая передача) ведущим колесам, а также используется в процессе электродинамического или рекуперативного торможения. Таким образом, надежность троллейбуса непосредственно зависит от ТЭД. Моделирование эксплуатационной надежности ТЭД является важной частью расчета безотказной работы троллейбуса.

В данном случае объектом исследования является троллейбус марки АКСМ – 321, который широко применяется во многих городах России и стран СНГ.

АКСМ-321 – белорусский низкопольный троллейбус большой вместимости для внутригородских пассажирских перевозок, выпускаемый серийно с 2001 года на Белкоммунмаше. Относится к третьему поколению троллейбусов, разработанных заводом. На АКСМ – 321 установлен асинхронный двигатель марки ДТА-1У1, мощностью 180кВт.

Основные неисправности двигателя приведены в таблице 1.

Таблица 1. Неисправности двигателя

Отказавший узел	Вид отказов	Причина отказов
Обмотка статора	Пробой изоляции Снижение сопротивления изоляции	Перегрев обмотки Проникновение влаги внутрь двигателя
Ротор	Задир ротора о статор	Износ подшипника
Подшипник	Разрушение/заклинивание подшипника	Проникновение пыли и влаги Ошибки установки

На рисунке 1 показана динамика выхода из строя тягового электродвигателя. Использовались данные по отказам двигателей в период с июня 2013 года по июнь 2014 года.

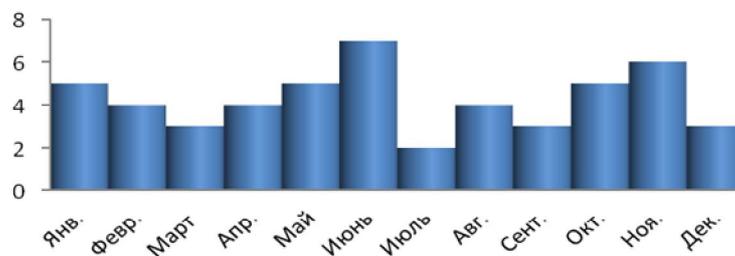


Рис. 1. Динамика выхода из строя тягового электродвигателя зависимости от времени года

Суммарное количество отказов за данный период равняется 43.

В таблице 2 приведены данные отказов асинхронных двигателей в период с июнь 2013 года по июнь 2014 года.

Таблица 2. Данные отказов асинхронных двигателей

Причина отказа	Количество отказов
Неисправность подшипников	30
Неисправность обмотки статора	9
Неисправность ротора	4
Всего	43

Произведем расчеты надежности троллейбусов:

Определим статистическую вероятность отказов за весь период по формуле (1):

$$P^* = \frac{m}{n}, \text{ где } m\text{-число отказов узла } n\text{- общее число отказов}$$

Статическая вероятность отказов подшипников:

$$P^*_{\text{п}} = \frac{m}{n} = \frac{30}{43} = 0.697 \quad (2)$$

Статическая вероятность отказов обмотки статора:

$$P^*_{\text{ос}} = \frac{m}{n} = \frac{9}{43} = 0.209 \quad (3)$$

Статическая вероятность отказов из-за неисправностей ротора:

$$P^*_{\text{р}} = \frac{m}{n} = \frac{4}{43} = 0.093 \quad (4)$$

На рисунок 2 представлена гистограмма вероятностей отказов двигателей.

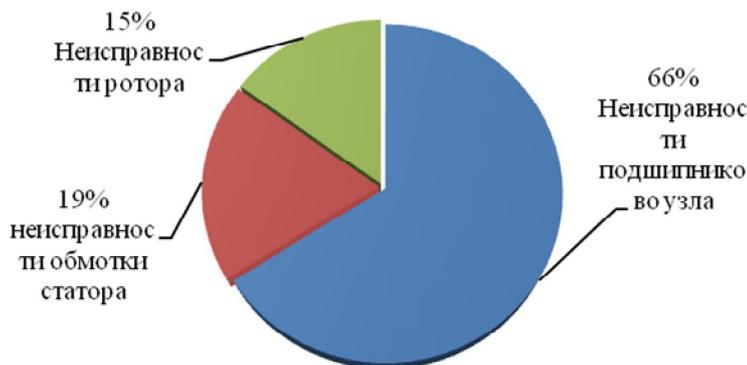


Рис. 2. Отказы основных узлов тягового электродвигателя ДТА 1У1

В математической статистике часто возникает задача определения на основе имеющихся статистических данных закона распределения случайной величины. В этом случае выдвигается гипотеза о математической модели распределения. Известные методы позволяют подтвердить соответствие имеющегося статистического материала выдвинутой гипотезе о законе распределения.

I. Исходные параметры:

1. Абсолютная частота отказов - количество наработок на отказ (n) отнесенное к интервалу

2. Границы интервалов км.

3. Количество интервалов m .

II. Выходные параметры:

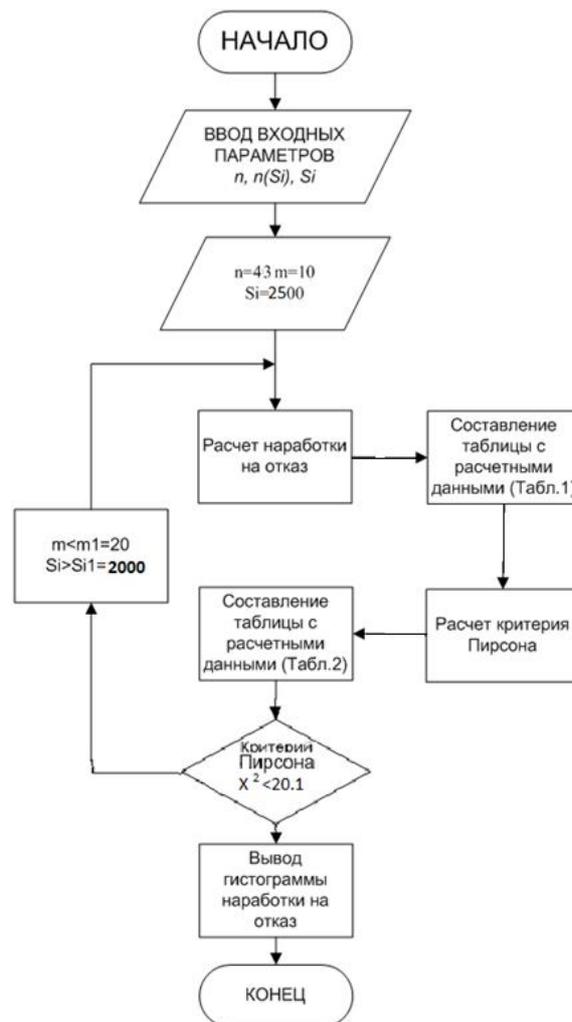
1. Вероятность безотказной работы

2. Интенсивность отказов

III. Ограничения: Критерий Пирсона

Тяговый двигатель является самым важным элементом в троллейбусе. Анализ надежности необходим для разработки и уточнения методик расчета электрических машин, совершенствование технологии изготовления, создания и улучшения систем защиты и правил технической эксплуатации.

Алгоритм моделирования надежности тягового электродвигателя, троллейбуса.



Случайной величиной является время до отказа (наработка на отказ). По данным, полученным в ходе практики, произведем математическую обработку. На данном этапе рассчитаем интенсивность отказов.

Количество случайных чисел (наработок на отказ) $n = 10$. Максимальный член ряда $s_{max} = 25346$ км. Минимальный член ряда $s_{min} = 573$ км.

Весь диапазон значений случайной величины - наработок на отказ разбивается на интервалы. Для удобства расчетов интервалы целесообразно принимать равными. Определяем величину интервала по формуле:

$$\Delta s = \frac{s_{MAX} - s_{MIN}}{m} = \frac{25346 - 573}{10} = 2477,3 \text{ км} \quad (5)$$

В нашем случае для получения интервалов равной длины принимаем $\Delta s = 2500$ км, т.к. при этом количество интервалов $m=10$.

Расчет проведем по одному интервалу, для остальных расчет аналогичен. Результаты сведем в таблицу 3.

Таблица 3. Обработка статистических данных об отказах

Границы интервалов Δs_i , км	Абсолютная частота отказов $n(\Delta s_i)$	Относительная частота отказов $\frac{n(\Delta s_i)}{n \cdot \Delta s}$	Вероятность отказа $Q = \frac{n(\Delta s)}{n}$	Вероятность безотказной работы $P(s) = 1 - \frac{n(\Delta s)}{n}$	Интенсивность отказов $\lambda = \frac{n(\Delta s_i)}{\Delta s_{СРЕД} \cdot \Delta s}$
0-2500	3	0,000025	0,069767	0,930233	2,58065E-05
2500-5000	2	1,66667E-05	0,104167	0,895833	1,75824E-05
5000-7500	3	0,000025	0,166667	0,833333	2,72727E-05
7500-10000	3	0,000025	0,229167	0,770833	2,82353E-05
10000-12500	4	3,33333E-05	0,3125	0,6875	3,95062E-05
12500-15000	4	3,33333E-05	0,395833	0,604167	4,15584E-05
15000-17500	5	4,16667E-05	0,5	0,5	5,55556E-05
17500-20000	5	4,16667E-05	0,604167	0,395833	5,97015E-05
20000-22500	5	4,16667E-05	0,708333	0,291667	6,45161E-05
22500-25000	9	0,000075	0,895833	0,104167	0,000135849

Первому интервалу 0-2500 километров, соответствует 3 отказа, т.е. является абсолютной частотой отказов на данном интервале. Теперь можно рассчитывать относительную частоту отказов:

$$\frac{n(\Delta s_i)}{n \cdot \Delta s} = \frac{3}{10 \cdot 2500} = 0,000025, \quad (6)$$

где $n=8$ – общее число экспериментальных точек.

Относительная частота является одновременно оценкой частоты отказов. Высота каждого прямоугольника соответствует относительной частоте отказов в интервале Δs_i .

Далее определяем вероятность отказа:

$$Q = \frac{n(\Delta s)}{n} = \frac{3}{10} = 0,3, \quad (7)$$

где $n(\Delta s_i)$ суммарное число отказов к пройденному расстоянию s .

Накопленная частота всех интервалов должна быть равна единице, потому как получаются в результате последовательного сложения следующих одна за другой относительных частот.

Теперь можно определить вероятность безотказной работы:

$$P(s) = 1 - \frac{n(\Delta s)}{n} = 1 - \frac{1}{10} = 0,93 \quad (8)$$

Рассчитываем интенсивность отказов:

$$\lambda = \frac{n(\Delta s_i)}{\Delta s_{СРЕД} \cdot \Delta s} = \frac{3}{46,5 \cdot 2500} = 0,0000258, \quad (9),$$

где $\Delta s_{СРЕД}$ - среднее число исправно работающих машин в интервале Δs_i ,

По данным таблицы 3 строим гистограмму, рисунок 3.

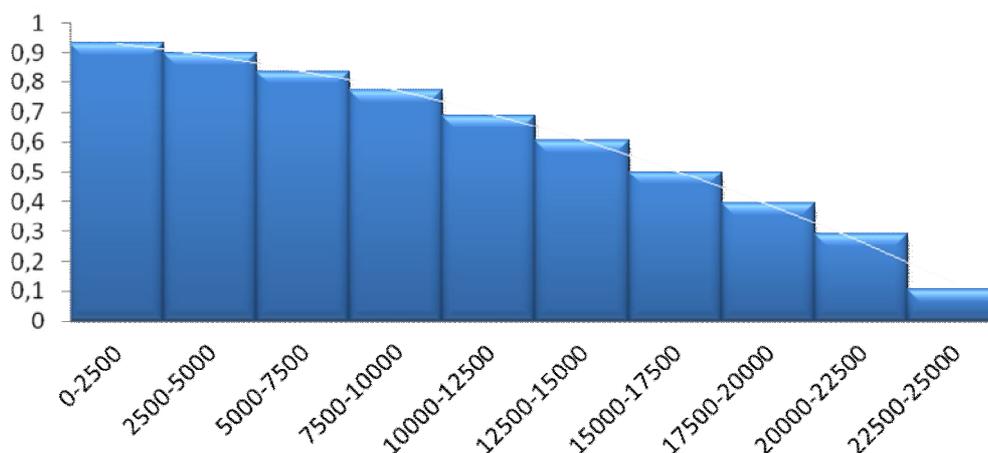


Рис. 3. Гистограмма наработки на отказ

Исходя из характера гистограммы, можно предположить, что исследуемая величина распределена по экспоненциальному закону.

Таким образом, в результате проделанного расчета получены фактические значения наработки на отказ подшипникового узла, а также построена гистограмма наработок на отказ. В данной работе был разработан общий алгоритм моделирования надежности тягового электродвигателя троллейбуса. Согласно этому алгоритму, возможно смоделировать надежность определенного узла троллейбуса, т.е. для надежности узлов в троллейбусе может использоваться общий алгоритм, разработанный в данной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захарченко П. И., Ширнин И.Г., Ванев Б. Н., Гостищев В. М. Обеспечение надежности асинхронных двигателей// УкрНИИВЭ,-Донецк, 1998. - 324 с.
2. Кузнецов Н. Л. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов / Н. Л. Кузнецов - М.: Издательский дом МЭИ, 2006. -432с.
3. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин : учебник / Н.Ф. Котеленец, Н. А. Акимова, М. В. Антонов ; Под ред. Н. Ф. Котеленца.М. : Академия, 2003. — 384 с.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА СОЗДАНИЯ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ (Н) ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ОПТИКО-ЭМИССИОННЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ

Прямушко Т. С., Кудияров В. Н., Лаптев Р. С., Бабихина М. Н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение. В последнее время одно из ведущих мест среди перспективных направлений исследований занимает вопрос о разработке альтернативного источника энергии, который будет не только высокоэффективным и экологически чистым, но и ресурсоэффективным [1–2]. Одним из наиболее перспективных источников энергии является водород, при этом вопрос о его безопасном хранении до сих пор остаётся открытым. Для решения данной проблемы проводится множество работ по исследованию материалов-накопителей водорода, которые сопровождаются измерением концентраций водорода в образце, а также получению профилей распределения водорода в объеме образца.

К сожалению, определение концентрации водорода является довольно сложной задачей, поскольку большинство аналитических методик не чувствительны к водороду. Для определения количественного послойного элементного состава в последнее время широко используется метод оптической эмиссионной спектроскопии плазмы тлеющего разряда (GD-OES) [3–4], имеющий высокую аналитическую точность и высокую скорость сканирования (до 9 мкм/мин) [5]. Проведение количественного анализа содержания водорода возможно при наличии аттестованных стандартных образцов, которые отвечали бы требованиям по форме и геометрическому размеру. Кроме того, содержание водорода в таких образцах должно варьироваться в широком диапазоне, однако в современных образцах оно составляет, как правило, 25 ppm [6].

В связи с этим возникает необходимость в создании калибровочных образцов по водороду различных геометрических размеров в широком диапазоне концентраций. В настоящей работе рассмотрена методика подготовки калибровочных образцов по водороду различной формы для оптической эмиссионной спектроскопии плазмы тлеющего разряда.

Материалы и методы.

Разработка стандартных образцов по водороду для оптической эмиссионной спектроскопии плазмы тлеющего разряда осуществлялась на титановом сплаве ВТ1-0. Было подготовлено 5 образцов цилиндрической формы диаметром 10 мм и высотой 10 мм.

Перед насыщением проводилась шлифовка и полировка поверхности образцов. В целях удаления дефектов и снятия внутренних напряжений проводился отжиг, температура отжига $T=800$ °С, время $t=60$ мин. Насыщение проводилось из газовой среды с использованием автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller LBP [7]. Параметры насыщения и конечные концентрации водорода в образцах представлены в таблице 1. Главной задачей являлась подборка параметров насыщения для создания образцов с равномерным распределением водорода по всему объему.

Затем проводилось исследование распределения элементов, в частности водорода, в образцах при помощи оптического эмиссионного спектрометра плазмы тлеющего разряда (GD-OES) Profiler-2 фирмы Horiba. Распыление проводилось при давлении 700 Па и мощности разряда 40 Вт. Распыление проводилось с двух сторон для определения равномерности распределения водорода в образце с обеих сторон. Непосредственно перед распылением проводилась плазменная очистка поверхности в течение 30 секунд при давлении 650 Па и мощности разряда 5 Вт.

Таблица 1. Параметры насыщения образцов водородом

Режим	Параметры насыщения
1	T=800 °C, p=0,05 атм, C=0,41 масс.%, 4,5 ч
2	T=800 °C, p=0,1 атм, C=0,43 масс.%, 5 ч
3	T=800 °C, p=0,6 атм, C=0,99 масс.%, 2 ч
4	T=800 °C, p=0,6 атм, C=1,14 масс.%, 1 ч
5	T=800 °C, p=0,6 атм, C=1,39 масс.%, 1 ч

Результаты и обсуждение.

Насыщение образцов в первом и втором режимах проводилось длительное время ($\approx 4,5$ -5 часа), что может быть связано с низким давлением в реакционной камере. В результате концентрации водорода в данных образцах составила $C_1=0,41$ масс.% и $C_2=0,43$ масс.%.

При насыщении в режиме 3 образец насытился до необходимой концентрации $C=0,91$ масс.% за 2 часа. Увеличение скорости сорбции водорода в данном случае можно связать с увеличением давления в реакционной камере. Конечная концентрация водорода в образце – $C_3=0,99$ масс.%.

Наводороживание образца до концентрации $C=0,91$ масс.% в четвертом режиме произошло за 1 час. Конечная концентрация водорода составила $C_4=1,14$ масс.%. Насыщение образца в режиме 5 до концентрации $C=0,91$ масс.% проводилось в течение 1 часа. Конечная концентрация образца составляет $C_5=1,39$ масс.%.

Стандартные образцы должны быть однородными, то есть иметь равномерное распределение элементов по всему объему. Исходя из этого, первым этапом исследования образцов является определение равномерности распределения водорода. На рисунке 1 представлены профили распределения водорода в образцах с различными концентрациями.

Как видно из графиков, линии водорода для образцов с концентрацией $C_1=0,41$ и $C_2=0,43$ масс. % имеет одинаковую форму. При распылении поверхности в течение 5 секунд наблюдается явно выраженный пик ($0,25$ - $0,30$ В), который связан с накоплением водорода преимущественно у поверхности. Затем происходит резкий спад интенсивности до $0,03$ В и ее выравнивание при значении $0,05$ В (рисунок 1). При этом значения интенсивности с первой и второй сторон отличаются друг от друга.

Для образца с концентрацией $C_3=0,99$ масс. % в первые 5 секунд распыления так же наблюдается явно выраженный пик интенсивности ($0,30$ - $0,35$ В), затем интенсивность спадает и выходит на постоянный уровень $\approx 0,10$ В. В данном случае при распылении образца с обеих сторон в течение 45 секунд не наблюдается изменений в профиле распределения водорода, из чего можно предположить, что водород в данном образце имеет равномерное распределение.

При повышении концентрации водорода до $C_4=1,14$ масс. % профиль распределения водорода в образце имеет значительные изменения относительно образцов с малыми концентрациями (рисунок 1). В данном случае при распылении не наблюдается резких изменений интенсивности линии водорода. После 5 секунд распыления интенсивность резко возрастает (до $\approx 0,35$ В), затем линия выходит на насыщение. Следует отметить, что при измерении стороны 1 значительного уменьшения линии интенсивности с течением времени не наблюдается. Однако, для стороны 2 наблюдается постепенное уменьшение интенсивности после 10 секунд распыления до $\approx 0,27$ В, что свидетельствует о неравномерном распределении водорода в данном образце.

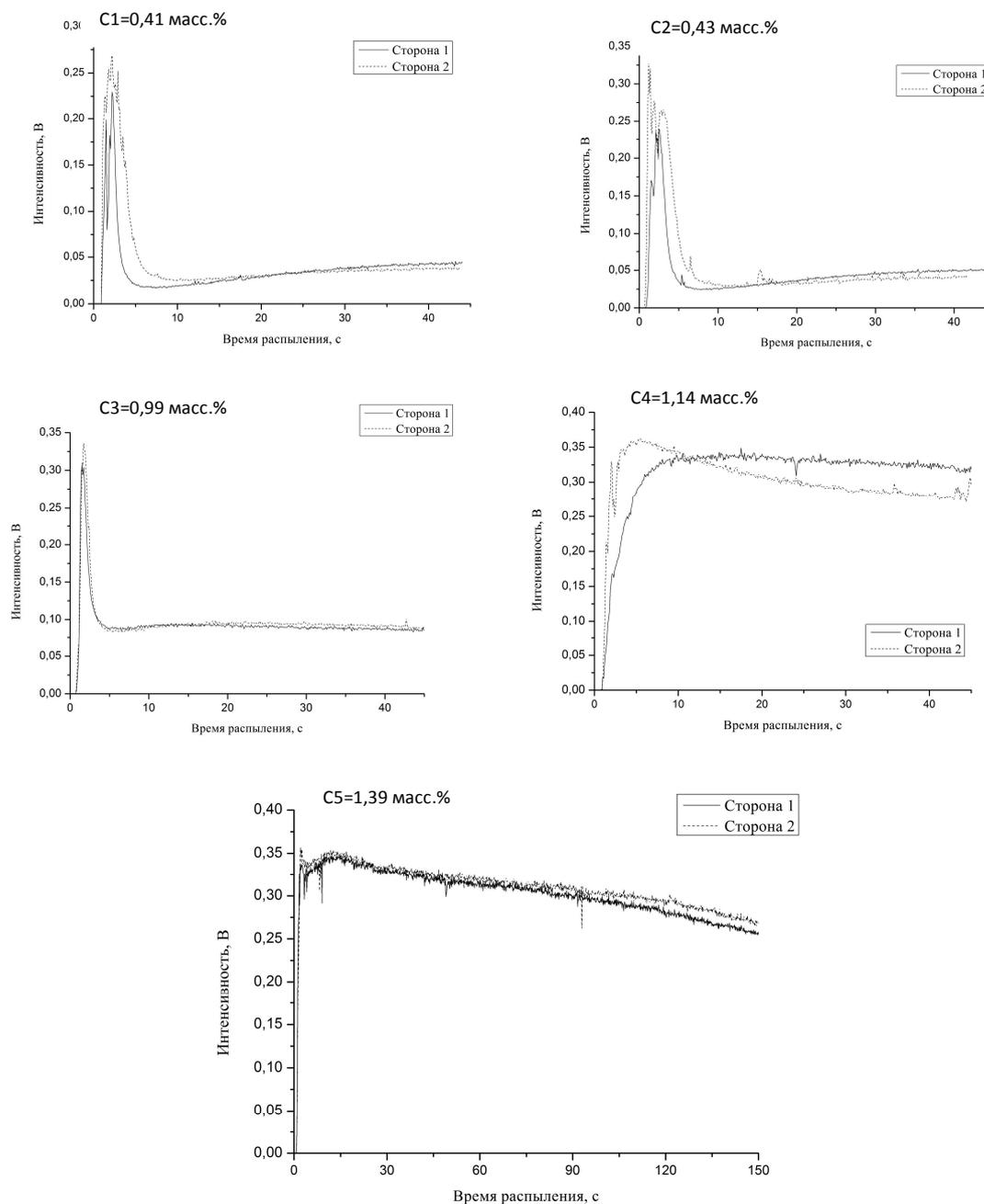


Рис.1. профили распределения интенсивности выхода водорода для образцов с различными концентрациями

Для того чтобы проверить предположение о неравномерном распределении водорода вглубь материала, образец с наибольшей концентрацией ($C_5=1,39$ масс. %) был распылен в течение 150 секунд (рисунок 1). В данном случае также наблюдается резкое возрастание интенсивности линии водорода в течение 5 секунд распыления до 0,35 В. Затем происходит постепенное снижение интенсивности, и при распылении в течение 150 секунд значение интенсивности уменьшается до $\approx 0,27$ В. Линии интенсивности для обеих сторон не отличаются друг от друга. Глубина кратера после распыления поверхности не превышает 50 мкм.

При анализе профилей распределения водорода в образцах было установлено, что с увеличением времени наводороживания линии распределения водорода имеют более равномерный характер.

Заключение. В ходе данного исследования было установлено, что для насыщения водородом образцов технически чистого титанового сплава VT1-0 толщиной 10 мм необходимо осуществление наводороживания при давлениях не ниже 0,6 атм. По результатам, полученным на спектрометре плазмы тлеющего разряда, показано, что после наводороживания образцов в данных режимах приводит к неравномерному распределению водорода по объему материала. При этом увеличение времени насыщения, увеличивается равномерность распределения водорода по объему образца. Для установления влияния давления в реакционной камере и толщины образца на равномерность распределения водорода необходимо проведение дополнительных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.o8ode.ru>
2. Широких Е. И. Концепция алюмоводородной энергетики // Вест. Ижев. гос. с.-х. акад. – 2008. – № 3 (17). – С. 68-76.
3. Шапон П. Определение общего содержания элементов и анализ слоев с помощью оптической спектроскопии высокочастотного тлеющего разряда. // Аналитика и контроль. - 2007 - Т. 11. – № 1. - С. 46-51.
4. Пупышев А. А. Тлеющий разряд по Гримму. Физические основы, исследование. // Аналитика и контроль. - 2007. - Т. 11. – № 2 - 3. - С. 74-130.
5. Nakamura H. Measurement of deuterium and helium by glow-discharge optical emission spectroscopy for plasma-surface interaction studies // Fusion Engineering and Design. 2012. V. 87. – № 7–8. P. 1091-1094.
6. Пушилина Н.С., Кудияров В.Н., Николаева А.Н. Разработка методики подготовки калибровочных образцов по водороду для оптической эмиссионной спектрометрии плазмы тлеющего разряда // Известия высших учебных заведений. – 2014.
7. Kudiiarov V.N., Gulidova L.V., Pushilina N.S., Lider A.M. Application of automated complex Gas Reaction Controller for hydrogen storage materials investigation // Adv. Mater. Res. – 2013. – Т. 740. – P. 690-693.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЬНЫХ И АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Сафонов В. В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящее время вентильные двигатели (ВД), которые находят все более широкое применение в различных областях современной техники благодаря своей надежности, обусловленной отсутствием скользящих электрических контактов и хорошим регулировочным характеристикам, не уступающим характеристикам традиционных электрических машин, однако в настоящее время асинхронные двигатели также имеют хорошие показатели. Но не смотря на это в космической, авиационной, нефтяной и газовой отрасли необходимо использование вентильных двигателей.

Цель работы – провести сравнительный анализ характеристик вентильных и асинхронных двигателей разных мощностей для космической и авиационной техники,

нефтяной и газовой отрасли, в которой возможны большие перегрузки, перегревы и высокий срок службы.

Среди основных тенденций развития электромеханики можно выделить:

- вытеснение коллекторных электромеханических преобразователей бесколлекторными или полностью бесконтактными;
- интеграцию с электронными компонентами, информационно - управляющими системами, накопительными комплексами;
- использование постоянных магнитов последнего поколения;
- внедрение малоотходных технологий.

Большинству из этих тенденций соответствует вентильный двигатель с постоянными магнитами (ВДПМ).

В настоящее время, несмотря на промышленное освоение ВДПМ, многие вопросы их теории, проектирования, исследования и разработки остаются малоизученными и требуют дополнительного анализа и подробного рассмотрения.

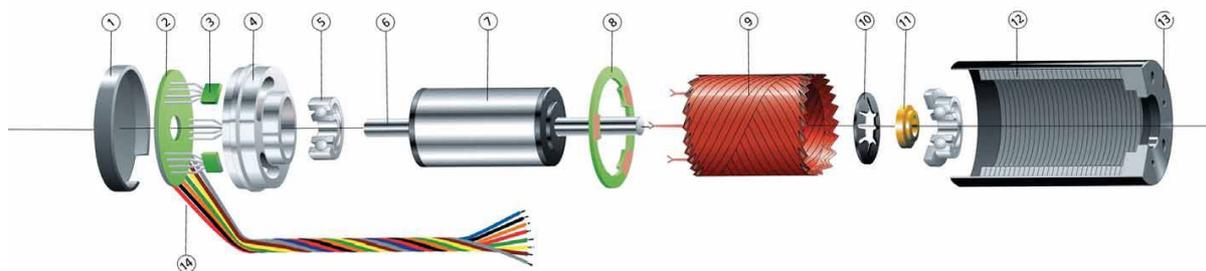


Рис.1. Структура вентильного двигателя.

1 – задняя крышка, 2 – печатная плата датчиков, 3 – датчики Холла, 4 – втулка подшипника, 5 – подшипник, 6 – вал, 7 – магниты ротора, 8 – изолирующее кольцо, 9 – обмотка, 10 – тарельчатая пружина, 11 – промежуточная втулка, 12 – изоляция, 13 – корпус, 14 – провода

Характеристики двигателей

Моя работа посвящена анализу энергетических и нагрузочных характеристик. В ходе литературного анализа:

- <http://epu-itc.ru/info/drive>
- http://www.borets.ru/upload/listovki/vent_dvig.pdf
- <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/837592>
- http://www.borets.ru/upload/listovki/vent_dvig.pdf
- <http://cyberleninka.ru>
- <http://www.dissercat.com>

Была выбрана линейка двигателей мощностью от 5-40 кВт. По предварительным расчетам были получены характеристики (рис.1,2,3).

Из диаграмм видно, что вентильные двигатели имеют существенно меньший потребляемый ток и ток холостого хода, более высокий КПД и коэффициент мощности.

Существенно меньшее энергопотребление, за счет:

- более высоких значений КПД (91-92%);
- меньшие значения рабочих токов, что обеспечивает снижение потерь мощности в кабельной линии;
- регулирования частоты вращения в широком диапазоне при постоянном моменте.

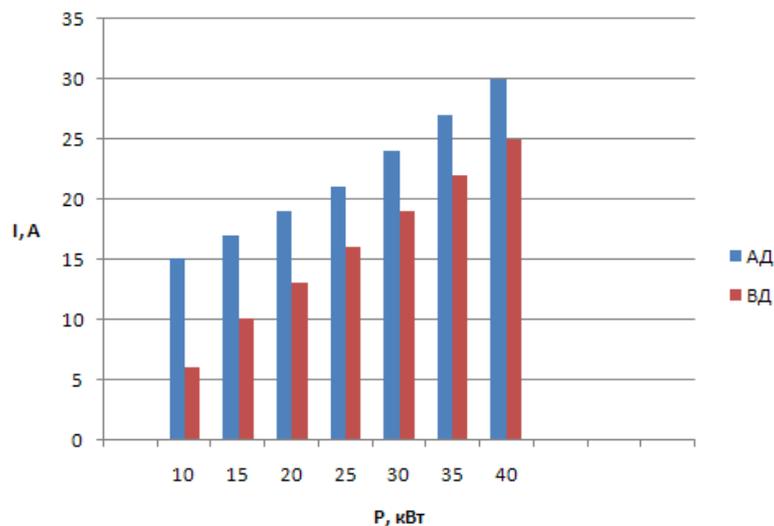


Рис.2. Нагрузочная характеристика АД и ВД

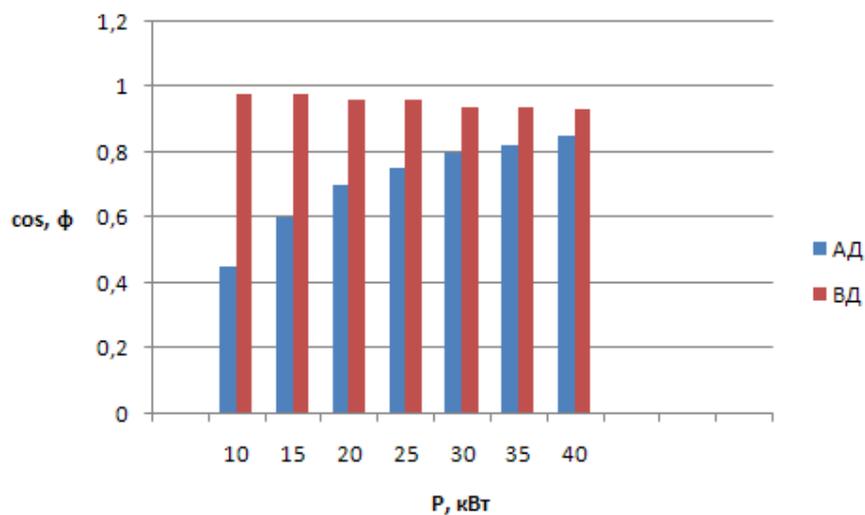


Рис.3. Cosφ АД и ВД

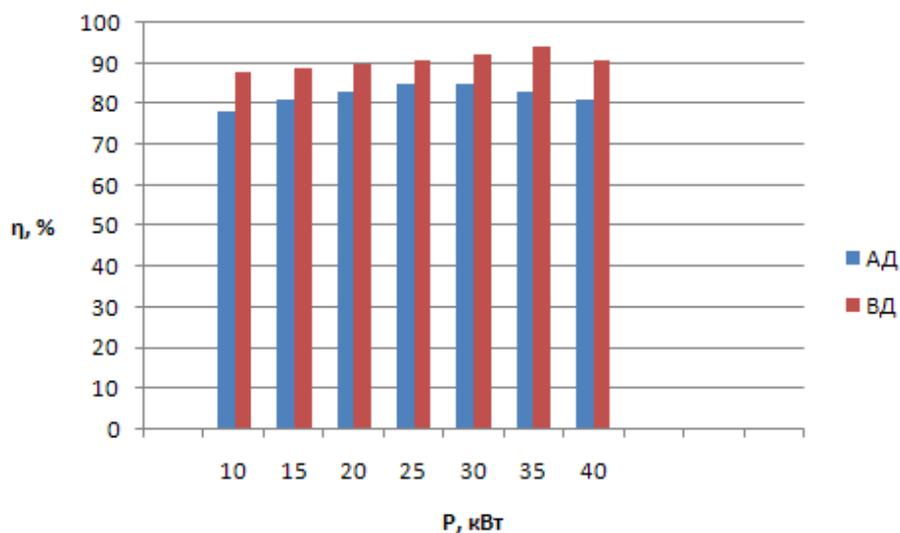


Рис.4. КПД АД и ВД

Также можно определить, что энергетические показатели вентильных двигателей малых мощностей гораздо выше, чем у асинхронных двигателей, следовательно, применимость таких двигателей возрастает.

Преимущества и недостатки вентильных двигателей

Перечислим достоинства ВД на базе синхронных машин с возбуждением от высококоэрцитивных постоянных магнитов Nd-Fe-B:

1. Бесконтактность и отсутствие узлов, требующих обслуживания (нет щеточно-коллекторного узла и контактных колец).

Как следствие:

- Существенно повышается ресурс и надежность электропривода. Нарботка на отказ составляет 10000 ч и более.

- Упрощается эксплуатация двигателя.

- Появляется возможность использования ВД во взрывоопасной и агрессивной среде.

2. Вентильная коммутация тока в обмотках допускает значительное напряжение между выводами — до нескольких тысяч вольт. Обычный механический коллектор удовлетворительно работает при напряжении между коллекторными пластинами не более 30—32 В (максимальное допустимое 37—42 В).

3. Широкие возможности по регулированию выходных показателей электропривода при относительной простоте реализации системы управления.

- Обеспечивается широкий диапазон регулирования частоты вращения (до 1:10000 и более).

- Имеется возможность оптимизации режимов работы при изменении скорости и нагрузки. Это также способствует повышению ресурса электродвигателя и всего агрегата.

4. Большая перегрузочная способность по моменту (кратковременно кратность максимального момента равна 5 и более).

5. Высокие энергетические показатели (КПД и $\cos\varphi$).

- КПД вентильных двигателей могут превышать 90%, $\cos\varphi$ ВД – более 0,95.

Высокий КПД обусловлен тем, что основные электрические и магнитные потери в роторе ВД с возбуждением от постоянных магнитов отсутствуют. Также мал ток холостого хода.

Высокий $\cos\varphi$ обеспечивается рациональным выбором угла включения фазы. А это может быть достигнуто путем соответствующей настройки датчика положения ротора или при векторном управлении.

- КПД вентильного двигателя мало меняется при изменении нагрузки и при колебаниях напряжения питающей сети.

6. Более низкий перегрев ВД по сравнению с АД при одинаковой мощности и одинаковых размерах.

Перегрев в этом случае зависит от потерь, величина которых тем меньше, чем выше КПД и $\cos\varphi$.

- Это увеличивает ресурс изоляционных материалов, а значит и срок службы электропривода в целом.

- Это позволяет электроприводу работать в нестандартных режимах с возможными перегрузками.

- Меньшие масса и габаритные размеры.

Недостатки ВД

- Относительно более сложная система управления двигателем.

- Высокая стоимость двигателя при использовании дорогостоящих постоянных магнитов в конструкции ротора.

В дальнейшем моя работа будет заключаться в проектировании вентильного двигателя на основании асинхронного двигателя ДАТ-164, чертеж представлен на рис.5. На базе этой машины будут проведены расчеты с разными видами роторов. Также будет производиться моделирование в программах Elcut и ANSYS. По полученным данным будет проводиться сравнение энергетических и нагрузочных характеристик.

После того, как определится приоритетная конструкция, будет создана конструкторская документация, которая в последствии будет передана на производство.

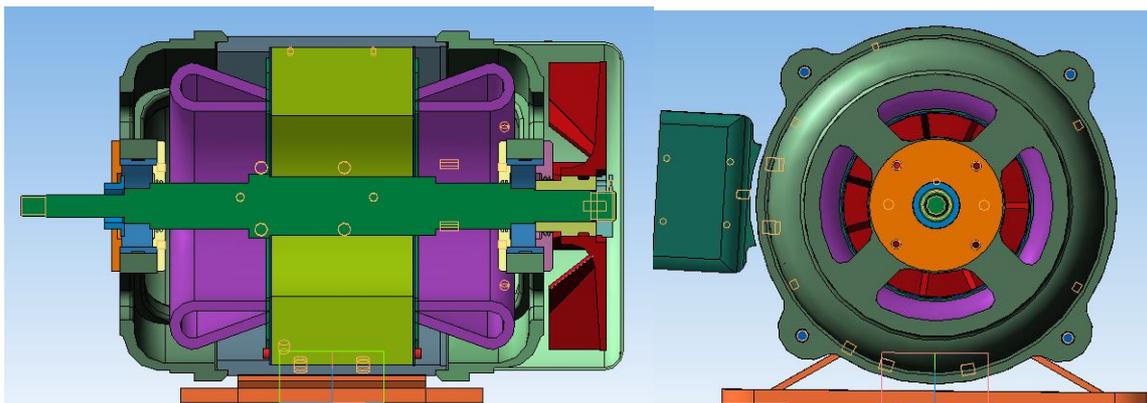


Рис.5. Асинхронный двигатель ДАТ 164

ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинников И.Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе Курс лекций. - СПб., КОРОНА-Век, 2006
2. Дубенский, А. А. Бесконтактные двигатели постоянного тока. М.: Энергия, 1967.
3. Овчинников, И. Е. Энергетические характеристики бесконтактных двигателей и их оптимизация// Двигатели постоянного тока с полупроводниковыми коммутаторами. Л.: Наука, 1972. С. 19-38.
4. Волокитина Е.В., Новые моментные вентильные электродвигатели для прецизионных электроприводов технологических роботов и металлообрабатывающего оборудования// Мехатронные системы, исполнительные устройства. - 2011.-№4.
5. Сонных М., Основные технические особенности вентильных двигателей// Инновации, технологии, модернизации.- 2010.
6. Панкратов В.В., вентильный электропривод: от стиральной машины до металлорежущего станка и электровоза// Электронные компоненты.- 2007.-№2.
7. <http://epu-itc.ru/info/drive>
8. http://www.borets.ru/upload/listovki/vent_dvig.pdf
9. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/837592>
10. http://www.borets.ru/upload/listovki/vent_dvig.pdf
11. <http://cyberleninka.ru>
12. <http://www.dissercat.com>

СРАВНЕНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С РАЗНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ОБМОТОК РОТОРА

Виноградов Д. С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Актуальность настоящей работы обусловлена всё более увеличивающимися требованиями к повышению КПД у электрических машин. Так как во многих электроприводах требуется изменение частоты вращения, то использование асинхронных двигателей с частотным преобразователем является приоритетным из-за большего КПД таких двигателей.

Цель работы – создание математической модели асинхронного двигателя в среде *ansys Maxwell* для сравнения разных материалов обмотки короткозамкнутого ротора.

Данная цель обусловила необходимость решения следующих задач:

- 1) Расчет базовой машины;
- 2) Выбор типов обмотки ротора;
- 3) Моделирование в среде *ansys Maxwell*.

Частотный преобразователь в комплекте с асинхронным электродвигателем позволяет заменить электропривод постоянного тока. Системы регулирования скорости двигателя постоянного тока достаточно просты, но слабым местом такого электропривода является электродвигатель. Он дорог и ненадежен. При работе происходит искрение щеток, под воздействием электроэрозии изнашивается коллектор. Такой электродвигатель не может использоваться в запыленной и взрывоопасной среде.

Асинхронные электродвигатели превосходят двигатели постоянного тока по многим параметрам: они просты по устройству и надежны, так как не имеют подвижных контактов. Они имеют меньшие по сравнению с двигателями постоянного тока размеры, массу и стоимость при той же мощности. Асинхронные двигатели просты в изготовлении.

Основной недостаток асинхронных электродвигателей – сложность регулирования их скорости традиционными методами (изменением питающего напряжения, введением дополнительных сопротивлений в цепь обмоток).

Управление асинхронным электродвигателем в частотном режиме до недавнего времени было большой проблемой, хотя теория частотного регулирования была разработана еще в тридцатых годах. Развитие частотно-регулируемого электропривода сдерживалось высокой стоимостью преобразователей частоты. Появление силовых схем с IGBT-транзисторами, разработка высокопроизводительных микропроцессорных систем управления позволило различным фирмам Европы, США и Японии создать современные преобразователи частоты доступной стоимости.

Известно, что регулирование частоты вращения исполнительных механизмов можно осуществлять при помощи различных устройств: механических вариаторов, гидравлических муфт, дополнительно вводимыми в статор или ротор резисторами, электромеханическими преобразователями частоты, статическими преобразователями частоты.

Применение первых четырех устройств не обеспечивает высокого качества регулирования скорости, неэкономично, требует больших затрат при монтаже и эксплуатации.

Статические преобразователи частоты являются наиболее совершенными устройствами управления асинхронным приводом в настоящее время.

Вследствие того, что момент в частотных преобразователях поддерживается аппаратными средствами, имеет смысл замены алюминиевой беличьей клетке, на медную.

ANSOFT Maxwell / ANSYS Maxwell - это ведущее программное обеспечение для моделирования электромагнитных полей, используемое для проектирования и исследования двумерных и трехмерных моделей, типа двигателей, датчиков, трансформаторов и других электрических и электромеханических устройств различного применения. Maxwell базируется на методе конечных элементов (Finite Element Method - FEM) и точно рассчитывает статические, гармонические электромагнитные и электрические поля, а также переходные процессы в полевых задачах.

Известно, что АД в момент пуска имеют две проблемы: меньший, чем номинальный, пусковой момент и большой пусковой ток, который может превышать номинальное значение тока в 5–8 раз. Также известно, что увеличение активного сопротивления обмотки ротора в момент пуска позволяет улучшить пусковые характеристики. Если не учитывать эти особенности и не вносить особые решения в конструкцию ротора (глубокий паз для реализации скин-эффекта), то плохие пусковые характеристики могут значительно усложнить возможность использования АД в электроприводах.

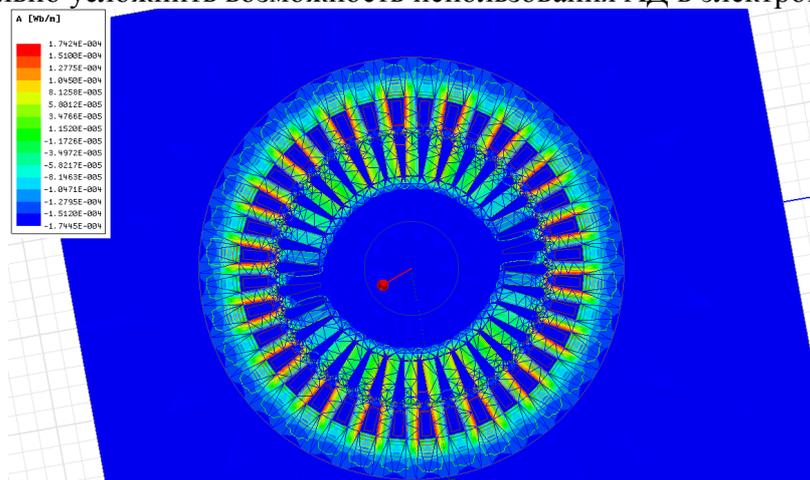


Рис.1. Распределение силовых линий и магнитного потока в АД с алюминиевой обмоткой ротора

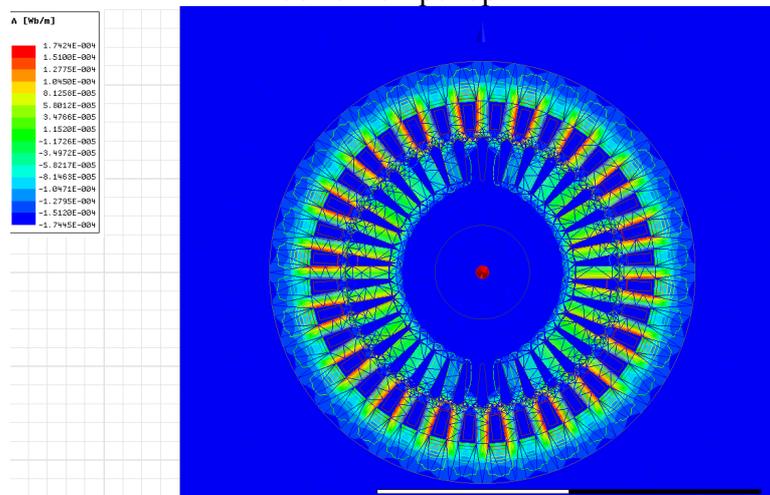


Рис.2. Распределение силовых линий и магнитного потока в АД с медной обмоткой ротора

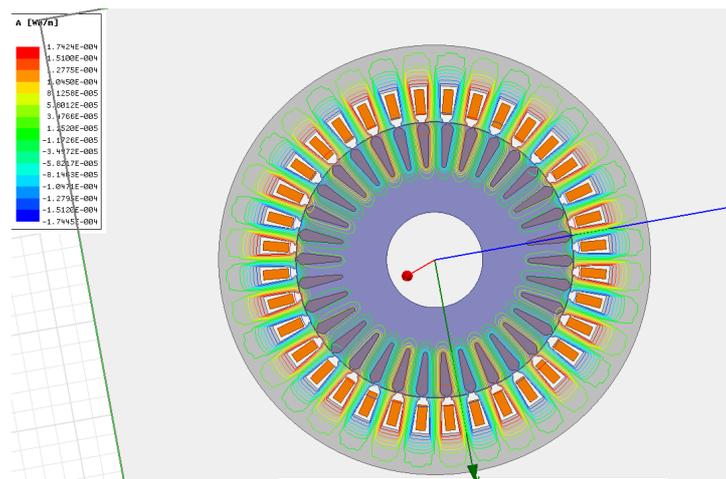


Рис.3. Распределение силовых линий в АД с алюминиевой обмоткой ротора

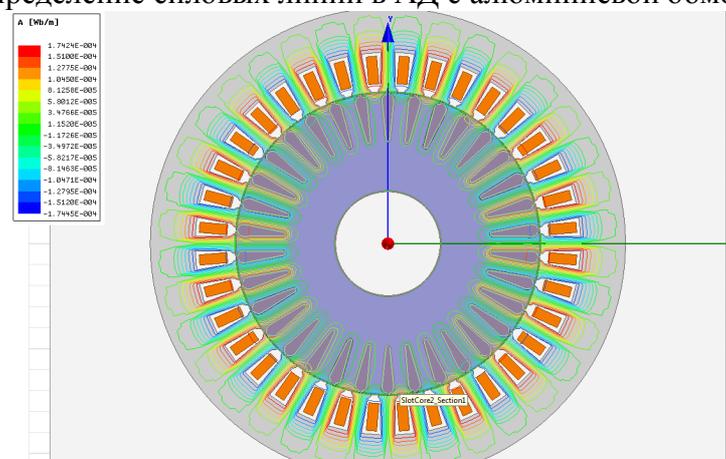


Рис.4. Распределение силовых линий в АД с медной обмоткой ротора

Заключение: При использовании материала с меньшим активным сопротивлением в обмотке ротора позволяет выполнить его более компактным: уменьшить длину сердечника статора и ротора в АД открытого исполнения на 7,2%, закрытого - на 20% при увеличении КПД на 1,0–3,0%. Сокращение длины машины позволяет уменьшить расход меди, электротехнической стали и изоляционных материалов, сократить трудоемкость изготовления. Уменьшенный пусковой момент номинальный момент уменьшается в 1.5-2 раза, максимальный момент, а, следовательно, и перегрузочная способность машины, увеличиваются. Уменьшение пускового момента исправляется увеличением длины паза либо аппаратными средствами частотного преобразователя.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. П. Копылов и др. М: Проектирование электрических машин./Энергия, 1980–496с.
2. Гурин Я. С., Кузнецов Б. И., Проектирование серий электрических машин, -М: Энергия, 1978 – 480 с.
3. Брускин Д. Э. и др.: Справочник по электрическим машинам: в 2 т / под общей редакцией И. П. Копылов и др. –М: Энергоатомиздат, 1988 – 456 с. : ил. Том, Электрические машины, Ч. 1, -М: Высш. шк., 1987 – 319 с.
4. Шевченко В.В., Горюшкин Н.И., Лизан И.Я. Сравнение характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при замене материала обмотки ротора и предложение по их улучшению // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2014. №12 (131).

АСУ ТП УСТАНОВКИ ПОДГОТОВКИ И ПЕРЕКАЧКИ НЕФТИ

Корепанов С. Ю.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) установки подготовки и перекачки нефти (УППН) предназначена для автоматизации технологических процессов УППН, автоматизации деятельности специалистов по контролю и управлению технологическими процессами и производством, а также для оперативного информационного контроля технологического режима работы установки, высокоэффективного и безопасного управления технологическими процессами предварительной подготовки и перекачки нефти [3].

Технологически УППН может состоять из следующих основных блоков:

- Технологический – состоит из секции нагрева, секции обессоливания, и секции отбора нефти.
- Блок регулирования – работа блока заключается в измерении и регулировании расхода поступающей нефтяной эмульсии.
- Блок подготовки топлива - работа блока заключается в очистке топливного газа от механических примесей, капельной жидкости, осушке, редуцировании и поддержке давления газа на заданном уровне на выходе для подачи газа к основным и запальным горелкам и на свечу.

Система выполняет следующий объем функций:

- автоматический контроль технологических параметров и параметров состояния оборудования;
- автоматическую защиту УППН по аварийным и предельным значениям контролируемых параметров и при отказах систем обеспечения;
- поддержание режимов работы УППН в пределах нормативных условий эксплуатации;
- управление запорной арматурой на технологических трубопроводах;
- программное управление и защиту насосных агрегатов;
- регулирование технологических параметров;
- обнаружение отказов оборудования при его работе и переключениях по результатам контроля выполнения команд;
- отображение и регистрацию на мониторах операторов контролируемых технологических параметров и параметров состояния оборудования как в процессе работы, так и при проведении ремонтных и пусконаладочных работ;
- составление отчетов и сводок;
- документирование информации (архивацию событий нижнего уровня и действий оператора).

Комплексная система АСУ ТП УППН построена по централизованному принципу на базе программируемого логического контроллера с функцией горячего резервирования центрального процессора. Для обеспечения связи между элементами системы применены резервированные сети передачи данных.

Особенности АСУ ТП. Гибкость – при необходимости система может быть доукомплектована соответствующими модулями, позволяющими решать те или иные задачи по автоматизации УППН. Надежность и гарантированное качество – высокая степень надежности АСУ ТП УППН достигается за счет использования промышленных программируемых контроллеров обладающих высокими показателями надежности, элементной базы лучших мировых производителей, устройств резервирования связи,

питания, программного резервирования информации. Функциональность – входящие в состав АСУ ТП УППН устройства позволяют реализовать дополнительные режимы функционирования оборудования (имитация, тестирование, маскирование), защитить систему от несанкционированного доступа, осуществить контроль действия персонала по журналу событий.

Совместимость – АСУ ТП УППН может быть выполнена на базе любых промышленных контроллеров по требованию заказчика, что позволяет эксплуатирующей организации сократить номенклатуру ЗИП (запасные части, инструменты и принадлежности), уменьшить затраты на освоение и обслуживание системы.

На Рис. 1 представлена функциональная схема АСУ ТП УППН.

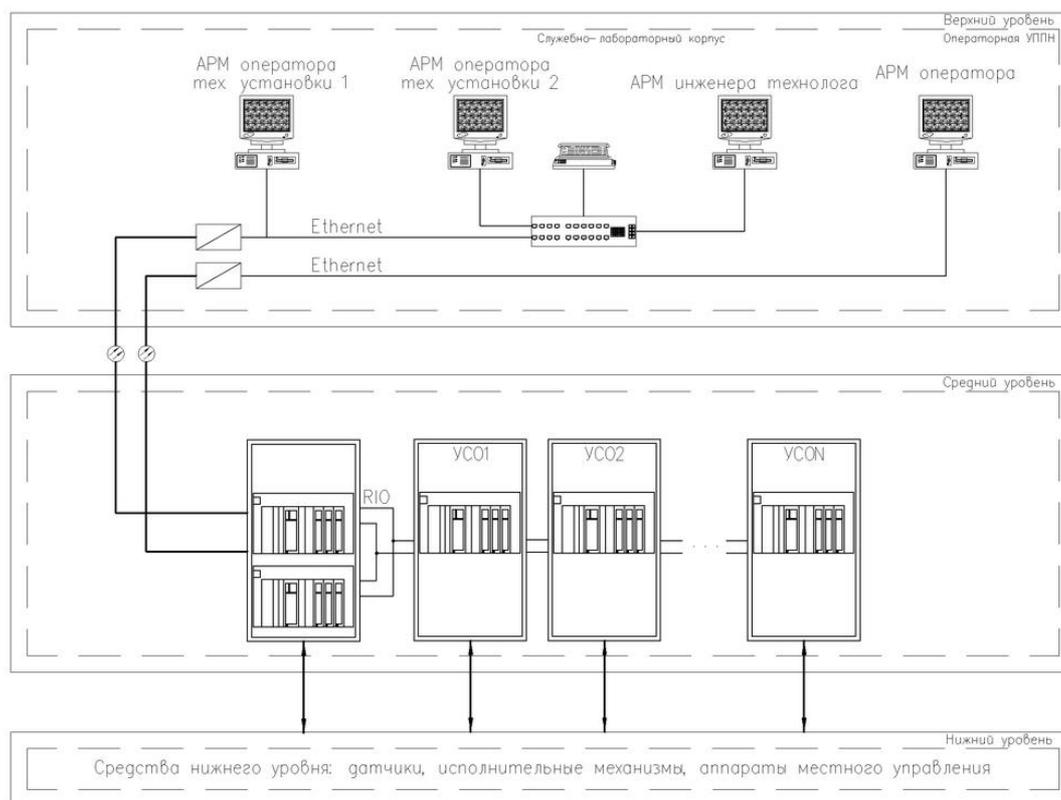


Рис.1. Функциональная схема

Система контроля и управления УППН представляет собой программно-аппаратный комплекс, в котором задачи контроля и управления технологическим процессом и оборудованием решаются на следующих уровнях иерархии:

- нижний уровень - первичные средства автоматизации (датчики, измерительные преобразователи, приборы местного контроля, исполнительные устройства);
- средний уровень - шкафы контроля и управления, обработки информации;
- верхний уровень - информационно-вычислительный комплекс (шкафы АСУТП, АРМ оператора, серверы базы данных);
- каналы и оборудование для передачи информации.

В АСУ ТП управляющие контроллеры занимают место между верхним уровнем и нижним. Основная функция контроллеров в системе - сбор, обработка и передача на верхний уровень первичной информации, а также генерация и передача управляющих воздействий на исполнительные механизмы [4].

Компоненты контроллера. Источник питания должен обеспечивать непрерывность и надежность работы всех узлов контроллера. Модуль процессора. В зависимости от используемой электроники они могут быть 8-ми и 16-ти разрядными, однако, для АСУТП более важны другие их параметры: максимальное число обрабатываемых входов-выходов (до 8192), общий объем памяти программ (до 1664 Кбайт), время выполнения команды (0,1-0,5 мкс), число возможных таймеров/счетчиков, число входов прерываний, возможность расширения и т.д.

Модули ввода. Работают с сигналами постоянного, переменного и импульсного тока. Предназначены для преобразования сигналов в цифровую форму и выдачи их на обработку по запросу процессора. Модули вывода. Обеспечивают выдачу управляющего сигнала на исполнительный механизм. Модули связи и интерфейсов. Обеспечивают связь контроллеров с верхним уровнем, а также между собой. В практике построения АСУ ТП используются как стандартные "компьютерные" интерфейсы (ИРПС, Centronics), так и специализированные шинные системы. Специальные модули. Предназначены для выполнения специальных функций: подключения сенсоров, термопар, термосопротивлений, терминалов, программаторов и т. п.

Этапы проектирования АСУ ТП. На всех стадиях и этапах проектирования АСУ ТП проектировщики должны руководствоваться государственными стандартами Единой системы стандартов автоматизированных систем управления (ЕСС АСУ). Система ЕСС АСУ представляет собой комплекс взаимосвязанных ГОСТ, устанавливающих термины и определения, виды и состав, правила и методы разработки, приемки и эксплуатации, требования к АСУ в целом и составным частям, требования к технической документации [1, 2].

Стандарты устанавливают следующие четыре стадии разработки проектов АСУ ТП:

- Технико-экономическое обоснование (ТЭО).
- Техническое задание (ТЗ).
- Технический проект (ТП).
- Рабочая документация (РД).

Вместо стадий ТП и РД допускается разработка АСУ ТП в одну стадию «Технорабочий проект» (ТРП). Стадию ТРП выполняют в случаях использования типовых проектов АСУ ТП или при повторном применении экономических индивидуальных проектов.

Выводы: В автоматизированном процессе производства роль человека сводится к наладке, регулировке, обслуживании средств автоматизации и наблюдению за их действием. Если автоматизация облегчает физический труд человека, то она имеет цель облегчить так же и умственный труд. Эксплуатация средств автоматизации требует от обслуживающего персонала высокой техники квалификации.

ЛИТЕРАТУРА

1. АСУ ТП [Электронный ресурс] – режим доступа <http://mikronika-energo.ru/products/asutp/>, свободный, дата обращения 10.10.2015
2. Проектирование АСУ ТП [Электронный ресурс] – режим доступа http://arman-engineering.ru/info_center/articles/888, свободный, дата обращения 10.10.2015
3. Системы автоматики УППН [Электронный ресурс] – режим доступа <http://elesy.ru/engineering/solutions/dobycha-nefti/sistemy-avtomatiki-uppn.aspx>, свободный, дата обращения 10.10.2015
4. АСУ ТП. Контроллеры [Электронный ресурс] – режим доступа <http://www.iemag.ru/platforms/detail.php?ID=16481>, свободный, дата обращения 13.10.2015

ЛЕГКОВОЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ С МОТОР-КОЛЕСНОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ

Мерекекызы А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г.Томск

В настоящее время в связи с уменьшением запасов природных энергетических ресурсов, сложностью их добычи, а также, глобальным загрязнением окружающей среды все более актуальными становятся вопросы создания экологически безопасного электротранспорта. Многие компании-производители автомобилей стали заниматься проектами, связанными с электромобилями. Стоит отметить, что первые электромобили появились в начале XX века и получили большую распространенность, однако, со временем автомобили с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) их вытеснили с рынка производства. В последнее десятилетие интерес к электрическому виду транспорта сильно возрос и на сегодняшний момент времени большинство автокомпаний, вновь стали заниматься созданием экологически безопасных транспортных средств, в том числе и легковыми электромобилями.

В легковых электромобилях существуют различные схемы привода, выбор которых зависит от многих факторов: грузоподъемность, максимальная скорость движения, условия эксплуатации и т.д. Долгое время электродвигатель в таких машинах размещался в подкапотном пространстве, где обычно устанавливается ДВС. Позже производители стали создавать гибридные варианты электромобилей, и в этом случае электродвигатель размещался параллельно ДВС или между ДВС и трансмиссией. Сегодня, благодаря появлению новых электротехнических материалов и развитию силовой электроники, появилась возможность создания компактных мотор-колесных конструкций (МК), применяемых в качестве привода электромобилей. Такое решение позволяет существенно упростить конструкцию электромобиля.

Мотор-колесо – это обычное колесо, в котором размещается двигатель, трансмиссия и тормозное устройство. Работает такое колесо от электрической энергии, которая может быть получена с помощью бензинового двигателя и генератора или от аккумуляторных батарей. Существенное преимущество такого двигателя для авто – это высокий коэффициент полезного действия (КПД). Благодаря мотор-колесу любой автомобиль с двигателем внутреннего сгорания можно превратить в гибрид. Такая модификация позволит не только экономить топливо, но и значительно увеличить суммарную мощность силовой установки. Также мотор-колесо позволяет повысить маневренность любого автомобиля. Все выше перечисленное достигается благодаря независимой работе каждого колеса [1].

Автомобили с мотор-колесами обладают рядом существенных преимуществ перед традиционными электромобилями. К ним можно отнести: отсутствие множества сложных и тяжелых передаточных механизмов между двигателем и колесом, трансмиссии, приводных валов и дифференциалов. Также можно отметить высокую динамику: легкие и компактные электрические моторы способны развивать крутящий момент вплоть до 700 Н•м, в том числе и на низких оборотах. Управляемое мотор-колесо делает автомобиль маневренным, так как все колеса могут вращаться с разной скоростью и в разных направлениях. Кроме этого значительно упрощается конструкция важнейшей для электромобилей системы регенерации энергии торможения. Мотор-колесные конструкции обеспечивают высокую активную безопасность движения, благодаря применения всех известных электромеханических алгоритмов безопасности, типа ABS, ESP, Traction Control, Brake Assist [2].

Среди недостатков мотор-колесных конструкций можно отметить большую массу механизмов, помещаемых внутрь обода. Стоит отметить, что высокооборотные электродвигатели мотор-колес нуждаются в понижающем редукторе. Он должен быть компактным и герметичным. Редуктор добавляет несколько килограммов к общей массе колеса. Для традиционных автомобилей лишний вес в конструкции трансмиссии не критичен. Но для колес действует обратный принцип. Большая неподрессоренная масса (большая масса колеса) резко снижает комфорт и управляемость, повышает износ подвески, передает на кузов вибрации. Оптимальный вес колеса для среднеразмерного автомобиля составляет от 10 до 30 кг без учета шины. Кроме этого сложен ремонт мотор-колеса и представляет собой операцию, требующую высокой квалификации обслуживающего персонала [3].

Кроме редукторных мотор-колес бывают и прямоприводные. Основное отличие редукторных состоит в шестернях, которые находятся непосредственно в самом корпусе колеса. Как и в первом, так и во втором варианте есть свои достоинства и недостатки. Безредукторный, бесщеточный имеет более высокую надежность, коэффициент полезного действия и создает минимум шума.

Основные преимущества редукторных МК:

- низкий вес, вес редукторных МК начинается от 1,4 кг (Keyde), 2-3 кг (QQ, Bafang) до 4,5 кг (MAC);
- сочетание хороших тяговых и скоростных характеристик, хорошая эффективность в большом диапазоне частоты вращения;
- большой накат и отсутствие препятствий педалированию из-за наличия встроенного ффривила;

Недостатки редукторных МК:

- не высокая максимальная мощность, которую можно подавать на МК, для QQ и Bafang это обычно 800 Вт (1 кВт кратковременно), для MAC 1.2-1.5 кВт (2 кВт кратковременно);
- меньший ресурс без обслуживания, большая склонность к поломкам при жестких режимах эксплуатации (высокие пусковые токи и динамические нагрузки);
- отсутствие возможности рекуперации и электроторможения;
- большой шум из-за наличия и вращения шестерен [5].

Достоинства МК прямого привода:

- простота и надежность конструкции;
- наличие возможности рекуперации и электроторможения;
- более низкий шум, особенно при наличии "синусного" управления.

Недостатки МК прямого привода:

- большой вес. Вес МК прямого привода начинается от 5,3 кг, обычно 6-7 кг. Существуют мини МК прямого привода (3-4 кг), но их мощность и тяговые характеристики ниже по сравнению с редукторными МК того же веса;
- наибольшая эффективность МК достигается в достаточно узком диапазоне скоростей, т.е. например, на малых скоростях (движение в гору, по грунтам и т.д.) редукторный МК более эффективен чем МК прямого привода;
- малый накат и небольшое сопротивление педалированию [6]

В данной работе выполнен расчет мощности легкового электромобиля городского типа с приводом от мотор – колесной конструкции. Исходными данными для этого расчета послужили следующие цифры:

- масса четырех пассажиров (240 кг);

- максимальная скорость передвижения автомобиля ($80 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$)

Расчет выполнен с использованием следующих выражений:

$$N = \frac{A}{t} \text{ Вт}, \quad v = 80 \left[\frac{\text{км}}{\text{час}} \right]; \quad (1)$$

$$N = F * v = 20 \text{ [кВт]}, \quad (2)$$

где: N – мощность, кВт;

v – скорость, км/ч;

m – масса, кг;

F – сила, Н.

В результате расчетов определена мощность привода для среднестатистического городского автомобиля, которая составляет порядка $N=20 \text{ [кВт]}$.

На основании выполненных расчетов из существующих типов мотор колес выбрать мотор-колесо модели МК36-144/5000R13, которое имеет следующие характеристики:

- номинальное рабочее напряжение: 36-144 вольт;
- номинальная мощность: 5000 ватт;
- максимальная мощность: 7480 ватт;
- максимальный крутящий момент: 64.6 Н•м;
- максимальный КПД мотор-колеса: 89 %;
- максимальная скорость электромотоцикла, оборудованного такими мотор колёсами: до 90 км/час;
- предусмотрена возможность рекуперации;
- тормоз: дисковый;
- диаметр обода 13`;
- вес: 31 кг.

Важно отметить, что при использовании контроллера с функцией рекуперации для указанного мотор-колеса, существует возможность обеспечить подзарядку аккумулятора в следующих режимах:

- движение под уклон;
- движение накатом.

Для обеспечения расчетной мощности привода, рассматриваемого электромотоцикла, необходима установка четырех мотор-колес указанного типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.bestreferat.ru/archives/74/bestref-100374.zip>.
2. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Мотор-колесо>.
3. <http://renomedent.ru/motor-koleso-o>.
4. Эблесон Дональд В. "Разрабатываемые технологии электромотоциклов", Приводная техника, 1999, № 9,10
5. Златин П.А.,Кеменов В.А.,Ксенович И.П. "Электромотоцикли и гибридные автомобили", М.:Агроконсалт, 2004

СЕКЦИЯ 2. ЭФФЕКТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

THE PROBLEM OF PIPELINE VALVES REPLACEMENT

Bazykin Y. V., Abramovskikh A. A.

National research Tomsk polytechnic university, Tomsk.

The chosen theme is crucial but specific. From practical experience is known that the operation concerning the replacement of the whole pipeline valves at an electrical station is not economically profitable, since payback of such project is long and can last for decades. However, nobody studied and considered this issue from a technical point of view. Therefore, it is necessary to investigate this procedure.

The object of our research is Gusinoozerskaya thermal power plant put into operation in 1976. At that time, the pipe valves installed were modern and new. The resource of the whole pipeline valves is about 100 thousand hours, which is about 15 years. In 1981, it had to undergo the replacement. However, currently, most of the valves have worked off their service life. The old equipment is still in service, firstly because it is too expensive and unprofitable to replace, secondly by proper maintenance the old equipment can operate for a long time without replacement.

The purpose of this research is to consider the efficiency of the replacement of the obsolete old pipeline valves by the new ones.

First of all it is important to analyze and define what pipe and tube valves are.

Pipe and tube valves are facilities installed on pipelines, units, vessels and intended to control (switching off, distribution, control, reset, mixing, phase separation) the working fluid flow (liquid, gas, gas-liquid, powder, suspension, and etc.) by changing passage area.

The main parameters of the valve are as follows: its performance, pressure, temperature, bandwidth, corrosion resistance, drive type, required torque for valve control, time response.

The main construction-mounting options include:

- nominal diameter passage
- construction length and height
- Weight
- Type of connection to the pipeline
- the design and dimensions of connecting flanges
- The number, size and location of the holes in the flanges
- cutting welded to the pipeline

Materials

The main materials used for valves construction are: grey cast iron, ductile iron, acid-iron, heat-resistant cast iron, alkali-resistant cast iron, anti-friction iron, steel, carbon steel and alloy steel.

The technology of pipeline valves maintenance

Pipe and fittings, depending on the degree of wear of their parts and assemblies and repair category are repaired in a workshop or on-the installation site. Typically, larger valves are not removed from the pipe and their assembly and disassembly is carried out on the site.

Visual inspection checks all the components of the valve, with the exception of the components are not allowed to reuse (gaskets, packing, etc.). Visual inspection pay special attention to the places most susceptible to corrosion, erosion and mechanical wear (sealing surface of the gate, the regulatory body, the cylindrical surface of the gate, the regulatory body, the cylindrical surface of the spindles, rods, packing follower, packing rings, etc.).

Trouble-free time of all newly installed elements of pipeline valves in the system is much higher than the ones that are running under load for a long time. Thus, we can conclude that trouble-free operation of the equipment leads to improved reliability of the entire power station.

It is well-known that the scheduled replacement and repair of pipe valves is slower than the rate of their wear. To ensure reliable operation of networks and facilities is impossible without their modernization and replacement of valves and pipes. The longer the pipe fittings-service life is, the more often an emergency replacement procedure occurs.

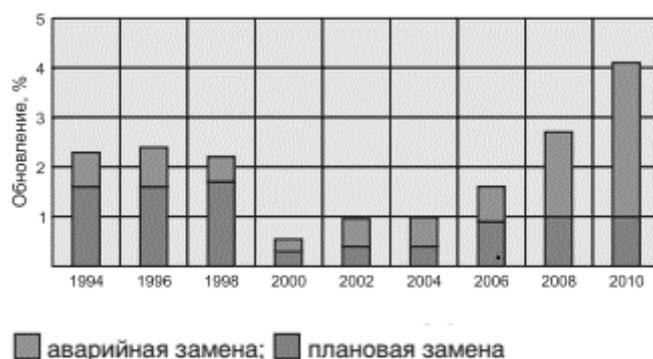


Fig. 1. The dynamics and structure of renewal of fittings

Figure 1 shows an example of the dynamics of renewal of valves at the municipal enterprise of Samara "Samarovodokanal." The situation at other hydropower plants and thermal power plants is similar.

The move from permanent emergency repairs to a planned upgrade is possible by the introduction of modern high-quality equipment with long life service and trouble-free operation.

The experience of the valves use shows that investment in the replacement of valves does not only ensure stable operation of the system, but also can be recouped within the long run.

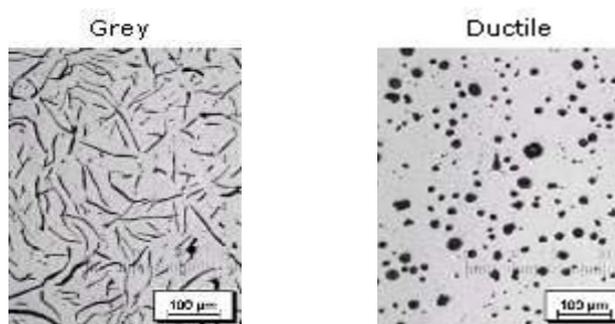


Fig. 2. Structure of modern valves

Modern valves for pressure systems are made of ductile cast iron with nodular graphite (ductile iron). According to its working characteristics this material is close to steel. Like any high-tech material, ductile iron castings requires special technology, equipment, qualified personnel and special controls.

Ultimately, the best guarantee of the quality of the equipment is its uptime, so when choosing a manufacturer you must make sure you have the appropriate positive experience in Russia or countries with similar climatic conditions.

To find out the causes of effective and ineffective operation of equipment the SWOT-analysis was made.

The SWOT-analysis is intended to determine the strengths, weaknesses and potential external threats and opportunities and allows also to assess the strategically important competitors.

Table 1. SWOT-analysis

Opportunities	Strengths
The presence of external investors	Friendly and co-ordinated staff
There is no competition at the market - the equipment is free access	Availability of the equipment
Threats	Weaknesses
Not all investors are willing to sponsor the project	It is necessary to hire some special maintenance teams
Very big payback period	The work must be carried out as soon as possible
Long of purchased equipment	Weak reputation of the project

If we replace valves, we completely buy new units:

The total cost of replacing makes up 9.283 million rubles.

If we repair the whole system, we only buy repair-parts:

The total cost to repair all pipe valves = 4.226 million. rubles.

Such a large difference in cost is due to the fact that the repair-parts two-thirds are less than the new equipment.

Conclusion

We came to the conclusion that the replacement of all obsolete valves results in the reliability increase of the whole power station. However, the replacement of all obsolete valves is economically unfeasible and it is difficult to find companies ready to invest to the project.

REFERENCES

- Grigor'eva, V.A.** *Teplovye i atomnye elektricheskie stantsii: Spravochnik* / V.A. Grigor'ev, V.M. Zorin. – M.: Energoatomizdat, 1982. – 624 s.
- Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya teplovykh elektricheskikh stantsiy.* – M.: Minenergo SSSR, 1981.
- Ryzhkin, V.Ya.** *Teplovye elektricheskie stantsii* / V.Ya. Ryzhkin. – M.: Energoatomizdat, 1967.
- Gurevich D.F.** *Truboprovodnaya armatura: Spravochnoe posobie.* – 2-e izd., pererab. i dop. – L.: Mashinostroenie, Leningr. otd-nie, 1981. – 368 s.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТРУДНОДОСТУПНЫХ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ

Воеводин И. Г.

Братский государственный университет, г. Братск

На территории России существует много районов, находящихся в зоне децентрализованного электроснабжения. Как правило, электроснабжение таких районов осуществляется физически и морально устаревшими дизельными электростанциями (ДЭС). Зачастую электроснабжение осуществляется лишь 6-8 часов в сутки. Постоянное удорожание дизельного топлива, необходимость его доставки в труднодоступные районы значительно повышают себестоимость производства электроэнергии. В статье проведена оценка возможного повышения эффективности электроснабжения удалённых населённых пунктов использованием солнечной энергии на примере Киренского района Иркутской области.

В статье рассматриваются два основных вопроса:

1) Анализ оптимальных параметров установки солнечных батарей для получения наибольшей выработки энергии.

2) Анализ экономической эффективности применения СЭУ в конкретной местности.

Оценка поступающей солнечной радиации на приёмную площадку проводится по известной методике [1, 2]. В первую очередь нужно рассчитать поглощение солнечной радиации атмосферой. Прозрачность атмосферы характеризуется коэффициентом прозрачности P , который в зависимости от погодных условий и состояния атмосферы может принимать значения от 0,4 до 0,15. Согласно данным многолетних метеонаблюдений, описанных в научно-прикладном справочнике по климату СССР [3], значение P для Киренского района равно 0,2 и незначительно изменяется в течение года. Величина солнечной радиации R_n , поступающей на перпендикулярную солнечным лучам приёмную площадку, определяется по формуле:

$$R_n = \frac{e \cdot \sin \alpha}{\sin \alpha + P},$$

где α – высота солнца над горизонтом в градусах; e – значение прихода солнечной радиации на границе атмосферы, или солнечная постоянная, значение которой принято считать равным $1395 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$.

Окончательное значение поступающей на площадку прямой радиации определяется по следующей формуле:

$$R = R_n \cdot \cos \theta,$$

где θ – угол между направлением солнечного излучения и нормалью к поверхности приёмной площадки, определяемый по формуле:

$$\theta = \arccos(\sin \beta(\cos \delta \sin \varphi \cos \omega - \sin \delta \cos \varphi) + \cos \beta(\cos \delta \cos \varphi \cos \omega + \sin \delta \sin \varphi)),$$

где φ – широта местности, для которой проводятся расчёты; β – угол наклона приёмной площадки относительно земли, при условии, что приёмная площадка ориентирована строго на юг ($\beta=0^\circ$ для горизонтальной приёмной площадки); ω – часовой угол солнца; δ – угол склонения земной оси.

Высота солнца над горизонтом α может быть найдена по формуле:

$$\alpha = \arcsin(\cos \delta \cos \varphi \cos \omega + \sin \delta \sin \varphi).$$

Угол склонения земной оси δ определяется по формуле Купера:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\frac{360}{365}(n - 81)\right),$$

где n – номер дня в году (от 1 до 365).

Часовой угол ω – это угол, на который отклоняется солнце от своего полуденного положения, т.е. от юга.

$$\omega = 15 \cdot (t - t_s),$$

где 15° – угол, на который проворачивается земля вокруг своей оси за 1 час; t – местное время; t_s – истинное время наступления полудня.

При вычислении часового угла важно знать время истинного солнечного полдня. Принято считать, что полдень наступает ровно в 12:00, но в действительности время наступления истинного полудня может существенно отличаться по ряду причин:

1) Долгота местности может не совпадать с долготой часового пояса. В каждом часовом поясе есть некий средний меридиан, на котором солнечный полдень совпадает с местным временем, но при отклонении от этого меридиана на 1° , время наступления истинного полдня изменяется на 4 минуты.

2) Земля движется вокруг Солнца по эллиптической орбите. Как следствие, истинный полдень может наступать с опережением или отставанием. Величина этого расхождения в минутах может быть найдена по формуле уравнения времени:

$$E = 7,53 \cos\left(\frac{360}{365}(n - 81)\right) + 1,5 \sin\left(\frac{360}{365}(n - 81)\right) - 9,87 \sin\left(\frac{720}{365}(n - 81)\right),$$

где E – разница в минутах между средним солнечным временем и истинным; n – номер дня в году.

3) В России время во всех часовых поясах дополнительно смещено на 1 час вперёд, таким образом, полдень в России наступает не в 12:00, а в 13:00.

Учитывая все вышеперечисленные факторы можно составить формулу для вычисления времени истинного полдня:

$$t_s = 13:00 + (\psi_0 - \psi_x) \cdot 4 + E,$$

где ψ_0 – меридиан часового пояса; ψ_x – меридиан местности.

Кроме прямого солнечного излучения, присутствует так называемая диффузная радиация, т.е. рассеянная атмосферой и облаками, вычисляемая по формуле [2]:

$$R_D = \frac{1}{3} \sin \alpha \cdot (e - R_n) (0,55 + 0,434 \cos \theta + 0,313 \cos^2 \theta)$$

На завершающем этапе проводится расчёт снижения поступающей радиации под влиянием облачности. Облачность оценивается по десятибалльной шкале, 0 баллов для чистого неба и 10 для максимальной облачности. Согласно данным многолетних наблюдений [3], для Киренского района среднее значение облачности равно 7 баллов и мало изменяется в течение года. Формула расчёта влияния облачности имеет вид:

$$R_\Sigma = (R + R_D) (1 - (0,38 + 0,38 \cdot n \cdot 0,1) \cdot n \cdot 0,1),$$

где n – облачность в баллах; R_Σ – суммарный приход радиации с учётом облачности.

Перейдём теперь к анализу оптимального угла установки приёмной площадки, при котором будет получен максимальный приход солнечной радиации. Зачастую в научной литературе оптимальный угол площадки принимается равным углу широты т.е. $\beta = \varphi$, но, согласно расчётам, данное утверждение справедливо лишь для дней равноденствия. Проведём расчёт прихода солнечной радиации на приёмную площадку при различных углах её установки. Угол, при котором приход радиации максимален, будем считать оптимальным углом установки для конкретного дня. Полученные данные отображены в таблице 1.

Таблица 1. Расчёт прихода солнечной радиации на приёмную площадку

Период времени	Поступление солнечной радиации на приёмную площадку, кВт·ч/м ²					
	Горизонтальная площадка		Площадка под углом широты		Площадка под оптимальным углом	
	В среднем за сутки	месяц	В среднем за сутки	месяц	В среднем за сутки	месяц
Январь	0,56	17,25	2,97	92,16	3,23	100,26
Февраль	1,49	41,7	4,83	135,27	5,02	140,55
Март	3,12	96,78	6,40	198,49	6,42	198,94
Апрель	5,41	162,3	7,17	215,14	7,38	221,27
Май	7,37	228,5	7,25	224,86	8,19	253,91
Июнь	8,38	251,3	7,17	215,04	8,73	261,87
Июль	7,97	241,2	7,20	215,9	8,49	254,71
Август	6,31	195,51	7,24	224,58	7,74	239,8
Сентябрь	4,02	120,62	7,84	205,11	6,85	205,4
Октябрь	2,02	62,6	5,49	170,28	5,61	174,03
Ноябрь	0,77	23,02	3,50	105	3,76	112,69
Декабрь	0,38	11,63	2,37	73,49	2,61	81
Год		1452,41		2075,32		2244,43

Для повышения эффективности работы СЭУ рекомендуется каждый месяц менять угол наклона солнечных модулей. В табл. 2 приведены значения оптимального угла наклона для каждого месяца.

Таблица 2. Оптимальный угол установки для каждого месяца

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Угол град.	81	74	62	45	28	18	22	36	55	70	77	82

На втором этапе проводится расчёт экономической эффективности использования СЭУ. Экономический эффект оценивается чистым дисконтированным доходом (ЧДД).

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T (\mathcal{E}_t^{\text{ГСМ}} - I_t)(1+r)^{t_0-t} - K,$$

где T – расчётный период (16 лет); $\mathcal{E}_t^{\text{ГСМ}}$ – экономия горюче-смазочных материалов (ГСМ) ДЭС за год t , тыс. руб; t_0 – первый расчётный год; r – норма дисконта, принятая 0,1; K – капиталовложение в СЭУ, тыс. руб.

$$\mathcal{E}_t^{\text{ГСМ}} = \Delta V_t^{\text{топл}} \Pi_t^{\text{топл}} + \Delta V_t^{\text{м}} \Pi_t^{\text{м}},$$

где $\Delta V_t^{\text{топл}}$ – сэкономленное дизельное топливо в год t , т; $\Pi_t^{\text{топл}}$ – цена дизельного топлива в год t , тыс. руб/т; $\Delta V_t^{\text{м}}$ – сэкономленное масло; $\Pi_t^{\text{м}}$ – цена масла, тыс. руб/т.

Изменение цен за расчётный период определяется по формуле:

$$\Pi_t + \Pi_{t_0} (1 + \pi_{\text{ГСМ}})^{t-1},$$

где Π_{t_0} – цена на первый год тыс. руб/т; $\pi_{\text{ГСМ}}$ – параметр роста цен на ГСМ.

Рост цен на ГСМ принят по результатам анализа динамики индексов цен на приобретение промышленными организациями дизельного топлива.

Таблица 3. Индексы цен на дизельное топливо, согласно данным Росстата
 (на конец года; в процентах к концу предыдущего года)

Год	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Индекс	114,72	110,53	117,96	106,82	90,25	127,55	104,62	108,77	112,25	105,01

Средний индекс цен за период 2006-2015 составляет 109,84. Поэтому $\pi_{ГСМ} = 0,098$.

Предполагается, что СЭУ будет работать совместно с дизельным генератором Г-72. Расход топлива Г-72 составляет 223,2 г/кВт·ч, масла – 1,22 г/кВт·ч.

Ежегодные эксплуатационные издержки:

$$I_t = (I_t^{\text{ам}} + I_t^{\text{рем}} + I_t^{\text{пр}})(1 - \pi_n)^{t-t_0}$$

где $I_t^{\text{ам}}$ – амортизационные отчисления; принятые в исследовании 3% от капитальных вложений, тыс. руб; $I_t^{\text{рем}}$ – отчисления на капитальный и текущий ремонт, принятые 2,5% от капиталовложений, тыс. руб; $I_t^{\text{пр}}$ – прочие издержки, принятые 0.5% от капиталовложений; π_n – параметр роста цен, в исследовании принят равным 0,07.

Перейдём к фактической оценке экономической эффективности установки СЭУ и оценке сроков её окупаемости. Для примера рассмотрим солнечную электростанцию «ЭкоЛайт», включающую 4 солнечных преобразователя площадью 1,61 м² с КПД модуля 14,3%, аккумулятор, контроллер заряда, защитную автоматику и прочие комплектующие, стоимостью 145,5 тыс. руб. Годовая выработка электроэнергии $\mathcal{E}_{\text{год}}$ составит:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = R_{\text{год}} \cdot S \cdot \eta,$$

где $R_{\text{год}}$ – годовой приход солнечного излучения, кВт/м²; S – общая площадь модулей, м²; η – КПД, %.

Годом окупаемости считается год, в котором ЧДД впервые принимает положительное значение.

Результаты проведенных расчетов показывают, что СЭУ полностью окупает свою стоимость и начинает приносить доход в 14-й год эксплуатации при оптимальном положении фотоэлементов в течение года, при установке под углом широты СЭУ окупается несколько позже – в 15-й год эксплуатации. Выработка электроэнергии на горизонтально установленной приёмной площадке заметно меньше, как следствие сроки окупаемости выходят за рамки расчётного периода.

Таким образом, можно заключить, что гелиоэнергетический потенциал районов децентрализованного электроснабжения достаточно высок для использования СЭУ совместно с ДЭС для повышения эффективности электроснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика: учеб. пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ. – 2008. – 276 с.
2. Сивков С.И. Методы расчета характеристик Солнечной радиации. Гидрометеорологическое издательство. Л. – 1968. – 231 с.
3. Научно-прикладной справочник по климату СССР Серия 3, часть 1-6, выпуск 22 Иркутская область и Бурятская АССР редактор Л.В.Ковель. Гидрометеоиздат. Ленинград. – 662 с.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ПЛАВЛЕНИЯ ТВЭЛ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РАСПЛАВА В РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВКАХ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ НА ЭТАПЕ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ

Калашникова А. А. , Усов Э. В.

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН,
Новосибирский филиал, г. Новосибирск

Одним из важнейших этапов разработки проектов реакторных установок является обоснование их безопасности. Поскольку провести натурный эксперимент и обосновать безопасность той или иной конструкции, не представляется возможным, единственным подходом остается численное моделирование протекающих при аварии процессов.

Основной частью реакторной установки, в которой происходит цепная реакция деления, является активная зона. Активная зона состоит из тепловыделяющих сборок (ТВС), которые в свою очередь состоят из тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ). ТВЭЛ - главный элемент активной зоны реакторной установки, представляет собой цилиндр, заполненный таблетками ядерного топлива.

Расчёт реактора – комплексная и трудоёмкая задача, решение которой требует разбиение на более простые подзадачи. В связи с этим, для анализа и обоснования безопасности РУ БН с жидкометаллическими теплоносителями в рамках проекта «Прорыв» разрабатывается интегральный код нового поколения ЕВКЛИД. Текущая версия кода позволяет моделировать поведение РУ БН в стационарных и переходных режимах работы и при проектных авариях путем выполнения связанных нейтронно-физических, термомеханических и теплогидравлических расчётов. Модульная структура кода позволяет наращивать количество модулей, тем самым расширяя спектр моделируемых явлений.

Настоящая работа посвящена разработке модуля, который бы позволил проводить сквозной расчет аварии вплоть до стадии тяжелой, при которой происходит плавление ТВЭЛ и разрушение активной зоны.

Расчет поведения ТВЭЛ на этапе тяжелой аварии требует решения задачи теплопроводности для определения поля его температур и фазового состояния. Эволюция поля температуры описывается уравнением теплопроводности:

$$C\rho\frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(\lambda\nabla T) + q$$

В общем виде уравнение может быть переписано в энтальпийной формулировке:

$$\rho\frac{\partial h}{\partial t} = \nabla(\lambda\nabla T) + q$$

Использование энтальпийной формулировки уравнения теплопроводности более естественно для расчета задач с плавлением, т.к. при использовании энтальпийной формулировки с учётом фазовых переходов при плавлении/затвердевании полная энтальпия материалов остаётся гладкой функцией от времени в отличие от температуры, производная которой по времени в точке плавления терпит разрыв.

Для того чтобы определить температурное состояние ТВЭЛ уравнение теплопроводности втяжелоаварийном модуле решается на сетке. В результате получается нелинейная система уравнений, для решения которой используется итерационный метод Гаусса-Зейделя.

Движение расплава определяется балансом действующих на него сил: силы тяжести, силы трения с потоком пара и с твердой стенкой и описывается в одномерном

приближении. Для каждой расчетной ячейки решаются уравнение сохранения массы (1.1) и уравнение сохранения импульса (1.2):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \alpha \frac{\partial U h}{\partial x} = 0 \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial U h \alpha}{\partial t} + \beta \frac{\partial U^2 h}{\partial x} = g h \sin \theta + \frac{\tau_{GAS} - \tau_w}{\rho} \quad (1.2)$$

где $\tau_w = \xi_w \frac{\rho U^2}{8}$; $\tau_{GAS} = \xi_{GAS} \frac{\rho_{GAS} U_{GAS}^2}{8}$

Коэффициенты ξ_w и ξ_{GAS} считаются следующим образом

$$\xi_w = \begin{cases} \frac{64}{Re} - \frac{8}{3Fr}, & Re < 2000 \\ \frac{0,37}{Re^{0,25}}, & Re > 2000 \end{cases}$$

$$\xi_{GAS} = \begin{cases} \xi_{g500} = \frac{64}{Re_g}, & Re_g < 500 \\ \xi_{g1500} = 0,02 \left(1 + \frac{h}{D_{ch}} \right), & Re_g > 1500 \\ \xi_{g500} \frac{1500 - Re_g}{1000} + \xi_{g1500} \frac{Re_g - 500}{1000}, & 500 \leq Re_g \leq 1500. \end{cases}$$

Числа Рейнольдса и число Фруда высчитываются так

$$Re_g = \frac{\rho_g U_g D_{ch}}{\eta_g}; \quad Re = \frac{4\rho U h}{\eta}; \quad Fr = \frac{\bar{U}^2}{gh}$$

Соответственно, для моделирования поведения твэл на этапе тяжелой аварии необходимо решить систему уравнений теплопроводности и систему (1.1) –(1.2) для каждой расчетной ячейки заданной области.

Важный этап разработки программного модуля – его валидация. Проверка заложенных моделей осуществлялась на базе тестов с известными аналитическими решениями. В соответствии со спецификой данного модуля, наибольший интерес представляют тесты с моделированием плавления и перемещения расплава.

В тесте с плавлением рассматривается сплошной цилиндр с внешним радиусом R при температуре $T_0 = T_m$ (T_m – температура плавления). В начальный момент времени температура боковой поверхности мгновенно повышается до температуры $T_w > T_m$ и поддерживается такой на протяжении всего процесса нагревания. Задача состоит в определении положения фронта плавления и доли расплавившегося материала.

Предполагается, что температура в твердой части цилиндра везде одинаковая и равна температуре плавления. Тогда задача формулируется так

$$\frac{\partial T_1(r, t)}{\partial t} = \kappa_1 \left(\frac{\partial^2 T_1(r, t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_1(r, t)}{\partial r} \right), \quad R > r > \eta, \quad t > 0, \quad \eta = f(t)$$

$$T_1(\eta, t) = T_m; \quad T_1(R, t) = T_w; \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1(\eta, t)}{\partial r} = \rho L \frac{d\eta}{dt}$$

где η – положение фронта плавления, ρ – плотность материала, L – скрытая теплота плавления, λ – коэффициент теплопроводности, T_1 – температура в расплавленной части.

Принимаем распределение температуры в расплавленной зоне по закону распределения температуры в полом цилиндре в стационарном состоянии.

Время полного плавления равно

$$t_m = \frac{\rho LR^2}{4\lambda_1(T_m - T_w)}$$

На рисунке 1а приведено сравнение координаты фронта плавления, полученной в результате расчета, с аналитическим решением при разных начальных условиях, где ΔT характеризует разность между температурой плавления T_m и температурой на боковой поверхности цилиндра T_w . Результаты расчета координаты фронта плавления хорошо согласуются с аналитическим решением, погрешность не превышает 2,4%.

В тесте с перемещением расплава проведен расчет эволюции скорости пленки постоянной толщины, движущейся под действием силы тяжести без учета трения с газовым потоком. Для ламинарной пленки постоянной толщины, движущейся под действием сил тяжести, скорость на поверхности может быть найдена из уравнения

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{g}{\alpha} - \frac{\gamma\eta}{\alpha\rho h^2} U$$

где U – скорость на поверхности плёнки, η – динамическая вязкость, ρ – плотность материала, h – толщина плёнки,

$$\alpha = \frac{3-\kappa}{6}; \gamma = 1-\kappa; \kappa = \frac{\rho gh/2}{\tau_{GAS} - \rho gh/2}$$

Здесь предполагается, что вклад конвективных членов в уравнении сохранения импульса пренебрежимо мал.

Решение уравнения имеет вид

$$U(t) = \frac{gh^2}{\gamma\nu} \left(1 - \exp\left(-\frac{\gamma\eta}{\alpha\rho h^2} t\right) \right)$$

Установившаяся скорость течения пленки только под действием силы тяжести равна

$$\bar{u} = \alpha\bar{U} = \alpha \frac{gh^2}{\gamma\nu}$$

Для ламинарного течения пленки

$$a = 2/3, \gamma = 2,$$

Тогда[3]:

$$\bar{u} = \frac{gh^2}{3\nu}$$

На рисунке 1б приведено сравнение результатов расчёта эволюции скорости плёнки с аналитическим решением. Из рисунка видно, что результаты, полученные при расчёте, хорошо согласуются с аналитическим решением, погрешность не превышает 5,2%.

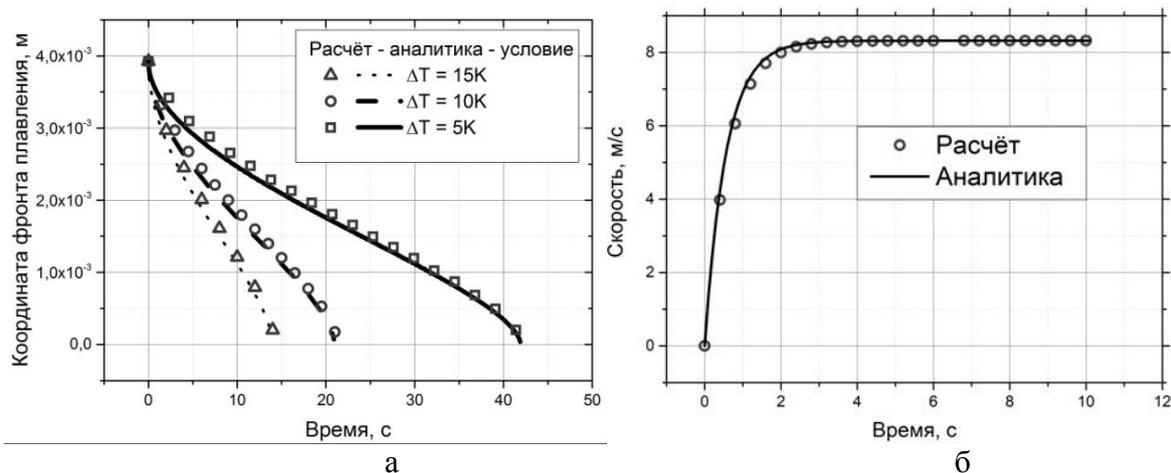


Рис. 1. Графики сравнения аналитического решения с полученным расчётом

ЛИТЕРАТУРА

1. V. Alexiades, A.D. Solomon. Mathematical modeling of melting and freezing processes. – Washington: Taylor & Francis, 1993. – 323 с.
2. Лыков, А.В. Теория теплопроводности.– Москва: Высшая школа, 1967. – 599 с.
3. Алексеенко С.В.,Накоряков В.Е.,Покусаев Б.Г. Волновое течение пленок жидкости. – Новосибирск: Наука, 1992. – 256 с.

АДАПТИРУЕМАЯ СИСТЕМА ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Падалко Д. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Большинство автономных комплексов нуждается в собственной системе электроснабжения, в промышленных системах распространение нашли электрические машины (ЭМ) переменного и постоянного тока, наиболее часто используются синхронные генераторы широкого диапазона мощностей. При проектировании таких электромеханических систем специального назначения, возникают соответствующие вопросы обеспечения бесперебойной работы, безопасности потребителей и возможности управления при значительном изменении влияющих факторов. При этом электрические машины, применяемые в автономных электрических системах, авиатранспорте, принципиально не отличаются от машин, применяемых в наземных установках. Однако, относительный вес и габариты таких электромеханических систем должны быть значительно ниже, по сравнению с неподвижными системами наземных установок.

Уменьшение габаритов и веса обуславливает сокращение срока службы, работу при повышенных частотах, применение более интенсивного охлаждения и гораздо более высококачественных изоляционных и магнитных материалов, позволяющих повысить тепловые, механические и магнитные перегрузки. В результате повышения нагрузок происходит повышение потерь, то есть снижение КПД.[1]

Таблица 1. Таблица соотношения массо-энергетических параметров электрических машин промышленного и авиационного назначения

Параметр	Типы электрических машин					
	Асинхронные		Синхронные		Постоянного тока	
	наземные	авиационные	наземные	авиационные	наземные	авиационные
Частота, Гц	50	400	50	400	66,7*	267*
Относительный полный вес**, кг/кВт	16	2	17,3	1,3	13,2	2
Соотношение веса	8		13,3		6,6	
*Частота перемагничивания якоря в машине.						
**Относительный вес в широком диапазоне мощностей.						

Для систем генерирования электроэнергии на основе асинхронной машины (АМ), несмотря на использование дополнительного источника реактивной энергии, таких как батарея конденсаторов или полупроводниковый преобразователь энергии, итоговая масса системы будет ниже по сравнению с системами, построенными на синхронных машинах или машинах постоянного тока. В таблице 2 произведено сравнение веса современных электрических машин средней мощности, модели электрических машин указаны. Согласно приведенному сравнению при одних и тех же мощностях наименьшей массой обладает асинхронная машина. Стоит понимать, что при выборе прочих моделей и материалов изготовления ЭМ, вес будет находиться в некотором диапазоне.[2]

Таблица 2. Таблица сравнения веса электрических машин средней мощности.

Тип двигателя	Модель	Мощность, кВт	Вес, кг	Относительный вес, кг/кВт
Асинхронный	АИР160S2	15	116	7,74
Синхронный	СМС-200-16/4-У2	16	160	10
Постоянного тока	4ПНМС180МО4	15	180	12

Применение асинхронных генераторов (АГ) в автономных объектах долгое время сдерживалось, в первую очередь, по причине отсутствия малогабаритных силовых конденсаторов, способных компенсировать реактивную мощность нагрузки и обеспечить возбуждение генератора. Вторым сдерживающим фактором является задача стабилизации параметров генерируемой электроэнергии для обеспечения постоянной амплитуды и частоты при переменной скорости вращения ротора. Для возбуждения АГ, как и для прочих систем необходимо обязательное выполнение двух условий: баланса фаз и баланса амплитуд. Условие баланса амплитуд заключается в коэффициенте петлевого усиления более единицы, условие баланса фаз заключается в синфазных сигналах на входе и выходе каскада обратной связи, обеспечивающего возбуждение и стабильность фазы и частоты. [5]

Система возбуждения АГ, выполненного по классической схеме с применением батареи конденсаторов, остается статичной и работает с неким ограничением по

нагрузке и реактивной энергии возбуждения. Становится возможным такое состояние, при котором из-за избыточной нагрузки произойдет срыв генерации, а при недостатке нагрузки реактивная энергия будет больше необходимого значения.

При использовании полупроводникового устройства в качестве источника реактивной энергии, не только создаются условия перехода асинхронной машины в генераторный режим, но и с помощью управления реактивным током обеспечивается плавное возбуждение – «мягкий пуск» и отсутствие избыточной реактивной энергии. В конечном счете, это приводит к повышению энергетических показателей и увеличению срока службы. Структурная схема в таком случае имеет вид, представленный на рисунке 1. [6]

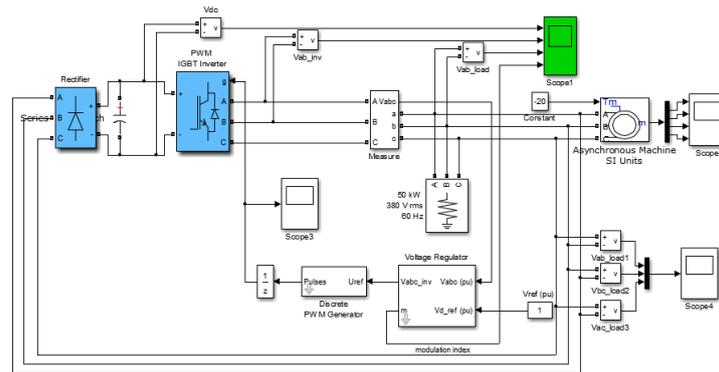


Рис. 1. Схема асинхронного генератора с полупроводниковым преобразователем

Кроме перечисленных обязательных условий имеются дополнительные факторы, влияющие на процесс генерирования электроэнергии. Одним из таких факторов самовозбуждения АГ, выявленных при сопоставлении процесса возбуждения АГ с процессом в генераторе постоянного тока параллельного возбуждения является остаточное намагничивание ротора.

Ранее считалось, что остаточный магнитный поток ротора при достаточной величине становится первоначальным импульсом для начала процесса самовозбуждения и является необходимым условием для перехода асинхронной машины в генераторный режим. В таком случае ЭДС статора наводится вращением ротора внешним моментом и согласно емкостной составляющей создаваемый поток статора будет сонаправлен остаточному магнитному потоку, что дает увеличение суммарного потока, создающего в свою очередь большую ЭДС, таким образом происходит лавинообразный процесс увеличения значений тока и напряжения до точки пересечения вольтамперной характеристики с характеристикой холостого хода. [4]

Одним из литературных источников показывающих, что самовозбуждение АГ возможно без начального магнитного потока является статья А.В. Нетушила «Самовозбуждение асинхронного генератора»[3]. В ней приведены результаты опытов по возбуждению асинхронного генератора с не намагниченным ротором, кроме того для окончательного подтверждения своих результатов, автор приводит пример самовозбуждения АГ с ротором, выполненным из немагнитного материала. Однако управляя остаточной намагниченностью можно обеспечить наиболее быстрое или плавное возбуждение. Для увеличения остаточного потока ротора достаточно использовать устройство импульсного намагничивания или использовать ротор с постоянными магнитами, что значительно усложнит производство и увеличит стоимость таких машин.

Так как изменение электромагнитных параметров ротора позволяет сократить затраты электроэнергии на возбуждение, а использование отдельного устройства

импульсного намагничивания, как и использование ротора с постоянными магнитами увеличивает конечную стоимость системы, экономически эффективнее было бы обеспечить намагничивание ротора, подавая импульсный сигнал на статор электрической машины.

Оценка параметров возбуждения была выполнена исходя из гипотезы, что самовозбуждение – это явление параметрического резонанса в контуре АМ – батарея конденсаторов, но данное утверждение встречает сложности математического характера. Подтверждение гипотезы и исследование условий возбуждения было проведено с использованием системы дифференциальных уравнений и моделирования структурной схемы. Анализ самовозбуждения был рассмотрен через систему дифференциальных уравнений в комплексной системе координат α - β (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_{s\alpha}}{dt} = \frac{U_{s\alpha}}{L_s} - \frac{r_s \cdot i_{s\alpha}}{L_s} + \frac{k_r}{L_s} \cdot \Psi_{r\alpha} + \frac{k_r}{L_s} \cdot p \cdot \omega \cdot \Psi_{r\beta}; \\ \frac{di_{s\beta}}{dt} = \frac{U_{s\beta}}{L_s} - \frac{r_s \cdot i_{s\beta}}{L_s} + \frac{k_r}{L_s} \cdot \Psi_{r\beta} + \frac{k_r}{L_s} \cdot p \cdot \omega \cdot \Psi_{r\alpha}; \\ \frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} = k_r \cdot r_r \cdot i_{s\alpha} - \frac{\Psi_{r\alpha}}{T_r} - p \cdot \omega \cdot \Psi_{r\beta}; \\ \frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} = k_r \cdot r_r \cdot i_{s\beta} - \frac{\Psi_{r\beta}}{T_r} - p \cdot \omega \cdot \Psi_{r\alpha}; \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{k_r}{J_d} (\Psi_{r\alpha} \cdot i_{s\beta} - \Psi_{r\beta} \cdot i_{s\alpha}) - \frac{M_{вп}}{J_d}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Решение вопроса нахождения влияющих факторов, требует ввода в систему параметров, описывающих остаточное намагничивание ротора, батарею конденсаторов или полупроводникового преобразователя. Для решения системы достаточно описать функции с указанием параметров электрической машины. Решение системы находилось через встроенную функцию ode45 пакета прикладных программ MatLab Simulink. Входными параметрами системы дифференциальных уравнений являются: временной диапазон, начальные условия расчетных величин и точность нахождения решения.

Высокая корреляция уравнений системы приводит к длительным расчетам, повышенным требованиям по обеспечению необходимой точности и выбору начальных условий.

Оценка системы показала зависимость эффекта генерации от остаточного магнитного потока и возможность возбуждения электрической машины от полупроводникового преобразователя. Многосторонний подход к изучению позволяет не только определить обязательные факторы для перехода в генераторный режим, но и дает возможность их численного определения. Таким образом, появляется возможность комплексного оценивания системы для требуемой подстройки параметров возбуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сипайлов Г.А. Математическое моделирование электрических машин./ Сипайлов Г.А., Лоос А.В. – М.: Высшая школа, 1980. – 176 с.
2. Беретинов А.И. Проектирование авиационных электрических машин постоянного тока./ Беретинов А.И., Ризник Г.А. – М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1958. – 423 с.
3. Нетушил А.В. Самовозбуждение асинхронного генератора/ Нетушил А.В., Бояр-Созонович С.П., Китаев А.В// Изв. Вузов. Электромеханика.-1981.-№6. –С. 613-617
4. Нетушил А.В. К расчету режимов самовозбуждения автономного асинхронного генератора / Нетушил А.В. // Электричество. 1978. -№4.- С.52-54.

5. Кунцевич П.А. Асинхронный резонансный генератор как автоперестраиваемая автоколебательная система: дисс. канд. техн. наук /Кунцевич П.А. Куйбышев: Куйбышевский политехнический институт им. В.В. Куйбышева, 1988. – 188 с.
6. Alexander G.Garganeev Principles of Electric Power Generation Based on the Self-Excited Electrical Machines Using the Perspectives of the Automatic Control Theory [Text] / Alexander G.Garganeev, Dmitry A. Padalko // Proceedings of the 14th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM 2013, Erlagol (Altai), Russia, July 1-5, 2013. – Novosibirsk: NSTU Printing Office, 2013. – p. 319 – 321.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В КАНАЛАХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Слесарева Е. Ю., Елистратов С. Л., Овчинников В. В.

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Россия, г. Новосибирск

В представленной работе исследуются тепловые режимы для потока воздуха в канале сложной формы, образованном из нескольких цилиндрических продольных нагревателей. Каналы такой формы используются в современном теплообменном оборудовании на АЭС. Для измерения поля температуры в каналах сложной формы, в качестве альтернативы, а также дополнения к традиционным контактным (термопарным) методам, может быть использована бесконтактная усовершенствованная тепловизионная методика с сеткой - термоприемником [1, 2]. Для визуализации температурного поля для сред прозрачных в инфракрасном диапазоне при таком методе используются тонкие нити и сетки с различной теплопроводностью, которые выполняют роль индикаторов температуры. Термографические изображения нитей и сеток, полученные с помощью тепловизионной техники, позволяют выполнить оценку распределения поля температур газа в пространстве для стационарных и нестационарных режимов. Для проверки адекватности моделей, описывающих переходные и нестационарные режимы требуются специфические экспериментальные данные. Тепловизионный метод оптимален для исследования таких процессов, так как дает возможность не только отслеживать скорость изменения температуры, но и дает общую картину изменения температурного поля по сечению. В настоящей работе была проведена серия экспериментов при ступенчатом изменении тепловых нагрузок и резком изменении расхода воздуха через канал сложной формы.

Методика измерений

Эксперименты проводились на термогазодинамическом стенде. На рис. 1 представлена принципиальная схема стенда по изучению течения газов в канале, образованном из семи цилиндрических нагревателей симметрично расположенных в круглой трубе. Воздух в канал подавался компрессором 1 марки АВN R-Меко-720, необходимый расход регулировался вентилем 2 на байпасной линии и измерялся с помощью газового счетчика 3 марки Тритон-газ СГМ-4. На входе в канал давление измерялось манометром. Проходя через плотную сборку 4 из трех латунных сеток с размером ячеек $3 \cdot 10^{-4}$ м, воздух поступал в кварцевую трубку 5 общей длиной $l_{TP} = 0,505$ м с внутренним диаметром 0,019 м, где размещалась сборка из семи цилиндрических нагревателей 6. Нагреватели были изготовлены из кварцевой трубки диаметром $5,9 \cdot 10^{-3}$ м в которой встраивался нагреватель из нихромовой проволоки диаметром $3 \cdot 10^{-4}$ м с общим омическим сопротивлением 1,1 Ом. Длина обогреваемого

участка трубки составляла 0,495 м. Величина нагрева для каждого нагревателя плавно регулировалась с помощью многоканального источника постоянного тока Актаком-10. Ток и напряжение на нагревателе измерялась мультиметром 9 марки RIGOL. В плотную к плоским торцевым поверхностям трубки 5 перпендикулярно газовому потоку размещалась латунная сетка 7 с размером ячеек $3 \cdot 10^{-4} \times 3 \cdot 10^{-4}$ м и диаметром нитей $1 \cdot 10^{-4}$ м. На расстоянии 0,06 м от выхода газа из трубки размещался тепловизор 8 марки NEC с макронасадкой, с помощью которого фиксировались термограммы нагреваемой газовой сетки. В текущем режиме термограммы передавались на компьютер 11. В центре потока на расстоянии $1 \cdot 10^{-3}$ м от сетки находился рабочий спай медь - константановой термопары 12. На входе в канал так же устанавливалась медь - константановая термопара. По показаниям термопар определялась температура воздуха на входе и выходе из канала.

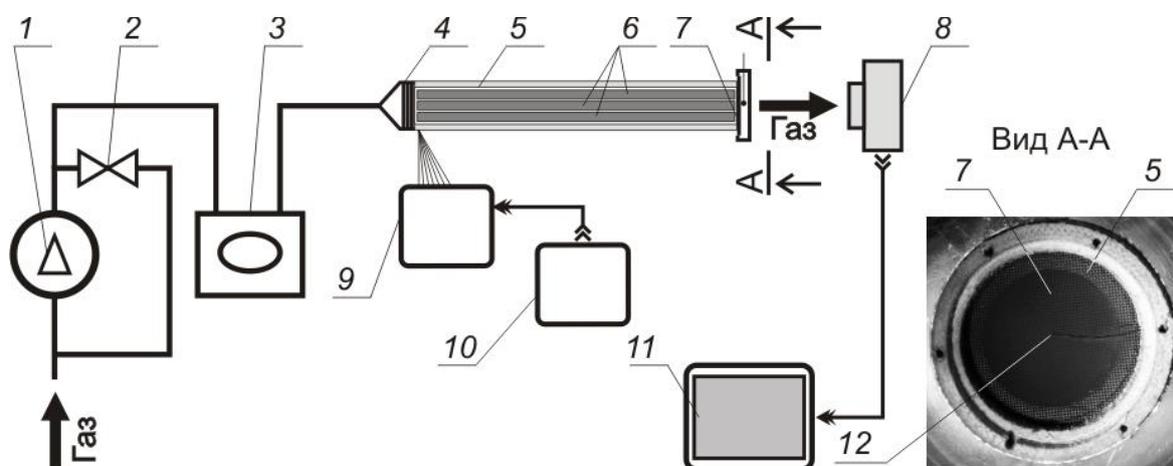


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

На рис. 2 показано сечение рабочего участка. В кварцевую трубку 1 наружным диаметром $2,3 \cdot 10^{-2}$ м помещалась сборка из семи нагревателей 2 между которыми формировалось шесть каналов 3 для потока воздуха. Эквивалентный гидравлический диаметр канала $6 \cdot 10^{-4}$ м. Общая площадь проходного сечения всех каналов $8,4 \cdot 10^{-6}$ м², теплообменная поверхность каналов $0,0275$ м². Для уменьшения тепловых потерь на кварцевую трубку накладывалась тепловая изоляция из каолиновой ваты 4 толщиной $7 \cdot 10^{-3}$ м. Между кварцевой трубкой 1 и нагревателями 2 имеется воздушная прослойка 5.

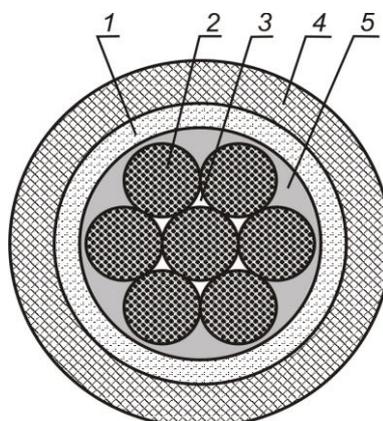


Рис. 2. Сечение канала и распределение цилиндрических нагревателей. 1 - кварцевая трубка, 2 - нагреватель, 3 - канал для потока воздуха, 4- теплоизоляция, 5 - воздушная прослойка

Одной из проблем количественной обработки термограмм является определение степени черноты ε сеток или отдельных нитей, служащих индикаторами температуры газового потока. Определение этого параметра проведено в ходе специальных опытов. Сетка датчика прижималась к полированному торцу массивного медного цилиндра. Температура на торце цилиндра измерялась термопарой. Коэффициент степени черноты ε определялся при обработке термограмм с использованием прикладной программы MikroSpec путем сравнения при одинаковых температурных условиях показаний измерительной термопары и полученных термограмм на сетки.

Результаты исследования

Исследование теплообмена в канале сложной формы было проведено в ламинарном и переходном режимах течения воздуха. Расход воздуха изменялся в диапазоне от $2,5 \cdot 10^{-4}$ кг/с до $9 \cdot 10^{-4}$ кг/с. Максимальный тепловой поток q в опытах достигал 2400 Вт/м^2 . Согласно [3] в теплообменных устройствах из коротких труб параболический профиль скорости для течений газов не успевает сформироваться и процесс теплообмена протекает при изменении гидродинамического профиля скорости. Для газов соотношение длин термического $l_{H.T.}$ и гидродинамических $l_{H.G.}$ начальных участков одного порядка:

$$l_{H.T.} = Pr \cdot l_{H.G.} ,$$

где Pr - число Прандтля. Длину термического начального участка для трубы диаметром d при постоянных физических свойствах и постоянном тепловом потоке на стенке q_{CT} можно определить как:

$$l_{H.T.} = 0,07 \cdot Pe \cdot d ,$$

где $Pe = Re \cdot Pr$ - число Пекле. Согласно [3] эта длина составит для опытного диапазона значений числа Рейнольдса $Re = 230 \div 4770$ величины порядка $l_{H.T.} = 0,21 \div 4,37$ м, которые за некоторым исключением ($Re < 540$) превышают длину трубки $l_{TP} = 0,505$ м. Эксперименты показали, что распределение температур на термограммах отражает совместное действие вязкостных и инерционных сил. Заметное влияние свободной конвекции на вынужденное течение в канале в зависимости от величины числа Грасгофа Gr проявляется при $Gr/Re > 100$. При этом на участке термической стабилизации $l_{H.T.} > l_{TP}$ наблюдается четко выраженное расслоение поперечного профиля температур по высоте, а при $l_{H.T.} < l_{TP}$ такое расслоение отсутствует вследствие прогрева потока до выхода из канала.

Для стационарных режимов теплообмен в канале с точностью 20 % описывается расчетами на основе формулы Михеева [4]:

$$Nu = 0,74 \cdot Re^{0,2} \cdot Pr^{0,3} \cdot Gr^{0,1} \cdot \chi ,$$

где величина коэффициента χ в зависимости от безразмерного расстояния от входа в трубу L/d изменяется от 1,9 на входе до 1 при $L/d > 50$. Перепад давления по длине канала соответствует результатам численного моделирования перепада давления для аналогичной конфигурации трубок в работе [5]. В стационарных режимах измеренные термопарой и полученные из термограмм температуры совпадали. При неоднородном распределении тепловых нагрузок по нагревателям термографические температуры в различных зонах совпадали с расчетными значениями.

В нестационарных режимах тепловизионный метод позволяет определять пространственные и временные характеристики потока воздуха на выходе из канала. На рис. 3 показаны термограммы сетки на выходе из канала для различных моментов времени при ступенчатом уменьшении тепловой нагрузки (а) и при резкой остановке потока воздуха (б). Для режима с постоянным расходом воздуха $8,16 \cdot 10^{-4}$ кг/с ($Re = 2532$, $Gr/Re = 0,12$); тепловой поток ступенчато уменьшается с $q_1 = 1000 \text{ Вт/м}^2$ до

$q_2 = 250 \text{ Вт/м}^2$. Термограммы показывают, что примерно через 120 с формируется новое медленно изменяющееся температурное поле. При резком перекрытии потока воздуха с расходом $2,78 \cdot 10^{-4} \text{ кг/с}$ ($Re = 765$, $Gr/Re = 0,02$) и постоянной тепловой нагрузке $q = 1200 \text{ Вт/м}^2$, новое квазистационарное состояние наступает через 240 с.

Выводы

Показано, что для стационарных режимов теплообмена в каналах сложной формы число Нуссельта может быть рассчитано по формуле Михеева с учетом поправок в зависимости от расстояния от входа в канал. Тепловизионным методом получены термограммы на выходе из обогреваемого канала для стационарных и нестационарных режимов. Полученные термограммы показали, как происходит изменение температурного поля во времени в нестационарных режимах. Анализ термограмм сетчатых термодатчиков, установленных на выходе из канала показал, что рассмотренный тепловизионный метод исследования полей температур газовых потоков может быть рекомендован для определения рабочих режимов тепловых элементов теплообменников.

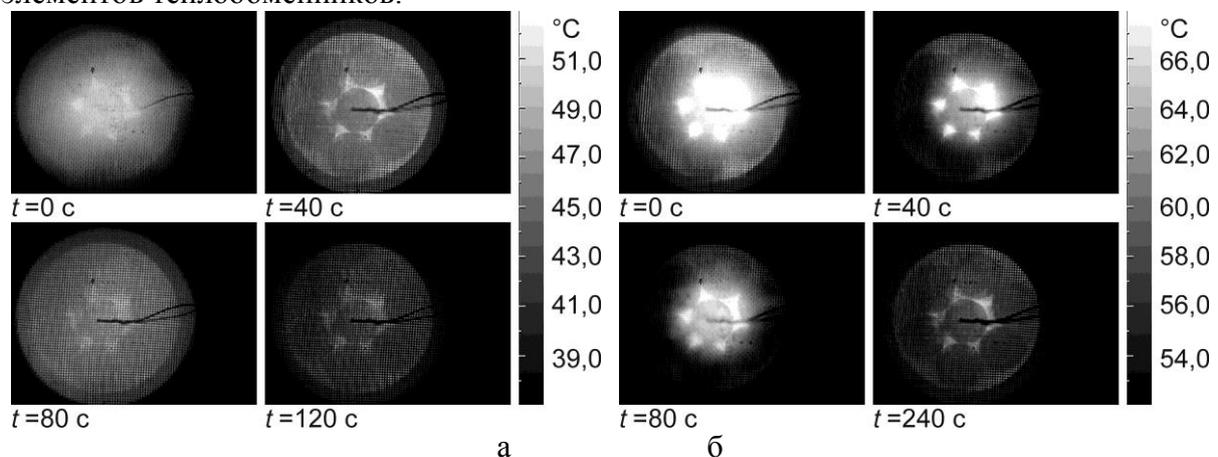


Рис. 3. Температурные профили потока воздуха на выходе из канала: а) при ступенчатом уменьшении тепловой нагрузки с $q_1 = 1000 \text{ Вт/м}^2$ до $q_2 = 250 \text{ Вт/м}^2$; постоянный расход воздуха $8,16 \cdot 10^{-4} \text{ кг/с}$; б) при резкой остановке потока воздуха с расходом $2,78 \cdot 10^{-4} \text{ кг/с}$, постоянная тепловая нагрузка $q = 1200 \text{ Вт/м}^2$

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 14-19-00352.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимова А.В., Зайцев А.В., Жилкин Б.П., Токарев Д.Н., Зайцев К.В., Дашпунцаг Х. Тепловизионная диагностика термической структуры газовых потоков. // Вестник ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. Теплоэнергетика. – 2004. – Т. 33. – № 3. – С. 139–143.
2. Elistratov S.L., Slesareva E.Yu. Thermographic study of gas flows. // EPJ Web of Conferences. – 2015. – Vol. 82. – Art. 01060. – P. 1–4.
3. Петухов Б.С. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении жидкости в трубах. М.: Энергия. 1967. – 411 с.
4. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия. 1977. – 343 с.
5. Фомичев Д.В., Солонин В.И. Гидравлические характеристики пучков стержней тепловыделяющих сборок реакторной установки Брест-ОД-300. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2015. – Т. 101. – № 2. – С. 4–17.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТОЛКНОВЕНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ДВИЖУЩИХСЯ КАПЕЛЬ ВОДЫ В ПОТОКЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗОВ

Антонов Д. В., Волков Р. С., Стрижак П. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение. В мире в настоящее время перспективными являются несколько вопросов, связанных с исследованием процессов движения последовательных капель воды в потоке высокотемпературных газов. Эти вопросы актуальны для таких сфер и отраслей промышленности, как термическая или огневая очистка воды, эмульсий и суспензий на ее основе [1, 2]. Основным недостатком современных систем термической очистки жидкостей является высокий расход топлива для реализации процессов испарения капель воды, а также необходимость повторного пропускания капель через нагревательные камеры вследствие значительного уноса жидкости газами, осаждения и конденсации ее на стенках камер. Унос капель продуктами сгорания является важной проблемой также для современных систем пожаротушения распыленными потоками [3, 4]. Все это связано с отсутствием до недавнего времени подходов и методов для достоверных экспериментальных исследований комплекса взаимосвязанных протекающих процессов тепломассопереноса, фазовых превращений и химического реагирования для газопарокапельных систем.

Цель настоящей работы – экспериментальное исследование процессов столкновения нескольких последовательно движущихся капель воды в потоке высокотемпературных газов.

Методика экспериментальных исследований. При проведении исследований использовался экспериментальный стенд, представленный на рис. 1. Данный стенд использовался для регистрации движения нескольких последовательных капель воды и изучения процессов их столкновения.

Стенд представлял собой регистрационный комплекс на базе высокоскоростных видеокамер 1 «Phantom V411» и «Phantom Miro M310» (частота съемки – до $6 \cdot 10^5$ кадров в секунду). Для генерации идентичных друг другу последовательных капель воды использовалось специально сконструированное для этих целей устройство последовательной подачи капель 11. Разработанное устройство позволяли получать начальные значения скоростей движения капель около 0,2 м/с. Размеры (радиусы) генерируемых капель варьировались в диапазоне 1-2 мм. Для формирования высокотемпературной газовой среды использовался вертикальный цилиндрический канал 13 из кварцевого стекла и полый цилиндр 14, в межстеночное пространство которого заливалось жидкое топливо – керосин, который в последствие закипал. Температура продуктов сгорания T_g составляла около 1100 К.

Методика экспериментов заключалась в следующем:

- при помощи специализированного электронного дозатора 5 выполнялся забор воды в количестве 100 мкл из емкости 4;
- дозатором 5 задавался объем генерируемых капель, после чего производилось контрольное взвешивание одной капли на лабораторных микровесах 6 и вычислялся ее объем (с целью определения погрешности дозирования);
- при помощи дозатора 5 капли размещались в устройстве последовательной подачи капель 11 на расположенных там вертикально на фиксированном расстоянии друг над другом иглах;
- устройство последовательной подачи капель 11 приводилось посредством механических манипуляций в рабочее положение;

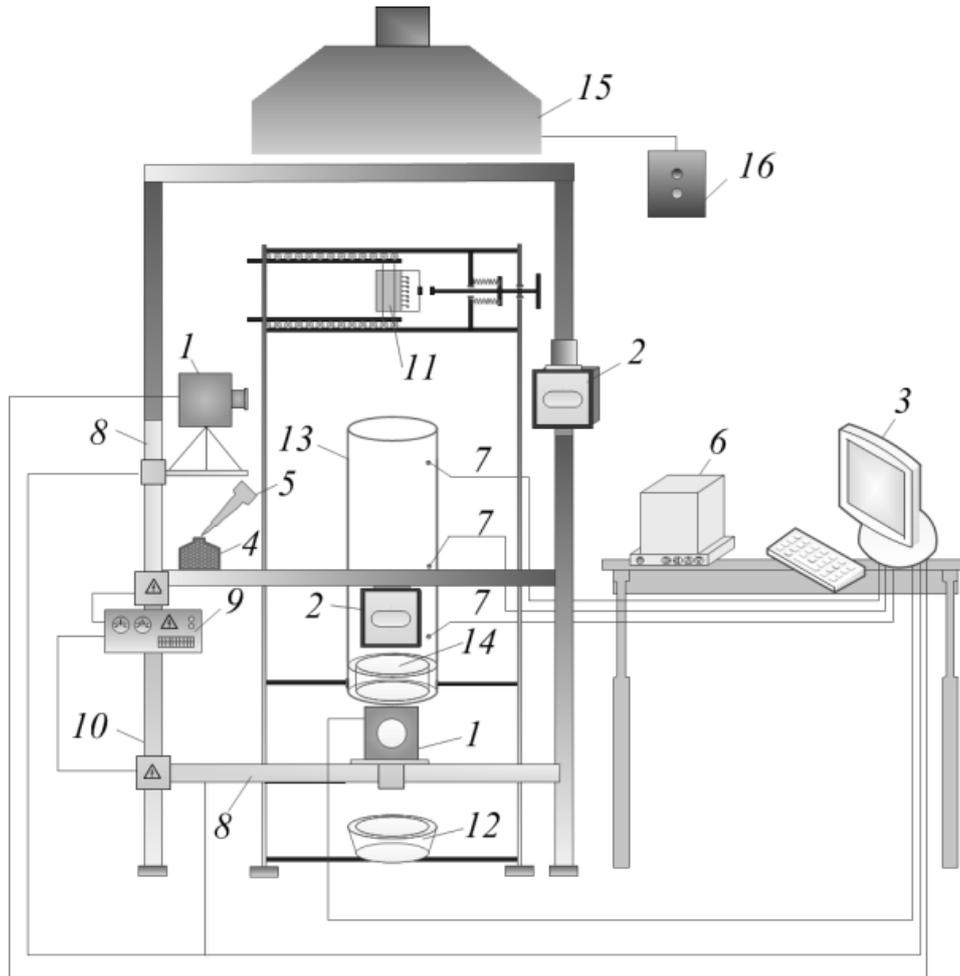


Рис. 1. Схема экспериментального стенда: 1 – высокоскоростные видеокамеры; 2 – осветительные прожекторы; 3 – персональный компьютер (ПК); 4 – емкость с водой; 5 – дозирующее устройство; 6 – микровесы; 7 – термодатчики; 8 – моторизированные координатные устройства (МКУ); 9 – блок питания МКУ; 10 – алюминиевая стойка; 11 – устройство последовательной подачи капель; 12 – уловитель капель; 13 – цилиндр из кварцевого стекла; 14 – полая часть цилиндра с горючей жидкостью; 15 – нагнетательная система; 16 – пульт включения/отключения нагнетательной системы

- осуществлялся сброс капель во внутреннюю область цилиндра 13;
- выполнялась процедура видеорегистрации движущихся капель воды высокоскоростными видеокамерами 1, для наилучшего отображения капель на видеogramмах регистрационных областей траектория их перемещения подсвечивалась осветительными прожекторами 2;
- снятые видеозаписи процесса перемещения капель передавались на рабочую станцию 3, где выполнялась процедура их обработки и последующего постэкспериментального анализа результатов при помощи специальных программных комплексов.

Результаты. В ходе данного исследования были установлены особенности процессов столкновения последовательных капель воды через высокотемпературные газы. Проведена серия опытов по регистрации процесса движения нескольких капель воды в пламени горючей жидкости. Получены зависимости расстояния между тремя последовательно перемещающимися каплями после прохождения зоны с высокотемпературными газами при различных начальных значениях l_0 (рис. 2).

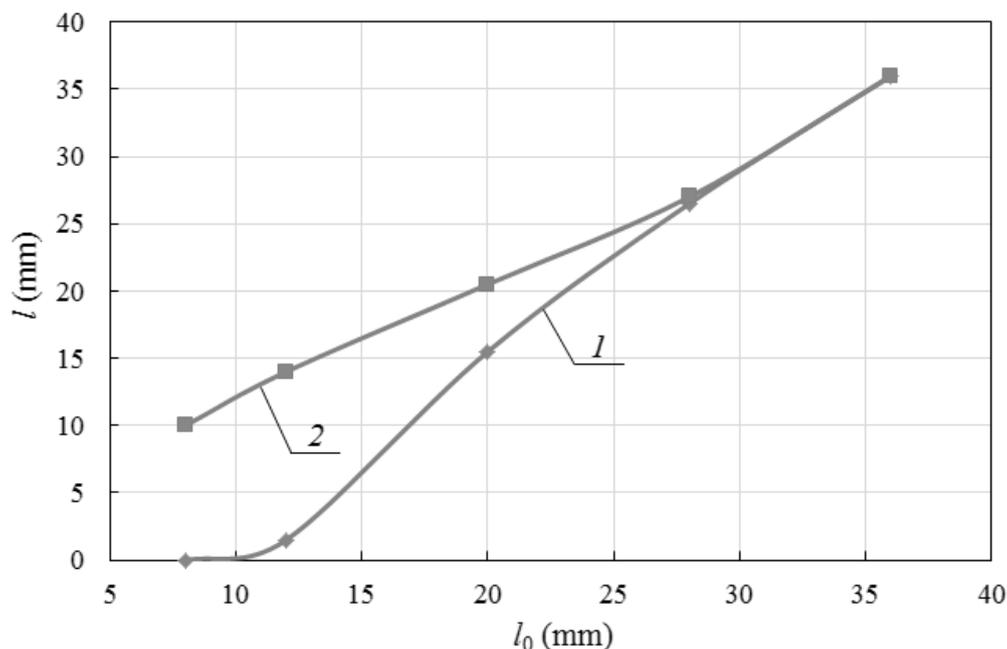


Рис. 2. Расстояния между тремя последовательно перемещающимися каплями после прохождения зоны с высокотемпературными газами при различных начальных значениях l_0 (1 – расстояние между первой и второй каплями, 2 – расстояние между второй и третьей каплями)

На рис. 2 представлены характерные расстояния между каплями при различных начальных значениях этого параметра для системы с тремя последовательно перемещающимися каплями. Полученные зависимости хорошо иллюстрируют выделенные выше эффекты ускорения, замедления и коагуляции капель в зависимости от расположения. Очевидно, что эти эффекты можно использовать в большой группе современных газопарокапельных тепловых технологиях (в частности, обработка газопарокапельными смесями зашлакованных теплонагруженных поверхностей энергетического оборудования; теплоносители на базе дымовых газов, капель воды или эмульсий, а также паров воды; термическая или огневая очистка воды, эмульсий и суспензий на ее основе). Особенно перспективным представляется применение выделенных эффектов при разработке систем полидисперсного пожаротушения специализированными смесями и аэрозолями.

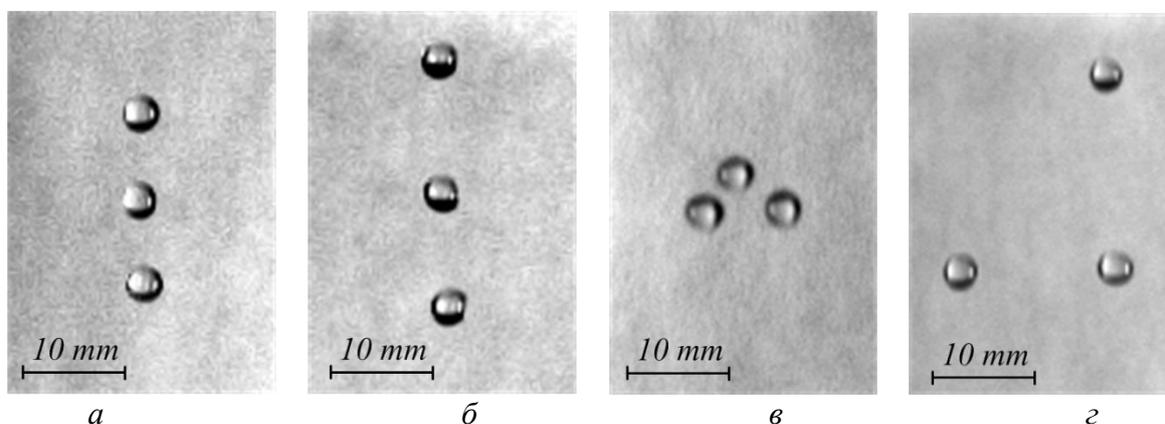


Рис. 3. Видеogramмы с изображениями трех капель, движущихся последовательно (а – $l_0 = 8$ мм, б – $l_0 = 12$ мм) и последовательно-параллельно (в, г)

На рис. 3 представлены характерные видеокадры с последовательно-параллельным движением капель через рассматриваемые высокотемпературные газы. При расстояниях между характерными траекториями параллельно движущихся капель больше $3R_d$ влияние впереди идущих капель на условия движения последующих для представленных на рис. 3 схем минимально (последующие капли перемещаются с характеристиками, соответствующими впереди идущим). При уменьшении расстояний между последовательно и параллельно перемещающимися каплями выделенные эффекты торможения, ускорения и коагуляции зарегистрированы во всех опытах.

Заключение. Выделенные закономерности перемещения нескольких последовательных капель воды позволили сделать вывод о том, что при высоких температурах газов очень высока вероятность последовательного слияния большой группы капель движущихся друг за другом. Этот эффект очень важен для протяженных каналов в теплоэнергетических приложениях, а также больших площадях горения в системах пожаротушения. При этом масштаб отличий определяется начальным расстоянием между каплями. Разработанная методика и установленные эффекты могут быть использованы для решения большой группы фундаментальных газопарокапельных задач, а также при прогностической оценке полноты испарения и масштабов уноса капель в системах термической очистки воды и полидисперсного пожаротушения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 15-33-5008515).

ЛИТЕРАТУРА

1. Терехов В.И., Терехов В.В., Шишкин Н.Е., Би К.Ч. Экспериментальное и численное исследование нестационарного испарения капель жидкости // Инженерно-физический журнал. –2010. –Т. 83. –№ 5. –С. 829–836.
2. Терехов В.И., Пахомов М.А. Тепломассоперенос и гидродинамика в газопарокапельных потоках. – Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 2009. –284 с.
3. Волков Р.С., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Экспериментальное исследование влияния начальной температуры распыленной воды на интенсивность ее испарения при движении через пламя // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. N 3. – С. 12–21.
4. Волков Р.С., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Влияние начальных параметров распыленной воды на характеристики ее движения через встречный поток высокотемпературных газов // ЖТФ. –2014. – Т. 84. –№ 7. –С. 15–23.

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КАМПУСА ДВФУ И О. РУССКИЙ

Горте О. И.*, Хмелик М. С.***, Маркин В. А.***

*Новосибирский Государственный технический университет, Новосибирск

** Сколковский институт науки и технологий,

Центр по энергетическим системам, Москва

***Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

Введение

Развитие российской энергетики неизбежно должно пойти в направлении применения новых технологических решений: распределенных устройств хранения энергии, твердотельных трансформаторов, средств кибернетической безопасности,

интеллектуальных выключателей и систем распределенного интеллектуального управления, основанных на теории системного моделирования и управления, пост-кремниевой электроники и нового поколения накопителей энергии. Эти технологии должны быть отработаны в пилотных проектах, одним из которых может стать образовательно-энергетический кластер на базе инфраструктуры кампуса ДВФУ и/или о. Русский в целом. Здесь может найти практическую реализацию разрабатываемая центром стратегических разработок концепция НТИ EnergyNet [1].

В последнее время существенное внимание уделено развитию российского Дальнего Востока, в связи с чем особую актуальность приобретает освоение новых технологий на базе распределенных возобновляемых источников энергии. Удобным местом для экспериментальных исследований может стать сеть электроснабжения о. Русский и кампуса ДВФУ, ориентированного на подготовку специалистов по эксплуатации интеллектуальных микроэнергосистем, и виртуальных электростанций [2].

На первом этапе работы важно создать динамические модели компонентов возможной микроэнергосистемы (Microgrid) кампуса ДВФУ, интегрированной в интеллектуальную сеть о. Русский (Smart Grid), которые могли бы стать основой для математического моделирования установившихся и переходных режимов экспериментальной сети электроснабжения кампуса и/или лабораторного корпуса ДВФУ. Разнообразие компонентов распределенной энергетики не позволяет в рамках настоящей статьи исследовать различные структуры Microgrid и Smart Grid, так что ниже рассмотрена только одна из возможных структур интеллектуальной сети.

В представлении авторов настоящей статьи виртуальная станция на о. Русский может быть представлена тремя уровнями: на базе лабораторного корпуса Инженерной школы ДВФУ (нижний уровень), на базе кампуса ДВФУ (средний уровень), и на базе сети тепло- и электроснабжения о. Русский в целом (верхний уровень). Результаты математического моделирования такой структуры позволят разработать инновационные технические решения, оптимально подобрать и настроить силовое оборудование и системы управления им.

Модель сети электроснабжения о. Русский детально рассмотрена в [2,3]. Отличие настоящего исследования состоит в том, что одна из эквивалентных нагрузок заменена моделью гипотетической микроэнергосистемы. Компонентами последней на текущем этапе стали: дизель-генератор (ДГ) мощностью 200 кВт, ветровая электростанция (ВЭС) – 275 кВт, солнечная панель - 100 кВт, приведенные на рис. 1,а. До последнего времени состав микроэнергосистемы окончательно не утвержден и может претерпеть изменения. Приведенная в работе структура представляет лишь тестовую модель для исследования основных закономерностей функционирования микроэнергосистемы и ее компонентов в установившихся и переходных режимах.

Настоящее исследование выполнено средствами программного комплекса MATLAB/Simulink, величины генерации и нагрузок приведены в Таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Параметры генерации

Name	G1	G2	G3	Σ
$P_{установ.}, MW$	2x1.8	5x7.0	2x7.0	52,6
$P_{рабочая}, MW$	2x1.8	4x7.0	1x7.0	38,6

Таблица 2. Параметры нагрузок

Load node	L6	L-G1	L4	L5	L1	L2	L3	Σ
P, MW	13,96	1,75	7	2,35	3	8	2,5	37,81

Модель ветровой электростанции (рис.1,а) представлена стандартными средствами MATLAB/Simulink и состоит из блоков ветровой турбины и асинхронного генератора из библиотеки MATLAB/Simulink [4], а также из моделей устройства продольной компенсации реактивной мощности и активной нагрузки мощностью 100 кВт. Принятая для исследования модель ВЭС в полной мере удовлетворяет требованиям задач текущего этапа проекта создания Smart Grid на базе кампуса ДВФУ. В дальнейшем она может быть уточнена и детализирована.

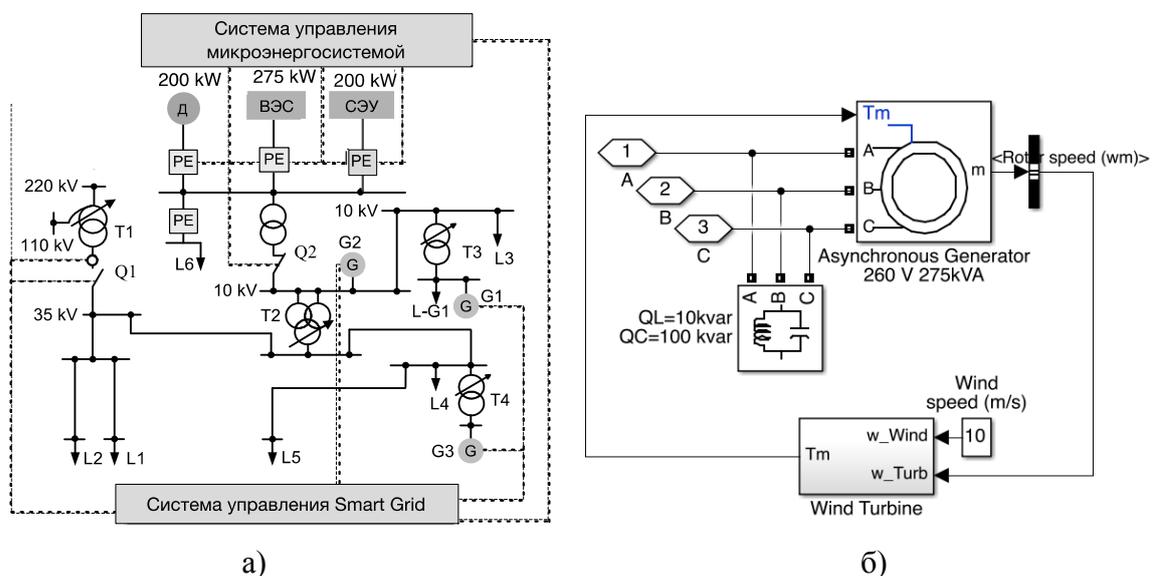


Рис. 1. Однолинейная схема сети электроснабжения о. Русский с возможной структурой микроэнергосистемы (а): Д – дизель-генератор, ВЭС – ветровая установка, СЭУ – солнечная электроустановка, PE – устройства силовой электроники, L1-6 – нагрузки, T1-4 – трансформаторы, G1-3 – мини-ТЭЦ. Модель ВЭС в формате MATLAB/ Simulink (б)

Рисунок 2 представляет модель солнечной установки (Photovoltaic model – PV), выполненной на основе блоков, заимствованных из примера библиотеки MATLAB/Simulink [5].

Модель солнечной панели выполнена матрицей из 5-ти последовательно и 66-ти параллельно соединенных модулей. Характер изменения выходной мощности панели имитирует блок, в котором приведены профили изменения температуры и солнечного излучения. Система управления установкой основана на методе отслеживания точки максимальной мощности (в англоязычной терминологии Maximum Power Point Tracking) для определения генерируемой мощности. Присоединение модели к сети 10 кВ выполнено через трансформатор.

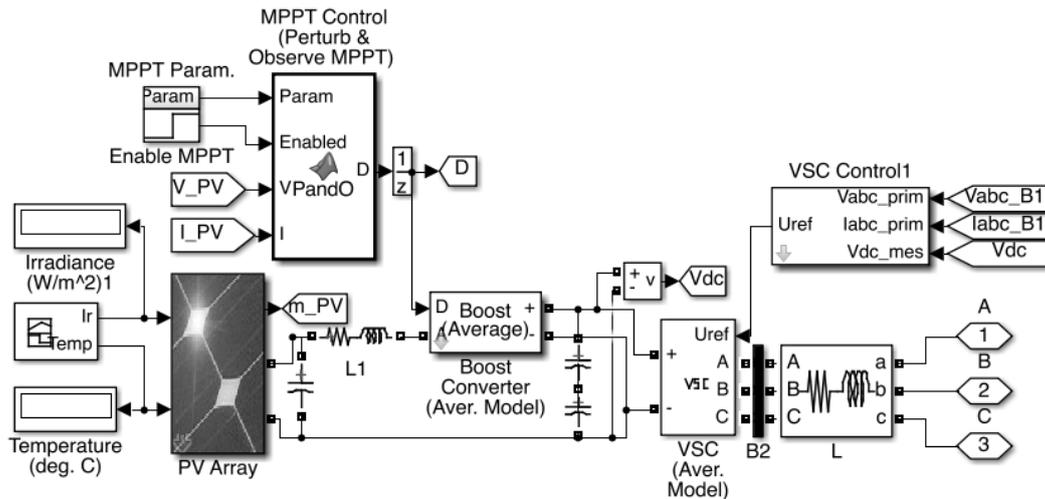


Рис. 2. Модель солнечной панели на базе в формате MATLAB/Simulink

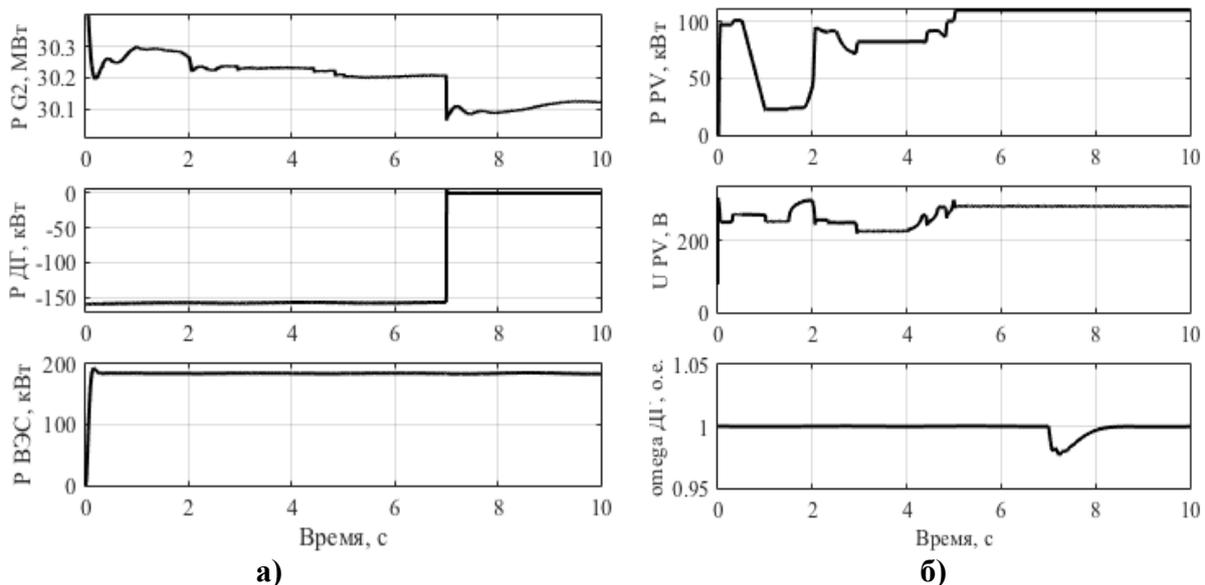


Рис. 3. Реакция G2 на возмущения; действие ДГ; мощность ветроэлектростанции (сверху вниз) (а). Изменение активной мощности солнечной панели; изменение напряжения солнечной панели; изменение скорости вращения ДГ в ответ на возмущение (сверху вниз) (б).

Содержание вычислительных экспериментов позволяет оценить эффективность разработанной модели путем: 1) моделирования изменения мощности солнечной панели и реакции на него электростанции, представленной генератором G2; 2) моделирования наброса нагрузки величиной 80 кВт на ветрогенератор в момент времени 6 секунд; 3) имитации срабатывания выключателя дизель-генератора, питающего собственную нагрузку, который отсоединяет в момент времени 7 секунд дизель-генератор и нагрузку от сети 10 кВ.

Характер изменения мощности, приведенный на рис. 3,а, показывает принятие дизель-генератором нагрузки после отключения от сети в момент времени 7 секунд. Изменение параметров режимов солнечной панели и дизель-генератора приведены на рис.3,б.

Заключение

Предложенная модель сети электроснабжения кампуса ДВФУ и о. Русский должна стать основой для дальнейших работ по созданию экспериментальной площадки на базе образовательно-энергетического кластера в ДВФУ. Разработка структуры и состава интеллектуальной микроэнергосистемы и/или виртуальной станции в составе сети электроснабжения о. Русский – предмет исследований ближайшего времени, которые могут определить вектор развития всего кластера. Кроме того, модель может обеспечить возможность правильной настройки существующего генерирующего оборудования и его систем регулирования.

Принимая во внимание, что отечественной промышленностью освоены технологии производства маховиковых накопителей энергии, технические характеристики которого позволяют применять его для управления переходными процессами микро- и мини- интеллектуальных энергосистем, этот тип накопителя следует рассматривать наиболее перспективного для сети электроснабжения о. Русский и кампуса ДВФУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.cigre.ru/news/2015_09_EnergyNet/2015_08-06_EnergyNet.pdf.
2. Горте О.И., Кирьянова Н.Г., Остапенко А.И. и др. Остров Русский-экспериментальная база для исследования противоаварийной автоматики микроэнергосистем / XXII научно-практическая конференция «Релейная защита и автоматика энергосистем 2014» / Москва, 2014. – С. 627-633.
3. Арестова А.Ю., Горте О.И., Хмелик М.С. и др. Накопитель энергии как средство противоаварийного управления на примере сети электроснабжения о. Русский / V международная научно-техническая конференция «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем», Сочи, 2015.
4. <http://www.mathworks.com/help/phymod/sps/examples/wind-turbine-asynchronous-generator-in-isolated-network.html>.
5. <http://www.mathworks.com/examples/simpower/143-average-model-of-a-100-kw-grid-connected-pv-array>.
6. Горте О.И., Хмелик М.С. Упрощенная модель накопителя энергии для исследования устойчивости микроэнергосистем средней мощности / V Международная молодежная научно-техническая конференция «Электроэнергетика глазами молодежи-2014» / Томск, 2014. – Т. 2. – С. 507-512.

ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ТОПЛИВ ТЭС И КОТЕЛЬНЫХ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ЗОНЕ ИХ РАЗМЕЩЕНИЯ

Махсутбек Ф. Т., Ожикенова Ж. Ф.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Прогноз структуры топливно-энергетического баланса России показывает, что нефть и газ останутся доминирующими энергоносителями, при сжигании которых в 2030 г. будет производиться 70% энергии [1]. Следует помнить о том, что большое число электростанций и крупных котельных используют мазут в качестве основного топлива, на всех электростанциях и котельных, работающих на газовом топливе, имеются резервные мазутные хозяйства, а электростанции и котельные, работающие на угле, часто используют мазут для растопки и подсвечивания факела [2].

Действующие по сегодняшний день отраслевые методики расчета и проектирования мазутных хозяйств далеко не в полной мере отражают все особенности тепловых процессов, происходящих на всех стадиях подготовки мазута к сжиганию [3].

Одним из перспективных подходов к исследованию тепловых потерь резервуаров ТЭС и котельных в условиях реальной эксплуатации является использование разнообразных коммерческих или открытых пакетов прикладных программ, позволяющих учитывать различные эффекты и процессы, приводящие к интенсификации процессов переноса в рассматриваемых системах.

Целью работы является математическое моделирование тепловых потерь резервуаров ТЭС и котельных, расположенных в зонах влияния инженерных сооружений и численный анализ тепловых режимов рассматриваемых объектов в подобных условиях.

Рассматривается типичный вертикальный цилиндрический стальной подземный резервуар марки РВС–100. На рисунке 1 показано схематическое изображение области решения рассматриваемой задачи.

Для рассматриваемой области (рисунок 1) решается двумерная стационарная задача теплопроводности в системе «подземный резервуар – окружающая среда» с учетом наличия инженерных сооружений в зоне размещения резервуаров ТЭС и котельных.

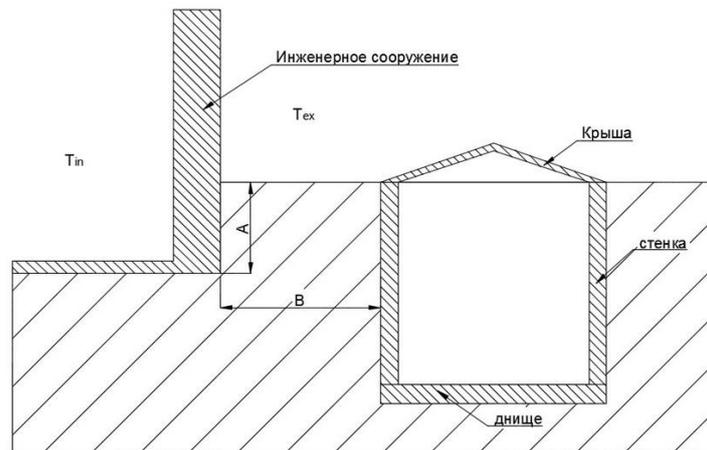


Рис. 1. Схема поперечного сечения области решения

Процессы переноса тепла для рассматриваемого объекта (рисунок 1) будут описываться следующими соотношениями:

$$\nabla^2 T_{из} = 0, \tag{1}$$

$$\nabla^2 T_{г} = 0, \tag{2}$$

$$\nabla^2 T_{ф} = 0. \tag{3}$$

$$T_{из,1} = T_m = \text{const}. \tag{4}$$

$$\lambda_{из} \text{grad}(T_{из,2}) = \lambda_{г} \text{grad}(T_{г,2}); \quad T_{из,2} = T_{г,2}; \tag{5}$$

$$\lambda_{г} \text{grad}(T_{г,3}) = \lambda_{ф} \text{grad}(T_{ф,3}); \quad T_{г,3} = T_{ф,3}. \tag{6}$$

$$-\lambda_{г} \text{grad}(T_{г,4}) = \alpha(T_{г,4} - T_{ex}), \tag{7}$$

$$-\lambda_{ф} \text{grad}(T_{ф,5}) = \alpha(T_{ф,5} - T_{ex}). \tag{8}$$

$$-\lambda_{ф} \text{grad}(T_{ф,6}) = \alpha(T_{ф,6} - T_{in}). \tag{9}$$

$$-\lambda_{ф} \text{grad}(T_{ф,7}) = \alpha(T_{ф,7} - T_{in}), \tag{10}$$

$$\text{grad}(T_{г}) = 0, \quad x \rightarrow \pm\infty, \quad y \rightarrow -\infty. \tag{11}$$

$$\text{grad}(T_{ф}) = 0, \quad x \rightarrow \pm\infty, \quad y \rightarrow +\infty. \tag{12}$$

Обозначения: T – температура, К; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·К.

Индексы: из – слой тепловой изоляции; г – грунт; м – мазут; ф – фундамент инженерного сооружения; in – внутренний; ex – наружный; 1 – внутренняя поверхность изоляции резервуара; 2 – граница раздела «корпус резервуара- грунт»; 3 – граница раздела «грунт – фундамент инженерного сооружения»; 4 – граница раздела «грунт – окружающая среда»; 5 – граница раздела «грунт – инженерного сооружения»; 6 – граница раздела «фундамент – воздух внутри инженерного сооружения». 7 – граница раздела «пол подвала – воздух внутри инженерного сооружения».

Рассматриваемая задача (1) – (12) решена с применением средств и функций пакета программ мультифизического моделирования COMSOL Multiphysics с использованием модуля General Heat Transfer [4].

Исследование проводилось для резервуара марки РВС-100 с тепловой изоляцией из минеральной ваты (толщина 50 мм).

При проведении численного моделирования предполагалось, что температура внутренней поверхности резервуара имеет постоянное значение, равное температуре хранящегося топлива $t_m = 80$ °С. Расстояние от внешней изоляции резервуара до фундамента составляло $B = 20$ м, а заглубление фундамента $A = 2$ м [5]. Температура окружающей среды T_{ex} принималась равной средней температуре воздуха за период отопления в городе Томск [7], а температура воздуха внутри инженерного сооружения составляло $T_{in} = 293,15$ К. В таблице 1 приведены теплофизические характеристики материалов и веществ, использовавшиеся при проведении исследований [6].

Таблица 1. Теплофизические характеристики материалов

Материал	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·°С)
Минеральная вата	150	0,046	840
Железобетон	2200	1,54	887
Грунт	1835	1,42	1155

Основные результаты численного моделирования тепловых режимов резервуаров для хранения топлив ТЭС и котельных с учетом влияния инженерных сооружений в зоне их размещения приведены в таблице 2 и на рисунках 2, 3.

В таблице 2 приведены значения тепловых потерь Q_1 рассчитываемого объекта без учета наличия инженерных сооружений и Q_2 – с учетом наличия инженерных сооружений в зоне размещения резервуаров для хранения топлив ТЭС и котельных.

Таблица 2. Результаты расчета тепловых потерь

Вариант расчета	Температура окружающей среды, °С	Q_1 , кВт	Q_2 , кВт	$\delta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2}$, %
сентябрь	+9,2	97,451	97,638	0,192
октябрь	+0,9	109,140	109,103	0,034
ноябрь	-10,4	124,727	124,719	0,006
декабрь	-17,5	134,281	134,730	0,333
январь	-19,2	136,641	136,866	1,334
февраль	-16,7	133,157	133,419	0,196
март	-10,1	124,090	124,314	0,180
апрель	-0,1	110,264	110,490	0,205
май	+8,6	98,275	98,462	0,190
июнь	+15,3	89,021	89,208	0,210

Результаты численного анализа тепловых потерь резервуаров для хранения топлив ТЭС и котельных, приведенные в таблице 4, свидетельствуют о том, что наличие инженерного сооружения в зоне их размещения мало влияют на изменение тепловых потерь, поэтому можно пренебречь этим показателем.

На рисунках 2, 3 приведены типичные температурные поля в зоне резервуаров для хранения топлив ТЭС и котельных при отсутствии близрасположенных инженерных сооружений (рис.2) и при их наличии (рис.3).

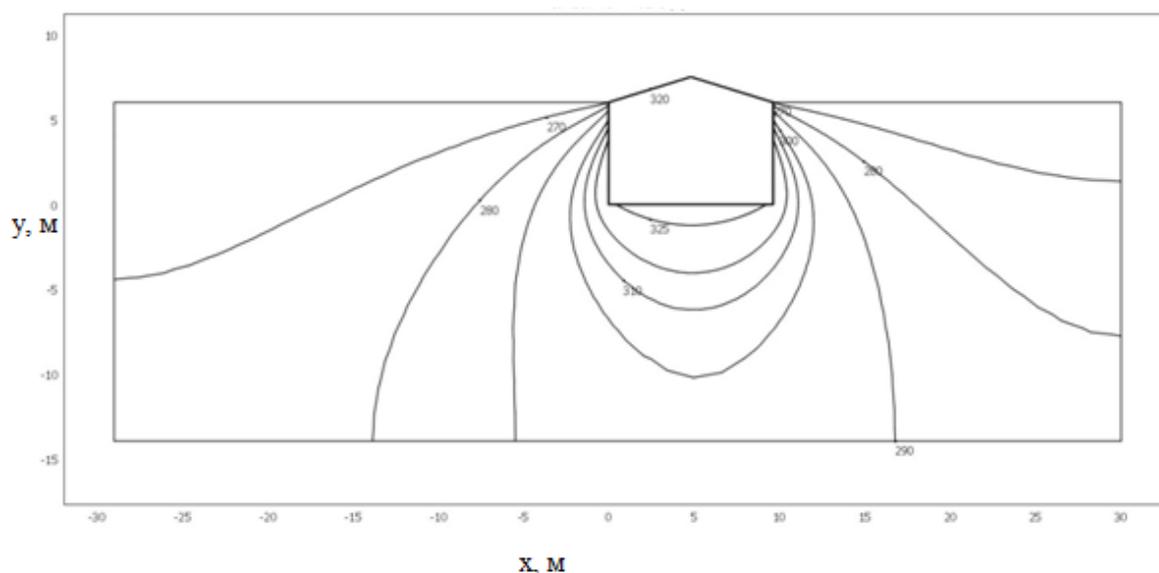


Рис. 2. Типичные температурные поля в зоне размещения резервуаров для хранения топлив ТЭС и котельных при температуре окружающей среды -40°C

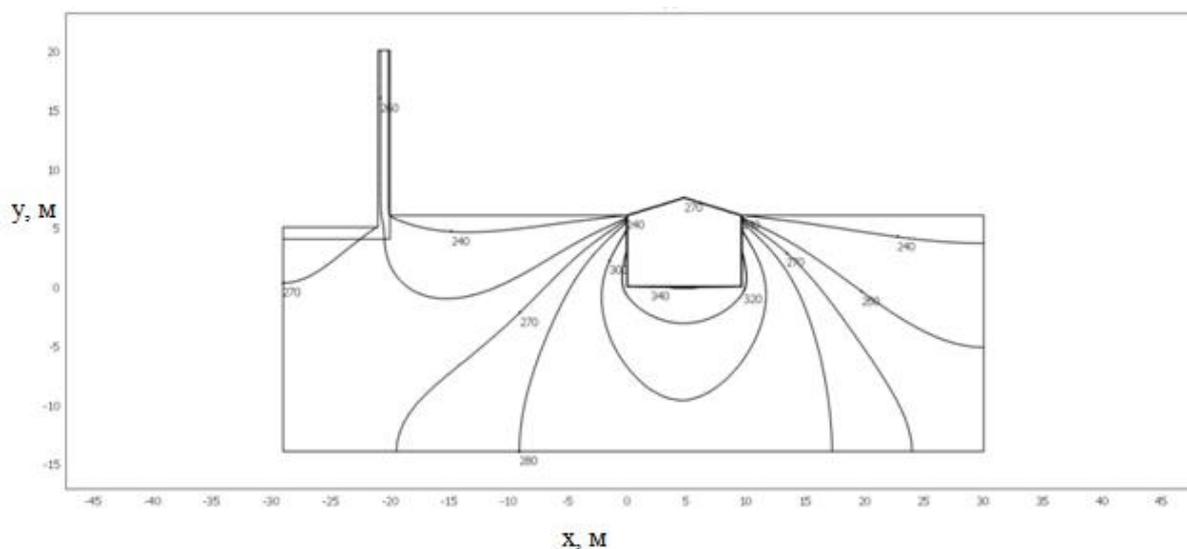


Рис. 3. Типичные температурные поля в зоне размещения резервуаров для хранения топлив ТЭС и котельных при температуре окружающей среды -40°C с учетом влияния инженерного сооружения

ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие теплоснабжения в России в соответствии с Энергетической стратегией до 2030г. // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 2. – С. 6–9.
2. Олимпиев В.В., Михеев Н.И., Молочников В.М. Энергосберегающая технология хранения и подогрева мазута в мазутных хозяйствах ТЭС и котельных // Известия академии наук. Энергетика. – 2005. – №1 – С. 14 – 1
3. Назмеев Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭС. – М.: МЭИ, 2002. – 612 с.
4. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 89 с.
5. СНиП 2.11.03-93. Строительные нормы и правила. Склады нефти и нефтепродуктов. Противопожарные нормы. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2011. – 46 с.
6. Гува А.Я. Краткий теплофизический справочник. Новосибирск: Сибвузиздат, 2002. – 300 с.
7. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. Учебник для вузов. М.: Издательство МЭИ. 2001. – 472 с.

ПРЯМОЙ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ОКСИДОВ МЕДИ

Фирсов К. Е., Сайгаш А. С., Сивков А. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

Оксиды меди в нанодисперсном состоянии являются перспективными материалами для создания высокотемпературных сверхпроводников, полупроводниковых сенсоров, эффективных катализаторов]. Они находят применение в качестве добавок к электродным материалам для изготовления высокопроводящих кислородных электродов с высокой электрохимической активностью, в качестве селективного поглотителя солнечной энергии в составе покрытия тепловых преобразователей солнечной энергии[1], а также используются для придания медицинским материалам биоцидных свойств[2]. Нанодисперсные порошки оксидов меди получают разными способами: методом электролиза металлической меди с использованием переменного тока промышленной частоты[3], синтез CuO электрическим взрывом проводников[4], методом катодного восстановления из водно-органических растворов электролитов[5].

Одним из перспективных методов синтеза нанодисперсных кристаллических материалов различного состава является их прямое получение в высокоскоростной импульсной струе плотной электроэрозионной плазмы, генерируемой импульсным сильноточным ($\sim 10^5$ А) коаксиальным магнитоплазменным ускорителем[6]. Целью данной работы являлось исследование особенностей дисперсного, фазового и химического состава продуктов синтеза.

Композиционные электродные материалы могут быть отнесены к дисперсно-упрочненным спеченным сплавам. Контактные материалы, используемые в узлах коммутации электрического тока высоко- и низковольтного назначения, должны обладать комплексом самых разнообразных свойств: малое удельное и контактное сопротивление, незначительная эрозия (т. е. способность противостоять массопереносу в условиях дугового разряда и свариваемости при замыкании и размыкании), механическая прочность и термическая инертность, высокая теплопроводность и т. д.

Плазмодинамический метод является достаточно универсальным и базируется на использовании сильноточного (порядка 10^5 А) импульсного (до 10^{-3} с) коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) эрозионного типа[6].

Прямой плазмодинамический синтез осуществляется в гиперскоростной струе электроразрядной эрозионной плазмы. Для получения ультрадисперсных нанокристаллических оксидов меди центральный электрод и ствол-электрод с цилиндрическим ускорительным каналом (УК) диаметром $d_{УК}=20$ мм и длиной $l_{УК}=240$ мм изготавливаются из металлической меди. Из этого же металла состоит токопроводящая тонкая перемычка между центральным электродом и поверхностью УК в его начале. Импульсное электропитание ускорителя осуществляется от емкостного накопителя энергии с емкостью конденсаторной батареи до $C=28,8$ мФ, заряженной до напряжения $U_{зар}=2\div 4$ кВ.

При включении источника электропитания на нагрузку, под действием быстро нарастающего тока происходит электрический взрыв медной перемычки с последующим формированием плазменной структуры сильноточного дугового разряда типа Z-пинч, ускоряемого в коаксиальной системе до гиперзвуковой скорости. При этом происходит электроэрозионная наработка с медной поверхности УК основного прекурсора – меди, которая поступает в структуру разряда, переходит в плазменное состояние и выносится из УК с гиперзвуковой скоростью в замкнутое пространство камеры-реактора, заполненное газообразной смесью, содержащей кислород – второй прекурсор окислительного процесса.

При условиях: $C = 28,8$ мФ, $U_{зар} = 2$ кВ, $P_0 = 1,0$ атм скорость струи на срезе УК составляет $v_c \sim 3,65$ км/с. В процессе истечения в ударно-волновой фронт встречно поступает ионизированный воздух содержащий кислород, обеспечивающий окислительный процесс. Распыление жидкой фазы происходит со свободной границы головной ударной волны, скорость которой экспоненциально затухает по мере перемещения и снижения давления в УК.

В данных условиях при подведенной к КМПУ энергии $W=57,6$ кДж, наработка дисперсного продукта составляет $m=5,0$ г за один цикл работы.

Фазовый состав порошков определяли с помощью рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD-7000. Идентификация кристаллических фаз проводилась с помощью базы данных PDF4+. Размер и форму частиц анализировали с помощью сканирующих электронных микроскопов Hitachi TM-3000 и Philips CM12. Поведение порошков при нагревании исследовали с помощью термического анализа. В работе использовали термоанализатор SDT Q600. Анализ проводили в режиме линейного нагрева в интервале 20–1000 °С со скоростью нагрева 10 град/мин в атмосфере воздуха. Газообразные продукты, которые выделялись при нагреве образцов, регистрировались с помощью масс-спектрометрической приставки VG Prolab. Для записи ИК-спектров в области 4000–400 см^{-1} использовали ИК-фурье-спектрометр Nicolet 5700.

Рентгенофазовому анализу были подвергнуты следующие образцы медьсодержащих порошков (рис. 2): кривая 1 – исходный порошок, полученный методом плазмодинамического синтеза с помощью КМПУ с медными электродами; кривая 2 – порошок после термообработки в вакууме при 420 °С; кривые 3 и 4 – порошки после нагрева в воздухе до 435 и 800 °С соответственно. Согласно данным рентгенофазового анализа, в состав исходного порошка входит металлическая медь, оксиды меди Cu_2O и CuO , а также гидратированный гидроксид меди $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Нагрев порошка в вакууме до 420 °С осуществлялся с помощью температурной приставки Anton Paar ТТК450 к дифрактометру, скорость нагрева составляла 25 °С/мин, длительность выдержки при указанной температуре – 70 мин. На рентгенодифрактограмме порошка после термообработки исчезают рефлексы, соответствующие гидратированному гидроксиду меди, который разлагается на оксид меди CuO и воду.

С целью изучения морфологии частиц, образующихся в процессе плазгодинамического синтеза, были проведены электронно-микроскопические исследования медьсодержащего порошка. На рис. 3 показаны микрофотографии, полученные с помощью просвечивающей электронной микроскопии, исходного синтезированного порошка (рис. 3, а), а также образцов после термообработки в вакууме при 420 °С (рис. 3, б) и в воздухе при температурах 435 и 800 °С (рис. 3, в и г). Частицы исходного порошка имеют разную форму: близкую к сферической, вытянутую продолговатую и форму прямоугольников с пористой структурой. Последние, имеющие размер 80–150 нм, могут быть отнесены к гидратированному гидроксиду меди. Согласно данным [7], подобная пористая структура была получена после воздействия на гидратированный гидроксид меди электронного пучка при проведении микроскопических исследований. После термообработки частицы порошка приобретают огранку, что связано с формированием оксида меди CuO.

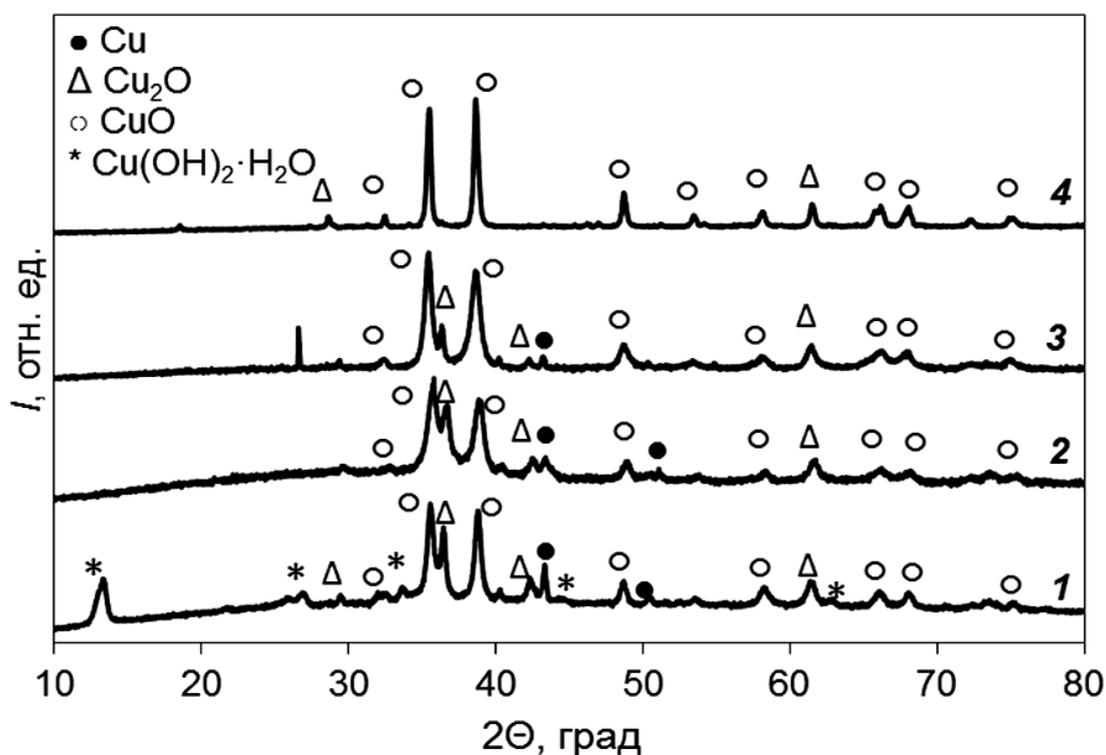


Рис. 2. Рентгенодифрактограмма медьсодержащих продуктов плазгодинамического синтеза: кр. 1 – исходный образец; кр. 2 – после термообработки в вакууме при 420 °С; кр. 3 – после термообработки в воздухе при 435 °С; кр. 4 – после термообработки в воздухе при 800 °С

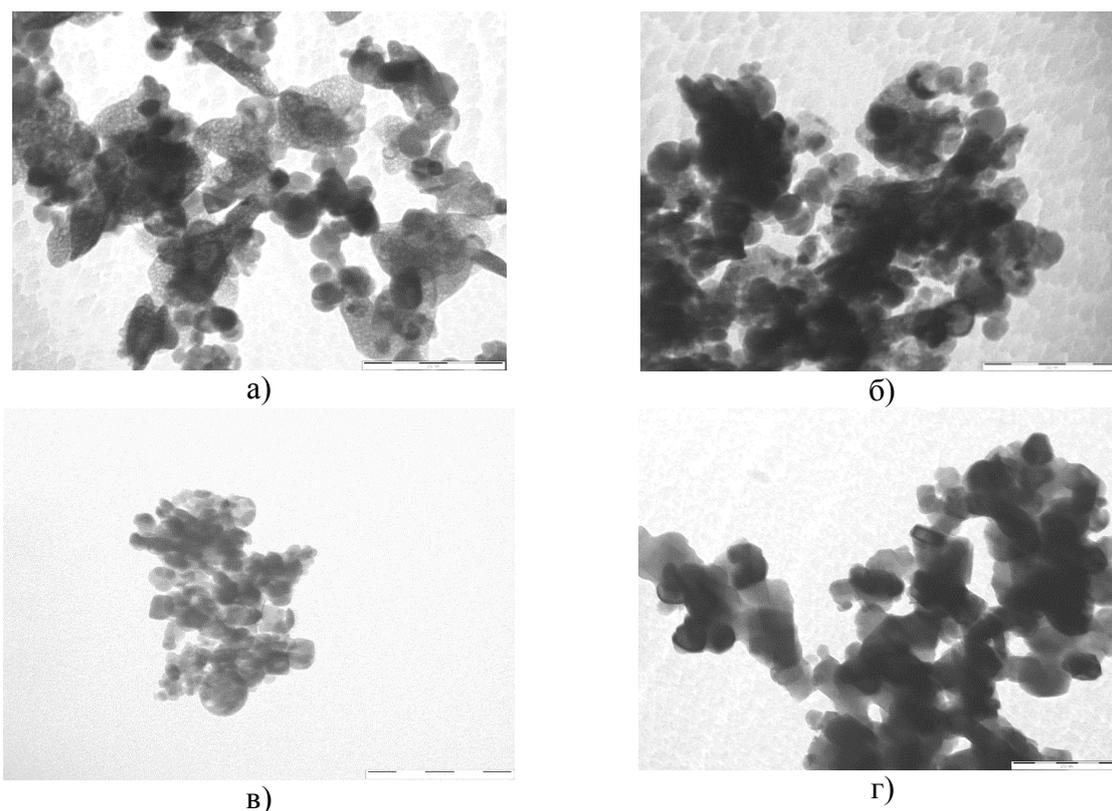


Рис. 3. Микрофотографии медьсодержащих продуктов плазмодинамического синтеза: а – исходного; б – после термообработки в вакууме при 420 °С; в – после термообработки в воздухе при 435 °С; г – после термообработки в воздухе при 800 °С

Показана возможность прямого плазмодинамического синтеза нанодисперсных медьсодержащих порошков с помощью сильноточного коаксиального магнитоплазменного ускорителя эрозионного типа. Компонентами порошка, полученного плазмодинамическим методом, являются металлическая медь, оксиды меди Cu_2O и CuO , а также гидратированный гидроксид меди $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Методами рентгенофазового анализа, электронной микроскопии, ИК-спектроскопии и термического анализа исследованы изменения, происходящие в составе продукта синтеза при нагревании в вакууме и воздухе. Термическая обработка синтезированного порошка в воздухе при нагреве до 800 °С позволила получить нанодисперсный продукт, основной кристаллической фазой которого является оксид меди CuO .

В работе показана возможность прямого плазмодинамического синтеза нанодисперсных медьсодержащих порошков с помощью сильноточного коаксиального магнитоплазменного ускорителя эрозионного типа.

Компонентами порошка, полученного различными методами, являются металлическая медь, оксиды меди Cu_2O и CuO , а также гидратированный гидроксид меди $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Методами рентгенофазового анализа, электронной микроскопии, ИК-спектроскопии и термического анализа исследованы изменения, происходящие в составе продукта синтеза при нагревании в вакууме и воздухе. Термическая обработка синтезированного порошка в воздухе при нагреве до 800 °С позволила получить нанодисперсный продукт, основной кристаллической фазой которого является оксид меди CuO .

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухоруков Ю. П., Гижевский Б. А., Мостовщикова Е. В. и др. // Письма в ЖТФ. – 2006. – Т. 32. – Вып. 3. – С. 81–89.
2. Гарасько Е. В., Тесакова М. В., Чуловская С. А. и др. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2008. – Т. 51. – № 10. – С. 116–119.
3. Коробочкин В. В., Усольцева Н. В., Горлушко Д. А., Балмашнов М. А. // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 3. – С. 3–16.
4. Ушаков А. В., Карпов И. В., Лепешев А. А. и др. // Материаловедение. – 2013. – № 7. – С. 29–32.
5. Назаренко О. Б., Тихонов Д. В. // Огнеупоры и техническая керамика. – 2006. – № 10. – С. 25–29.
6. A. A. Sivkov, A. S. Saygash, Y. L. Kolganova, I. I. Shanenkov, Phase analysis study of the copper-aluminum contact pair obtained by plasma dynamic method IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 66 (2014) 012048 doi:10.1088/1757-899X/66/1/012048, pp.1-5
7. Singh D. P., Ojha A. K., and Srivastava O. N. // J. Phys. Chem. C. – 2009. – V. 113. – P. 3409–3418.

ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО КАТОДА В РЕЖИМЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГОРЕНИЯ

Закусилов В. В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Явление электронной эмиссии в современном мире представляет большой интерес благодаря развитию электроники и широкому использованию устройств генерирующих потоки электронов. Однако остаётся актуальной проблема поиска новых эффективных эмиттеров и улучшение характеристик существующих типов катодов.

Как известно стабильность работы эмиссионного катода зависит от материала, из которого он изготовлен. Важны такие характеристики как низкая работа выхода, достаточно высокая температура плавления и кипения, высокая механическая прочность, электропроводность и плотность тока эмиссии. Работа выхода является основной характеристикой в выборе материала, которая равна энергии, затраченной на удаление электрона с поверхности Ферми твёрдого тела в среду [1].

Можно выделить несколько групп катодов: полупроводниковые, пленочные, катоды чистых металлов, тугоплавкие соединения переходных металлов с бором и углеродом и сложные катоды.

Катоды, содержащие в себе металл, являются высокотемпературными эмиттерами, работа выхода которых зависит от электронного строения вещества. Их особенность базируется на электронной структуре металлов, с которой связаны также и особенности строения поверхностно расположенных атомов. Щелочные и редкоземельные металлы из-за низких сил межатомной связи имеют минимальную работу выхода в каждой периоде. В случае длинных периодов по мере заполнения *d*-оболочки работа выхода металлов увеличивается, достигая максимального значения для металлов VIII группы в пятом и шестом периодах [2].

В последнее десятилетие интенсивно разрабатываются для различных физических устройств катодные узлы на основе тугоплавких соединений. Это карбиды и бориды переходных металлов, а также бориды редкоземельных элементов. В конструкции

таких катодных узлов учитывается высокая химическая активность этих соединений по отношению к материалам, из которых изготавливаются элементы, устройства. Сплавы тугоплавких металлов с редкоземельными элементами имеют работу выхода менее 3 эВ. Катоды из этих сплавов обладают низкой скоростью испарения и большой долговечностью, которая составляет более 2000 часов при температуре 2000 К [3].

Соединения металлов с бором представляют интерес за счёт своих разнообразных свойств, заложенных структурой атома. Было обследовано большое количество систем боридов и наиболее активными из боридов по отношению к металлам являются гексабориды. Сравнение эмиссионных свойств гексаборидов лантана, бария и самария произведено в таблице 1 [3].

Таблица 1. Эмиссионные свойства гексаборидов

Гексаборид	Работа выхода, эВ	Плотность тока эмиссии при 1600 К, А/см ²
LaB ₆	2,70±0,05	1,0
SmB ₆	3,92±0,05	1,4·10 ⁻⁴
BaB ₆	3,40±0,05	5,3·10 ⁻³

Наиболее перспективным среди гексаборидов редкоземельных металлов является гексаборид лантана. Экспериментальные значения работы выхода LaB₆, полученные на поликристаллах находятся в интервале 2,66-4,00 эВ. Низкая работа выхода LaB₆ обусловлена особенностью кристаллической структуры и электронного строения вещества.

Низкая работа выхода LaB₆ обусловлена особенностью кристаллической структуры и электронного строения вещества. Формирование на поверхности стехиометрического состава слоя из атомов лантана происходит не диффузионным путём, а за счёт особенности испарения борида в вакууме. На основе данных по термоэмиссионным свойствам и испарению гексаборид лантана является наиболее перспективным эмиссионным материалом [2].

Производство катодов из гексаборид лантана, как правило, связывают с методами порошковой металлургией. Однако известные методы имеют ряд существенных недостатков:

а) отравление конечного продукта оксидами, нитридами или гидридами, образующимися в результате процесса синтеза, что отрицательно сказывается на эмиссионных свойствах за счёт недостаточной частоты полученного катодного материала;

б) технически сложное оборудование (электролизные ванны, дуговые печи, тигли из особо чистых материалов), большие затраты энергии на длительное проведение синтеза и отжига конечных продуктов, для удаления примесей, а так же наличие исходных компонентов точного стехиометрического состава приводит к увеличению стоимости конечного продукта.

Таким образом появляется необходимость поиска альтернативных методов получения гексаборид лантана. Одним из наиболее перспективных методов порошковой металлургии является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) обеспечивающий чистоту продукта для стабильной работы катода.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез – экзотермическая реакция, инициирование которой происходит локально, в результате чего химические

превращения перемещаются по смеси в режиме волны горения (самораспространение) с образованием твердых продуктов [4].

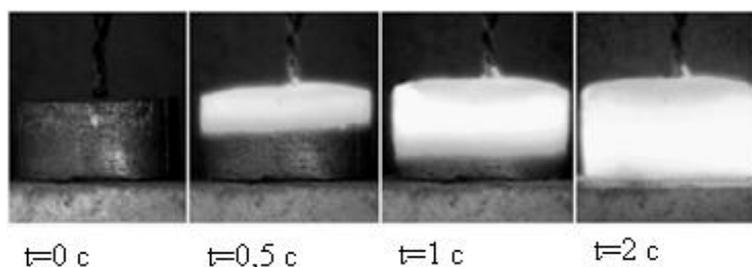


Рис. 1. Протекание СВ-синтеза гексаборида лантана

Для проведения эксперимента использовались химически чистые тонкодисперсные порошки оксида лантана (99,9 мас. %) и бора (99,9 мас. %) ($\text{La}_2\text{O}_3+\text{B}$), смешанные в необходимой пропорции по стехиометрическому соотношению. Порошковые смеси предварительно были высушены в муфельной печи при температуре 100 °С в течение 5 часов при атмосферном давлении. Реагенты были тщательно перемешаны в кубическом смесителе ERWEKA AR 403S в течение 30 минут. Механоактивация была проведена в шаровой планетарной мельнице АГО-2С. Мелющими телами мельницы выступили металлические шары диаметром 4 мм. Число шаров в каждом барабане было выбрано из соотношения 100 грамм массы шаров к 20 граммам массы порошка. После проведения механоактивации реагенты были запрессованы методом глухого прессования в специальную цилиндрическую форму диаметром 30 мм в течение 10 минут. Процесс прессования проводился с помощью гидравлического пресса ПЛГ- 12. После подготовки реагентов, спрессованные порошки помещаются в СВС-реактор, в котором реализуется самораспространяющийся высокотемпературный синтез.

После проведения синтеза был проведен рентгенофазовый анализ (РФА) полученных образцов. В результате проведения РФА обнаружено, что в полученных образцах содержится фаза гексаборида лантана, что подтверждает возможность получения данного материала методом СВС.

Таким образом, доказана возможность получения гексаборида лантана методом СВС, в дальнейшем необходимо отработать технологические этапы получения гексаборида лантана методом СВС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гомоюнова М.В., Добрецов Л.Н. Эмиссионная электроника. – М.: Наука, 1966. – С. 109 – 114.
2. Фоменко В.С. Эмиссионные свойства материалов – 4-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наукова думка. – С. 167 – 187.
3. Высокоэффективный эмиттер электронов на основе гексаборида лантана / Керсанов В. С., Малахов Н. П. Морозов В. В. И др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. 152 с.
4. Мержанов А. Г., Мукасян А. С. Твердопламенное горение. – М.: Тороус пресс, 2007. – 336 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Колесник А. Г., Воронина Н. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Стабилизированным источником питания называется такой источник, напряжение или ток которого остается постоянным независимо от подключаемой к нему нагрузки. Стабилизатор предназначен для выравнивания электрического тока и устранения перепадов напряжения. Он не позволяет напряжению превысить максимального допустимого значения за счет применения в нем стабилизаторов. Таким образом, стабилизированный источник питания является надежным источником электричества и служит для защиты чувствительной аппаратуры от перепадов и скачков напряжения, таким образом, обеспечивается широкая сфера применения этих устройств. В настоящее время стабилизированные источники питания применяются для питания бытовой техники и приборов, что значительно повышает надежность и длительность эксплуатации этой техники. Также стабилизированные источники питания получили широкое применение в корабельной аппаратуре, они применяются для подключения радиостанций, датчиков, двигателей постоянного тока, что позволяет контролировать обороты двигателя и другой важной и чувствительной аппаратуры [1].

Современные стабилизаторы изготавливаются на базе полупроводников, что позволило уменьшить их габариты, потребление электроэнергии, повысить мощность и точность. Особенной сложностью отличаются стабилизированные источники питания, используемые для сложной вычислительной техники.

Таким образом, использование стабилизаторов позволяет уменьшить расход электричества и увеличить надежность и долговечность эксплуатации аппаратуры, в которой они применяются.

Основными частями стабилизированного источника питания являются: силовой трансформатор, выпрямитель, сглаживающий фильтр, стабилизатор и нагрузка.

Блок схема источника питания представлена на рисунке 1.

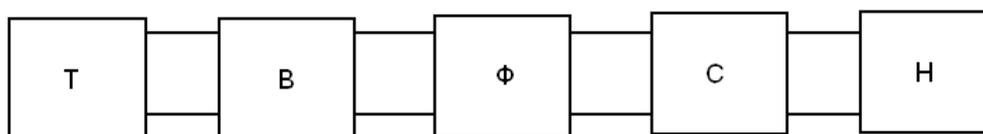


Рис. 1. Блок схема источника питания

На рисунке 1: Т – трансформатор; В – выпрямитель; Ф – сглаживающий фильтр; С – стабилизирующее устройство; Н – нагрузка. Трансформатор, предназначен для или понижения напряжения сети до необходимой величины и гальванической развязки системы. Выпрямитель служит для преобразования энергии переменного напряжения в энергию постоянного напряжения. Сглаживающий фильтр необходим для уменьшения пульсации выпрямленного напряжения. Стабилизатор производит стабилизацию напряжения на необходимом уровне.

На рисунке 2, а-г приведены диаграммы, поясняющие работу стабилизированного источника питания. Переменное напряжение питающей сети $U_1 = 220 \text{ В}^{+10\%}_{-20\%}$ подается на первичную обмотку трансформатора. С вторичной обмотки трансформатора подается переменное напряжение $U_2^{+10\%}_{-20\%}$ (рисунок 2, а) на выпрямительный диодный мост.

Напряжение $U_{\text{ВЫПР}}^{+10\%/-20\%}$ после выпрямления обладает высоким коэффициентом пульсации $K_{\text{ПВХ}} = 0.66$, что недопустимо велико (рисунок 2, б).

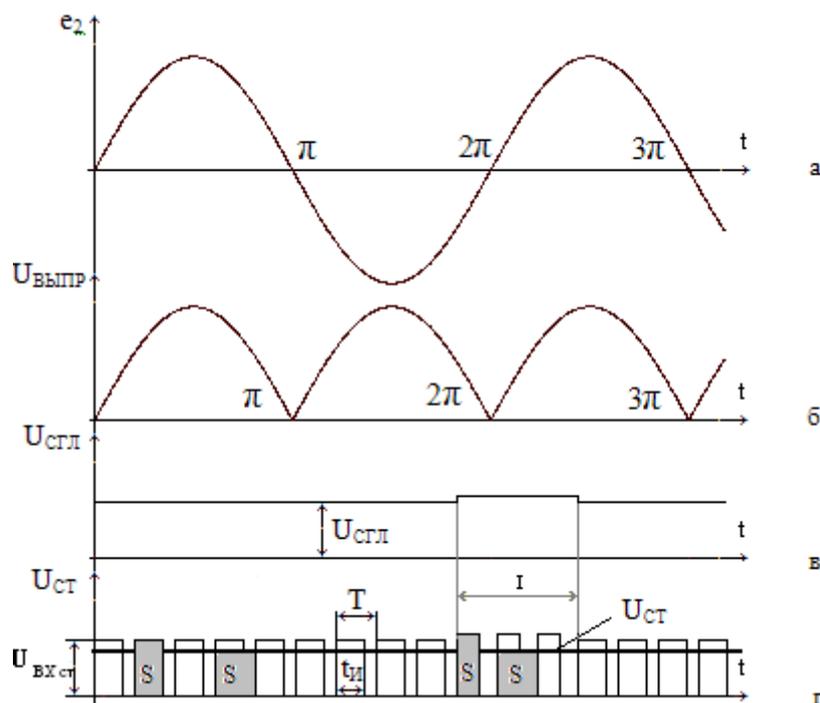


Рис. 2. Диаграммы, поясняющие работу стабилизированного источника питания

Для того чтобы уменьшить коэффициент пульсации используем сглаживающий LC-фильтр. Сглаженное напряжение приведено на рисунке 2, в и равно $U_{\text{СГЛ}}^{+10\%/-20\%}$. Выпрямленное сглаженное напряжение подается на вход стабилизирующего устройства – широтно-импульсного преобразователя, выполненного на основе биполярного транзистора, работающего на высокой частоте. С помощью системы, управляющей работой транзистора, можно менять длительность открытого состояния транзистора, тем самым при отклонении уровня сглаженного напряжения от требуемого меняется длительность открытого состояния транзистора, и напряжение на выходе стабилизатора поддерживается постоянным с какой-то допустимой погрешностью: $U_{\text{СТ}} = \frac{t_{\text{И}}}{T} \cdot U_{\text{СГЛ}} = \gamma \cdot U_{\text{СГЛ}}$, где γ – коэффициент заполнения [2].

При падении питающего напряжения сети падает выпрямленное напряжение и сглаженное, следовательно, длительность открытого проводящего состояния транзистора увеличивается, то есть увеличивается время импульса $t_{\text{И}}$, тем самым площадь S и напряжение на выходе стабилизатора поддерживается постоянным.

Пример: на участке I напряжение питающей сети возросло, следовательно, выпрямленное и сглаженное напряжения тоже. Система управления уменьшает длительность открытого состояния транзистора, тем самым площадь S и напряжение на выходе стабилизатора поддерживается постоянным, что видно из рисунка 2, г.

Система управления импульсным преобразователем постоянного напряжения включает в себя элементы, необходимые для регулирования коэффициента заполнения импульсов силового ключа: $\gamma = \frac{t_{\text{И}}}{T}$, где $t_{\text{И}}$ – длительность открытого состояния ключа, T – период следования импульсов.

Схема управления представлена на рисунке 3. На рисунке 3: $U_{ВЫХ}$ – напряжение на выходе источника питания (на нагрузке); $ДН$ – датчик напряжения, $К$ – компаратор – устройство для сравнения; $ФИУ$ – формирователь импульсов управления; $U_{УС}$ – напряжение уставки; $U_{У}$ – напряжение управления; $ГПН$ – генератор пилообразного напряжения, формирующий последовательность пилообразных импульсов постоянной частоты и амплитуды.

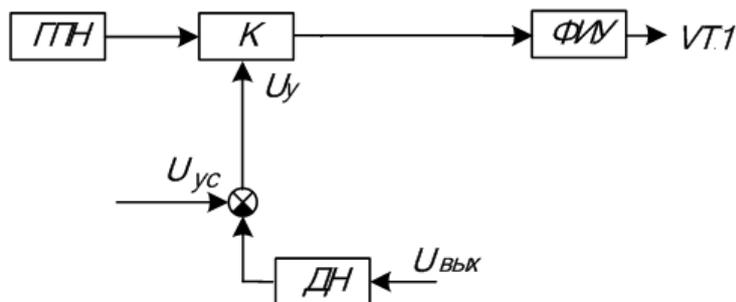


Рис. 3. Структурная схема управления ИППН

Данная система управления – система с обратной связью, которая необходима для стабилизации выходного напряжения.

На выходе источника питания постоянного напряжения имеется некоторое значение выходного напряжения $U_{ВЫХ}$, значение которого фиксируется датчиком напряжения. Измеренное значение выходного напряжения вычитается из $U_{УС}$ – напряжения уставки. Полученная разность $U_{У}$ получила название напряжения управления. Одной из главных частей системы управления является генератор пилообразного напряжения. На рисунке 4 приведена диаграмма, поясняющая работу системы управления.

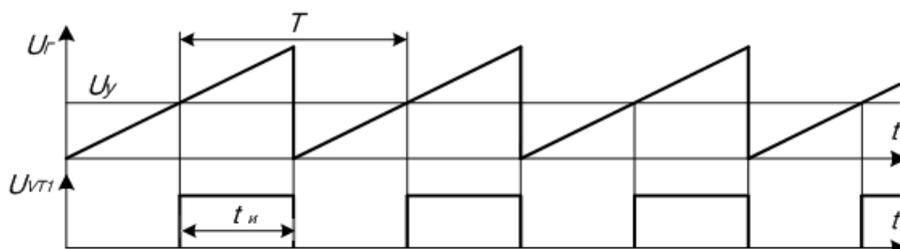


Рис. 4. Диаграмма, поясняющая работу системы управления ИППН

Из этой диаграммы видно, что при превышении уровня напряжения, создаваемого генератором пилообразного напряжения, напряжения управления $U_{У}$, на выходе компаратора формируется сигнал, поступающий на формирователь импульсов управления, который усиливает сигнал на входе до определенного значения и передает его на управляемый элемент – биполярный транзистор. А при уровне напряжения, создаваемого генератором пилообразного напряжения, меньшем напряжения управления $U_{У}$, на выходе компаратора сигнал будет отсутствовать, следовательно, на формирователь импульсов не поступит управляющего сигнала и биполярный транзистор будет закрыт [3].

При эксплуатации вентильных преобразователей могут возникать различные аварийные режимы, среди которых наиболее вероятны: перегрузка по току и внешнее короткое замыкание; внутреннее короткое замыкание, вызванное пробоем вентиля; ложное включение вентиля системой управления.

Любой из этих режимов связан с быстрым нарастанием тока на аварийном участке и перегрузкой полупроводниковых приборов. При перегрузке возникают потери мощности в $p-n$ -переходе, а его температура, вследствие малой теплоёмкости, резко возрастает. В случае превышения некоторого критического значения температуры $p-n$ -перехода полупроводниковый прибор выходит из строя, поэтому температура является основным параметром, характеризующим перегрузочную способность полупроводниковых приборов [3,4]. Поэтому основными требованиями, предъявляемыми к устройствам защиты, являются: максимальное быстродействие для ограничения амплитуды и длительности аварийного тока; иметь высокую чувствительность, чтобы на более ранней стадии аварийного режима начать процесс ограничения тока; не допускать ложных срабатываний.

На рисунке 5 приведена структурная схема системы защиты.

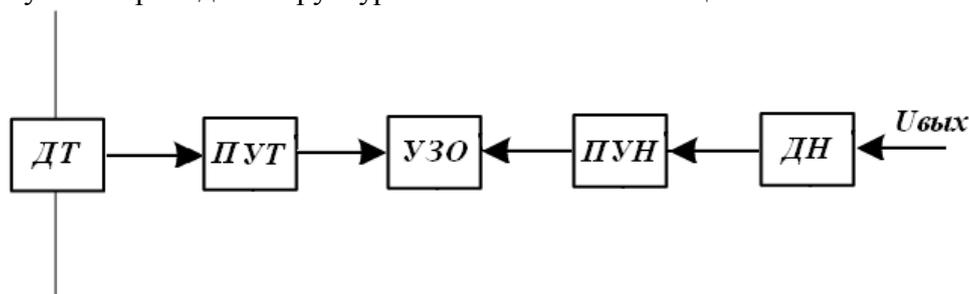


Рис. 5. Система защиты по току и напряжению

На рисунке 5: $ДТ$ – датчик тока; $ПУТ$ – пороговое устройство по току; $УЗО$ – устройство защитного отключения; $ПУН$ – пороговое устройство по напряжению; $ДН$ – датчик напряжения.

Данная схема совмещает в себе систему защиты по току и систему защиты по напряжению, что является ее главным достоинством. Главным элементом этой системы является устройство защитного отключения, которое включается последовательно с первичной обмоткой силового трансформатора. Датчики тока и напряжения служат для контролирования действующих значений тока и напряжения в нагрузке. Пороговые устройства по току и напряжению служат для сравнения действующих значений тока и напряжения в нагрузке с пороговым током и напряжением соответственно, значения, которых ни ток, ни напряжение не должно превышать при нормальной работе стабилизированного источника питания. При возникновении аварийной ситуации, с порогового устройства по току или порогового устройства по напряжению поступит сигнал на устройство защитного отключения, а именно на один из разъединителей $УЗО$ (по току или напряжению), в результате чего устройство защитного отключения срабатывает и отключает стабилизированный источник питания от питающей его сети.

В данной исследуемой работе, был спроектирован стабилизированный источник вторичного питания малой мощности, разработана структурная схемы управления высокочастотным ключом и структурная схема защиты источника питания от аварийных ситуаций. Принципиальная схема стабилизированного источника питания простая, следовательно, она обладает высокой надежностью и проста в обслуживании. Система управления с обратной связью качественно обеспечивает коэффициент стабилизации 1%. Система защиты по току и напряжению обеспечивает надежную защиту стабилизированного источника питания от токов короткого замыкания, перегрузок по току и напряжению. Система защиты спроектирована без использования трансформаторов, что существенно улучшает массогабаритные показатели спроектированного устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров Ф.И., Сиваков А.Р. Импульсные полупроводниковые преобразователи и стабилизаторы постоянного напряжения. – Л.: Энергия, 1970 г. – 188 с.
2. Китаев В. Е., Бокуняев А. А. Расчет источников электропитания устройств связи. – М.: Радио и связь, 1983 г.– 204 с.
3. Петрович В.П., Воронина Н.А., Глазачев А.В. Силовые преобразователи электрической энергии. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009 г.– 240 с.
4. <http://www.moskatov.narod.ru>

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕПРОМЫСЛА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Петрушкин А. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В условиях современного мира все большее значение приобретает становление эффективных энергетических систем. Ресурсосбережение, оптимизация производства и потребления энергии главными направлениями развития национальных топливно-энергетических инфраструктур. Энергоэффективная экономика становится важнейшим условием развития стран. [1]

Для обеспечения энергией промышленных объектов удаленных от централизованных электростанций применяют, так называемые, электростанции малой энергетики. Такие объекты состоят из определенных модулей и корпусов, которые специально адаптированы для работы в конкретных природных условиях местности. Среди таких электростанций наиболее эффективными являются газотурбинные электростанции (ГТЭС).

Газотурбинная электростанция – это комплекс силовых агрегатов, способных генерировать электрическую и тепловую энергию.

Основными компонентами ГТЭС являются:

- 1) ГТУ (газотурбинная энергетическая установка);
- 2) генератор с системой воздушного охлаждения;
- 3) агрегат воздушного охлаждения масла;
- 4) выхлопная труба;
- 5) воздухопроводы циклового воздуха и системы воздушного охлаждения;
- 6) КВОУ (комплексное воздухоочистительное устройство);
- 7) котел-утилизатор.

Принцип работы ГТЭС заключается в том, что сжатый воздух, смешанный с топливом, сжигается в камере сгорания. Горячий газ поступает на лопасти турбины и заставляет ее вращаться. Постепенно тепловая энергия газа переходит в механическую энергию вращения турбины. Далее механическая энергия вращения турбины передается на генератор, который преобразует ее в электрическую. Отработанные тепловые газы уходят в атмосферу через выхлопную трубу или же поступают в теплообменник и утилизируются в тепло для обогрева помещений.

ГТЭС являются очень выгодным экономичным проектом, так как ГТЭС в процессе работы способны вырабатывать не только электрическую энергию, но и тепловую. Также строительство ГТЭС позволяет:

- 1) вырабатывать электрическую энергию для собственных и промышленных нужд;

- 2) обогревать жилые помещения и технические корпуса побочным теплом;
- 3) утилизировать попутный газ при нефтедобыче, что решает проблему загрязнения.

В Тюменской области на Тямкинском и Усть-Тягусском месторождениях были введены в эксплуатацию ГТЭС мощностями 24 МВт и 6 МВт. В результате чего в 1 квартале 2015 года уровень собственной генерации электроэнергии на месторождениях превысил 83%, а общий объем выработки электроэнергии достиг 168,3 млн. кВт/ч. ГТЭС Усть-Тягусского месторождения позволила обеспечить собственной генерацией Восточный центр освоения Уватского проекта, на который приходится более 80% добычи нефти ООО «РН-Уватнефтегаз». [2]

На Игольско-Таловом месторождении, в Томской области, работают две газотурбинные электростанции. Первая станция общей мощностью 24 МВт была введена в эксплуатацию в 2004 году. Вторая станция общей мощностью 12 МВт была введена в эксплуатацию в 2011 году. Четверть потребностей нефтяников в электроэнергии покрывается за счет ГТЭС, что не дает нефтяным предприятиям томской области испытывать потребности в электроэнергии, несмотря на возрастающее число объектов. В ближайших планах у томских нефтяников строительство газотурбинной станции на 16 МВт в поселке Пионерный - там будут работать четыре машины по 4 МВт. [3]

Таким образом, на сегодняшний день использование газотурбинных электростанций на предприятиях нефтепромысла является самым дешевым и эффективным способом получения электрической и тепловой энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максимова А.А., Формирование эффективной энергетической политики в Российской Федерации: региональный аспект // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности. Материалы Четвертой Российской научно-технической конференции, г. Ульяновск, 24-25 апреля 2003 г. Т. 1. - Ульяновск: УлГТУ, 2003. - 388 с.
2. http://www.rosneft.ru/news/news_in_press/04062015.html
3. <http://www.tomsk.kp.ru/daily/26439/3313281>

ИСКАЖЕНИЕ ФОРМЫ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗКИ В УЗЛАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Кондрашов М. А., Панкратов А. В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

При расчетах режимов электрических сетей и систем электрическую нагрузку представляют с помощью статических характеристик (СХН) – зависимостей активной и реактивной мощности нагрузки от напряжения [1, 2]. Наиболее часто [3] при этом используют квадратичные полиномы вида

$$\begin{aligned} P(U) &= P_{BAS} \cdot \left(a_0 + a_1 \cdot \frac{U}{U_{BAS}} + a_2 \cdot \left(\frac{U}{U_{BAS}} \right)^2 \right), \\ Q(U) &= Q_{BAS} \cdot \left(b_0 + b_1 \cdot \frac{U}{U_{BAS}} + b_2 \cdot \left(\frac{U}{U_{BAS}} \right)^2 \right), \end{aligned} \tag{1}$$

где P_{BAS} , Q_{BAS} , U_{BAS} – базисные значения активной и реактивной мощности и напряжения; $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ – коэффициенты статических характеристик нагрузки в относительных единицах.

Очевидно, что форма статических характеристик нагрузки не остается постоянной во всех точках электрической сети. Искажение формы происходит по мере удаления от узла нагрузки вследствие наличия падения напряжения и потерь мощности в продольных сопротивлениях линий электропередачи и трансформаторов. Поперечные проводимости также оказывают влияние на форму статических характеристик нагрузки.

При решении задач эквивалентирования районов электрических сетей встает проблема получения обобщенных статических характеристик нагрузки, заданных для шин, удаленных от конечного потребителя. В этой связи представляет интерес исследование искажения формы статических характеристик нагрузки при их определении в различных точках электрической сети.

Для исследования этого вопроса будем использовать широко применяемый при расчетах режимов электрических сетей и систем программный комплекс «RastrWin» [4]. Смоделируем простейшую радиальную сеть, представленную на рисунке 1.

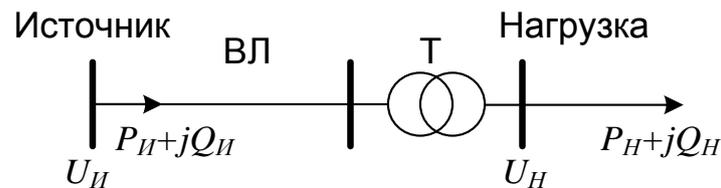


Рис. 1. Расчетная схема исследуемой сети

На рисунке 1 показана нагрузка, запитанная от источника через воздушную линию электропередачи (ВЛ) и трансформатор (Т). Напряжение, активная и реактивная мощности нагрузки – U_H, P_H, Q_H ; напряжение, активная и реактивная мощности источника – $U_И, P_И, Q_И$. Нагрузка задана с помощью статической характеристики обобщенной нагрузки, параметры которой приведены в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициенты СХН и базисные мощности для обобщенной нагрузки

Активная мощность				Реактивная мощность			
$a_{0(1)}$	$a_{1(1)}$	$a_{2(1)}$	$P_{BAS(1)}$, МВт	$b_{0(1)}$	$b_{1(1)}$	$b_{2(1)}$	$Q_{BAS(1)}$, Мвар
0.83	-0.3	0.47	1,4	4.9	-10.1	6.2	0,7

Произведя расчет серии установившихся режимов, определим статические характеристики нагрузки в относительных единицах для двух точек сети: в узле нагрузки и в узле источника питания. Характеристики представлены на рисунке 2.

Рисунок 2 показывает, что в узле нагрузки результаты расчета серии установившихся режимов совпадают с заданными статическими характеристиками. Этот результат свидетельствует о корректном задании статических характеристик нагрузки в программный комплекс «RastrWin».

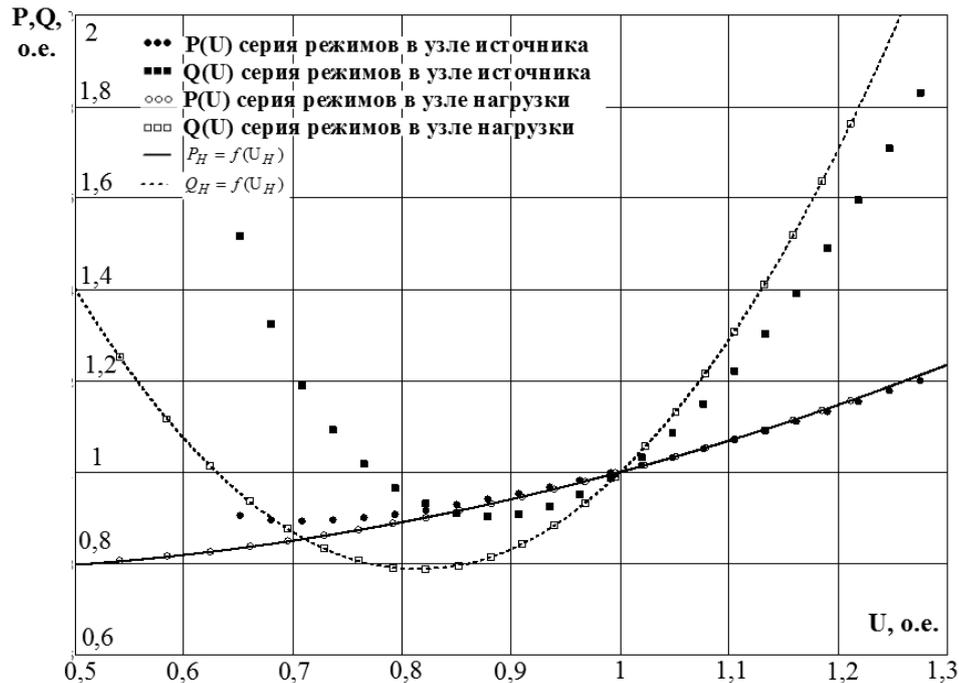


Рис. 2. Статические характеристики в относительных единицах

Результаты расчета серии установившихся режимов в узле источника питания ожидаемо отклоняются от заданных статических характеристик в узле нагрузки. Смещение характеристик вправо обусловлено наличием падения напряжения на продольных сопротивлениях воздушной линии электропередач и трансформатора, а смещение характеристик вверх обусловлено наличием потерь мощности. Кроме того, обращает на себя внимание факт смещения точки перегиба характеристик $Q(U)$ со значения $0,83 U_{ном}$ до значения $0,88 U_{ном}$.

Получим эквивалентные статические характеристики нагрузки для узла источника. Для этого аппроксимируем квадратичными полиномами (1) результаты расчета серии установившихся режимов в узле источника методом наименьших квадратов. Полученные коэффициенты СХН и значения базисных мощностей приведены в таблице 2:

Таблица 2. Коэффициенты СХН и базисные мощности для узла источника питания

Активная мощность				Реактивная мощность			
$a_{0(1)}$	$a_{1(1)}$	$a_{2(1)}$	$P_{BAS(1)}$, МВт	$b_{0(1)}$	$b_{1(1)}$	$b_{2(1)}$	$Q_{BAS(1)}$, Мвар
1,134	-0,829	0,695	1,415	6,935	-13,229	7,269	0,788

Полученные характеристики для узла источника и результаты серии установившихся режимов в относительных единицах приведены на рисунке 3.

Графики рисунок 3 показывают, что форма статических характеристик нагрузки в узле источника питания не только изменилась относительно характеристик, заданных в узле нагрузки, но также перестала быть параболической. Особенно сильно это заметно по характеристике реактивной мощности. Деформация статических характеристик нагрузки относительно параболической формы свидетельствует об ограниченности применения полиномов (1) при эквивалентировании районов электрических сетей.

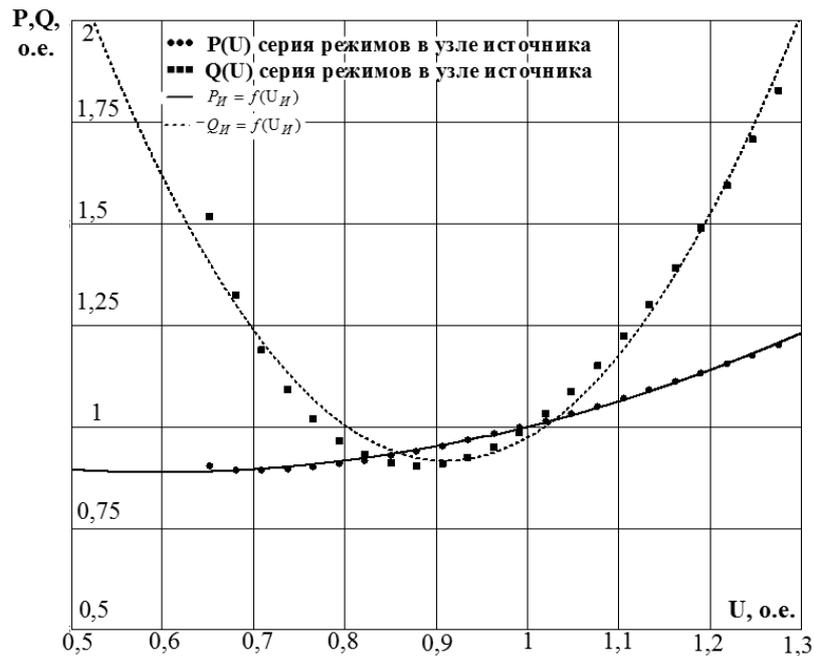


Рис. 3. Статические характеристики нагрузки для узла источника питания

Покажем, что полиномы вида (1) описывают эквивалентные статические характеристики нагрузки с достаточной точностью только при значениях напряжения выше напряжения точки перегиба зависимости $Q(U)$. Для этого оставим в серии расчетов только те режимы, когда напряжение превышало напряжение точки перегиба зависимости $Q(U)$ и повторим аппроксимацию методом наименьших квадратов. Результаты представлены на рисунке 4.

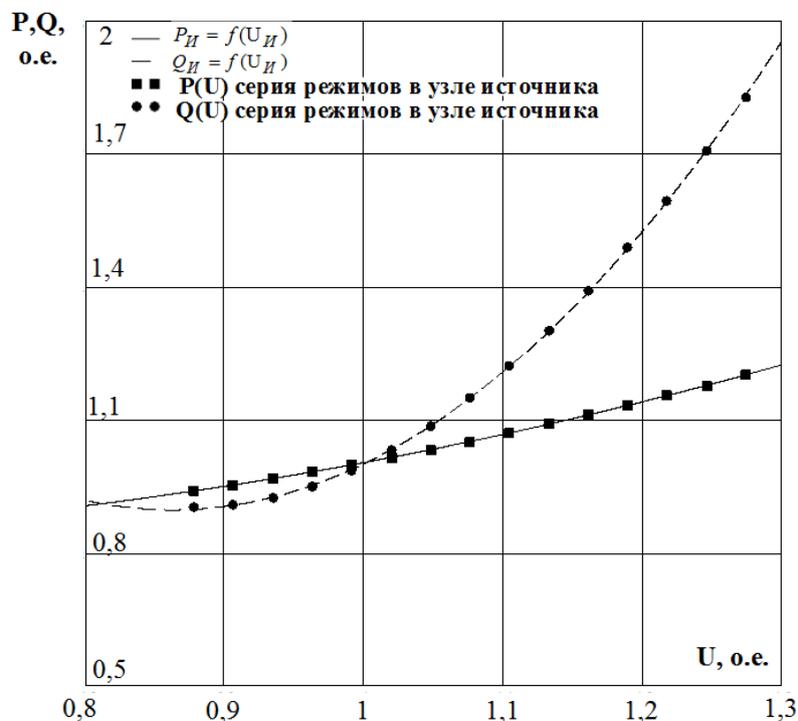


Рис. 4. Статические характеристики нагрузки для узла источника питания при напряжениях выше напряжения точки перегиба зависимости $Q(U)$

Как видно из графиков рисунок 4, при напряжении выше напряжения точки перегиба зависимости $Q(U)$, полиномы (1) в точности описывают поведение нагрузки.

Выводы:

1. Статические характеристики нагрузки не остаются постоянными, а искажаются в различных точках радиальной электрической сети по мере удаления от узла нагрузки.
2. При напряжениях ниже напряжения точки перегиба $Q(U)$ искажается сама параболическая форма статических характеристик.
3. Использование квадратичных полиномов в качестве статических характеристик нагрузки корректно только при напряжениях, больших напряжения точки перегиба зависимости $Q(U)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Идельчик, В.И. Электрические системы и сети / В.И. Идельчик. – М: Альянс, 2009. – 592 с.
2. Yamashita, K., Djokic, S., Matevosyan, J., Resende, F. O., Korunovic, L. M., Dong, Z. Y., & Milanovic, J. V. (2012). Modelling and aggregation of loads in flexible power networks - scope and status of the work of CIGRE WG C4.605. Paper presented at the IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline), 8(PART 1) 405-410.
3. Гуревич, Ю.Е. Применение математических моделей электрической нагрузки в расчетах энергосистем и надежности электроснабжения промышленных потребителей / Ю.Е. Гуревич, Л.Е. Либова. – М.: ЭЛЕКС-КМ, 2008. – 248 с.
4. В.Г. Неуймин. Программный комплекс «RastrWin3». Руководство пользователя. 29.08.2012. / В.Г. Неуймин, Е.В. Машалов, А.С. Александров, А.А. Багрянцев. URL: http://www.rastrwin.ru/download/Files/HELP_RastrWin3_29_08_12.pdf (дата обращения 12.09.2015).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВС ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ И ХРАНЕНИЯ РАО

Бородай А.Ю., Таракаенко П.В., Кнышев В.В., Беденко С.В.,
Клюкин Н. М., Кузнецов Е. В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Развитая энергетика — необходимое условие для существования сильного независимого государства. В условиях современной нестабильной внешнеполитической обстановки очень важно, чтобы энергетика страны не зависела от импортных поставок.

Теплоэнергетика не может полностью покрывать все энергетические потребности Российской Федерации, т.к. данный вид энергетике сильно загрязняет окружающую среду и быстро расходует ценные ресурсы, необходимые для химической промышленности. Гидроэнергетика так же не сможет покрыть все потребности государства с огромной территорией, развитой промышленностью при небольшом количестве рек с сильным течением.

Развитие атомной промышленности способно укрепить энергетику нашей страны. В России есть значительные запасы урана, ядерное топливо может быть многократно использовано после химической переработки и повторного обогащения, суммарные

объёмы отходов с атомных станций значительно ниже объёмов отходов с тепловых станций.

При переработке использованного ядерного топлива выделяется значительное количество ВАО (высокоактивные отходы). Ежегодно требования по транспортировке и хранению радиоактивных отходов ужесточаются благодаря различным российским и международным организациям, при этом развитие атомной промышленности приводит к увеличению объёмов ВАО. В совокупности эти два фактора приводят к тому, что требуется постоянное совершенствование контейнеров транспортировки и хранения ВАО. При этом надо учитывать, что технологии улучшения не должны снижать экономическую эффективность атомной промышленности в целом.

Использование современных контейнеров в сочетании с технологией СВС для иммобилизации ВАО может усилить их защитные характеристики, что положительно скажется на длительности их эксплуатации при незначительном удорожании всей технологии транспортировки/хранения.

Рынок контейнеров для транспортировки РАО достаточно разнообразен, созданием подобных контейнеров занимаются как профильные предприятия, так и предприятия с широкой специализацией в области обслуживания атомного комплекса страны. Например, ОАО «345 механический завод» в сотрудничестве с ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ» и ЗАО «ЭКОМЕТ-С» работают исключительно в сфере обслуживания РАО, в то время как ООО «НТЦ «ИНТЭК» занимается практически любыми перспективными технологиями в различных областях обслуживания атомного комплекса.

ОАО «345 механический завод» в сотрудничестве с ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ» выпускают контейнеры НЗК-150-1,5П (базовая модель), КРАД-1,36, КО-1340 (самая дорогая и наиболее защищённая модель). ЗАО «ЭКОМЕТ-С» выпускает КТБН-3000 (базовая модель), УКТН-24000 (значительно более дорогая и защищённая модель). ООО «НТЦ «ИНТЭК» выпускает НЗК МР и НЗК I-III (базовые модели), КМ РАО 2.8 (значительно более дорогая и защищённая модель) [1-3].

Примерами зарубежных компаний, предоставляющих контейнеры для РАО, могут быть шведская компания The Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company (Svensk Kärnbränslehantering Aktiebolag) и американская компания AREVA. Однако вариант рассмотрения сотрудничества с зарубежными компаниями не прорабатывался, т.к. во-первых предприятия российского рынка технологически более приспособлены под работы в родной стране, во-вторых работа с зарубежными предприятиями в данной сфере может быть ограничена действующим законодательством [4, 5].

Цель работы – создание расчетной модели, в которой можно быстро перебрать возможные варианты усиления защиты базовых контейнеров с помощью использования СВС-материалов, иммобилизующих РАО. Для создания расчетной 3D-модели будет использован верифицированный расчетный код программы MCU5 [6].

С помощью программного пакета MCU5 была построена модель контейнера типа НЗК-150-1,5П. Заполнение части внутреннего объёма ($1,3 \text{ м}^3$) порошками карбида бора до уровня высокозащищённого контейнера КО-1340 ($0,2 \text{ м}^3$) позволило повысить защитные параметры НЗК-150-1,5П в несколько раз (см. Табл. 1).

При аналогичном заполнении порошком борида вольфрама защитные характеристики НЗК-150-1,5П превысили некоторые характеристики КО-1340 (см. Табл. 2).

Таблица 1. Использование карбида бора

Тип контейнера	Альфа-излучение, %	Бета-излучение, %	Гамма-излучение, %	Нейтронное излучение, %
НЗК-150-1,5П	42,6	74,5	87,2	97,1
НЗК-150-1,5П с карбидом бора	12,8	56,3	79,6	0,4
КО-1340	0,2	0,5	1,5	2,1

Таблица 2. Использование борида вольфрама

Тип контейнера	Альфа-излучение, %	Бета-излучение, %	Гамма-излучение, %	Нейтронное излучение, %
НЗК-150-1,5П	42,6	74,5	87,2	97,1
НЗК-150-1,5П с боридом вольфрама	0,6	1,7	4,3	0,7
КО-1340	0,2	0,5	1,5	2,1

Для определения наиболее технологичной, дешёвой и эффективной порошковой смеси для СВС в ФТИ ТПУ на кафедре ФЭУ проводятся научные эксперименты на исследовательской установке. На основании данных, полученных в этих исследованиях, будут моделироваться варианты использования других иммобилизационных материалов. Модель позволяет подобрать наиболее соответствующую требованиям заказчика порошковую смесь для иммобилизации РАО методом СВС. Так же возможны варианты моделирования других моделей контейнеров.

Для контейнеров типа НЗК-150-1,5П, с толщиной стальных стенок порядка 50 мм, вариант предварительной упаковки ВАО в СВС-матрицу может значительно усилить его защитные характеристики. При этом при использовании технологии предварительной иммобилизации методом СВС в промышленных масштабах, затраты на приобретение печи для СВС и порошковых материалов очень быстро окупятся за счет использования более дешевых базовых контейнеров.

Предварительные экономические оценки показывают, что одному контейнеру КО-1340 за 1,36 млн рублей может быть эквивалентен контейнеру НЗК-150-1,5П за 71,1 тыс. рублей, если ВАО предварительно подвергнуть иммобилизации методом СВС с использованием борида вольфрама [7]. Использование данной технологии позволит оставаться атомной энергетике перспективной и выгодной, что положительным образом скажется на эффективности всей энергетики Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р.М.Гатауллин, Н.Н. Давиденко, Н.В. Свиридов, В.Т. Сорокин, И.А. Медеяев, Н.Н. Перегудов. Контейнеры для радиоактивных отходов низкого и среднего уровней активности. – М.: Логос, 2011. – С. 31–37.
2. А.С. Баринов, А.С. Волков, С.М. Лашёнов, В.Т. Сорокин Контейнеры для радиоактивных отходов от низкого до высокого уровней активности – М.: Логос, 2012. – С. 22–25.
3. Контейнеры защитные невозвратные для радиоактивных отходов из конструкционных материалов на основе бетона. Общие технические требования. ГОСТ Р 51824-2001.
4. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов. НП-053-04. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору,

- 2004.
5. Рекомендации по установлению критериев приемлемости кондиционированных радиоактивных отходов для их хранения и захоронения. РБ-023-02. Утверждены постановлением Госатомнадзора РФ от 10 января 2002 г. № 1
 6. D.S. Oleynik, D.A. Shkarovskiy, E.A. Gomin, et al, “The status of MCU-5” // Physics of Atomic Nuclei. – 2012. – № 14. – С. 1634-1646
 7. Нассонов Г.П., Нечаев А.Ф. Экономические аспекты «обезвреживания» радиоактивных отходов // Известия СПбГТИ (ТУ). – 2014. – № 24 (50). – С. 21-22

АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА БАЗЕ ГТУ–ТЭЦ В РОССИИ

Корольков Д. П., Будько А. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Основной тенденцией развития электроэнергетики в мире является увеличение децентрализованных источников питания, связанных, прежде всего с тем, что данное направление имеет большой потенциал для повышения производительности и улучшения качества жизни для всех. Выражается данная тенденция путем использования технологий «распределенной генерации» [1].

Внедрение распределенной генерации несомненно является одним из перспективным направлением развития электроэнергетики, позволяющим справиться с ростом нагрузки в крупных городах и мегаполисах. Такое направление позволяет снижать перетоки активной и реактивной мощностей по распределительным сетям 6-220 кВ, что дает значительные преимущества в виде отсутствия необходимости в проведении реконструкции распределительных сетей и трансформаторных подстанций (отсрочка в проведении реконструкции) с целью увеличения пропускной способности линий электропередачи и мощности силовых трансформаторов [2].

Приведем основные достоинства и положительный вклад внедрения технологии «распределенной генерации» таблица 1 [3].

Таблица 1. Положительный вклад распределенной генерации

Элементы влияния РГ	Экономия стоимости энергии	Экономия потерь в сетях и сетевых перегрузок	Отсрочка инвестиций в генерацию	Отсрочка инвестиций в сетевое хозяйство	Повышение надежности	Рост качества электроэнергии
Срезание пиков нагрузки	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Поставка системных услуг Операционные резервы Регулирование Запуск с нуля Реактивная мощность	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Аварийные резервы	Да	Да	–	–	Да	Да

В советский период объектами распределенной генерации были теплоэлектростанции (ТЭЦ), блок-станции, принадлежащие или арендуемые промышленными предприятиями, и объекты средней и малой генерации (в числе последних – малые ТЭЦ и дизельные электростанции).

Внушающие показатели роста общей мощности в Европе на базе ГТУ-ТЭЦ можно представить наглядно с 74 ГВт в 2000 г. до 124-195 ГВт в 2020 г. В России лишь, эти показатели в перспективе на будущее, планируются составить мощностью в 5-10 ГВт на сооружениях малых ГТУ-ТЭЦ, вместо неэкономичных и устаревших.

В целях наглядного представления покажем таблицу 2 об импорте оборудования для распределенной генерации [3].

Таблица 2. Импорт оборудования для распределенной генерации в Москву и Санкт-Петербург по данным Федеральной таможенной службы России

Вид оборудования	Таможенная стоимость, млн долл. США			Рост таможенной стоимости к предыдущему году, раз		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011
Турбины газовые мощностью 5–50 МВт	60,65	104,21	205,42	–	1,72	1,97
Электродвигательные установки дизельные или полудизельные мощностью более 375 кВт	51,25	123,41	252,28	–	2,41	2,04
Электродвигательные установки с искровым зажиганием мощностью более 375 кВт	37,97	104,46	94,81	–	2,75	0,91
Электродвигательные установки ветроэнергетические	0,50	0,26	0,50	–	0,52	1,95
Всего	150,36	332,34	553,02	–	2,21	1,66

В связи с тяжелой экономической ситуацией, перед нами встает вопрос об импортозамещении электрооборудования малых ГТУ-ТЭЦ, так как санкции, которые вводят против нашей страны Америка и Европа, требуют необходимость смотреть в сторону наших отечественных производителей в энергетике [4].

Приведем основных отечественных производителей газотурбинных установок, использующихся для производства электроэнергии (табл. 3).

Таблица 3. Основные отечественные производители ГТУ

Завод-изготовитель	Газовая турбина	Электрическая мощность, МВт
ЗАО Уральский турбинный завод, Екатеринбург	ГТЭ – 6	6
ЗАО Невский завод, Санкт-Петербург	ГТЭР-10/Т-12-2ЭУ3	10
	ГТЭР-12/Т-12-2ЭУ3	12
ОАО Кузнецов, Самара	НК-12СТ	6,3
ОАО Авиадвигатель, Пермь	ГТУ-2,5П	2,5
	ГТУ-4П	4
ОАО Калужский двигатель, Калуга	ГТЭС-100	0,1
	ГТЭС-200	0,2

Проведем сравнение газовой турбины ГТУ-4П отечественного производства с газовой турбиной TCG 2032 иностранного производства компании MWM в таблице 4.

Таблица 4. Сравнение характеристик газовых турбин ГТУ-4П и TCG 2032

Основные характеристики	ГТУ-4П	TCG 2032
Выходная мощность на клеммах синхронного генератора, МВт	4,13	4,3
Суммарный КПД, %	80,2	87,2
Частота вращения силовой турбины, об/мин	5500	1000
Ресурс часов до капитального ремонта, ч	25000	-
Общий ресурс, ч.	100000	-

Анализируя данное сравнение, можно сделать вывод о том, что наши отечественные установки близки по уровню основных показателей и способны заменить зарубежные установки.

С учетом вышеприведенного анализа объектов малой энергетики в России и с учетом жесткой экономической ситуации требуется масштабный переход к импортозамещению путем использования электрооборудования отечественного производства. Такой подход выведет предприятия на новый уровень изготовления промышленных установок и позволит существенно сократить расходы на электроэнергетику.

Становление мощной самостоятельной подотрасли малой энергетики является основой перехода энергетического сектора России на пути модернизации, инновационного развития. Внедрение систем распределённой генерации позволяет, и извлекать экономическую выгоду, и сберегать окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Owens B. The rise of distributed power // General Electric, 2014, p. 47.
2. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.np-ace.ru>
3. Распределенная энергетика 2012-2016 годов. Рынок газотурбинных установок для электростанций малой и средней мощности и ГПА. // INFOLine, Санкт-Петербург, 2014, С. 172.
4. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.avid.ru/energy>

ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ ПЛУТОНИЯ В ОЯТ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА МИКРОТОПЛИВО В РЕАКТОРЕ ВВЭР

Масенко С. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящее время повышение безопасности эксплуатации ядерных реакторов является актуальной задачей ядерной энергетики. Для обеспечения безопасной эксплуатации необходимо улучшать механическую прочность материалов, герметичность, устойчивость к перепадам температур и способность удерживать продукты деления. Одной из разработок, которая способна удерживать продукты деления в жестких условиях работы реактора, стало создание керамического микротоплива. В данном топливе горючее вещество находится в центре капсулы и окружено 3-4 слоями защиты [1]. Защитное покрытие первых двух слоев

изготавливаются из пироуглерода, а третий слой из карбида кремния. Покрытие обеспечивает задержку газообразных продуктов деления в пористой графитовой оболочке, сдерживает увеличение размеров ядерного топлива. Данное строение микро топлива позволяет сохранять продукты деления в тепловыделяющем элементе при аварийных случаях, таких как потеря теплоносителя, резкий рост температуры.

С учетом преимуществ микро топлива в работе [2] предлагается использование его на атомных станциях типа ВВЭР. Использование микротвэлов в ВВЭР возможно без существенных изменений активной зоны реактора. Для этого расстояние между сборками сохраняется тем же, а микротвэлы размещаются в ТВС в виде свободной засыпки, образуя при этом цилиндрический слой с поперечным обтеканием теплоносителя. Основные параметры ТВС с свободной засыпкой и стандартной загрузкой представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры ТВС ВВЭР-1000

Наименование характеристики	ВВЭР-1000	ВВЭР-МТ
Число ТВС, шт.	163	163
Расстояние между центрами ТВС, мм	236	236
Диаметр твэл (МТ), мм	9,1	1,8
Число твэл (МТ) в ТВС, шт.	312	26 млн.
Высота активной зоны, м	3,5	3,5

Для анализа возможности использования микро частиц топлива в водо-водяных реакторах были проведены нейтронно-физические расчеты и описана модель тепловыделяющей сборки реактора ВВЭР-1000 в программном комплексе MCU. Программный комплекс позволяет MCU максимально моделировать перенос частиц в трехмерной геометрии с погрешностью менее 4 %. В работе анализировалось два вида загрузок топливных элементов. Первая загрузка стандартная на основе диоксида урана с обогащением 4,4 %, вторая в виде свободной засыпки микро частиц в ТВС тем же обогащением. Модель свободной засыпки была сведена к гомогенной модели с сохранением водно-топливного отношения. Моделировалась наработка нуклидов в зависимости от времени облучения топливного материала.

Анализ применения микро топлива в ВВЭР показал, что наработка нуклидов плутония ведется гораздо медленнее, чем в стандартном тепловыделяющем элементе. Это показано на рисунке 1 и 2. Максимальное значение концентрации плутония ^{239}Pu составило $4,31 \cdot 10^{-4}$, а плутония ^{241}Pu — $1,46 \cdot 10^{-4}$. При таком содержании нуклидов плутония в микро топливе практически исключается возможность использования материала для создания ядерного оружия.

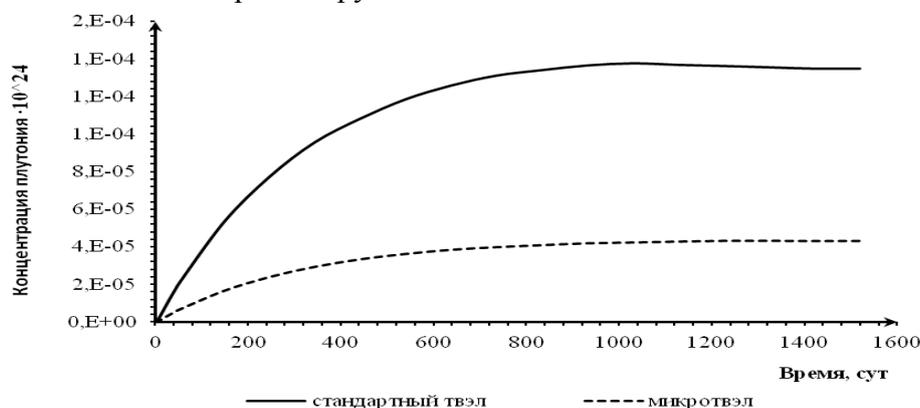


Рис.1. Зависимость концентрации ^{239}Pu от времени облучения

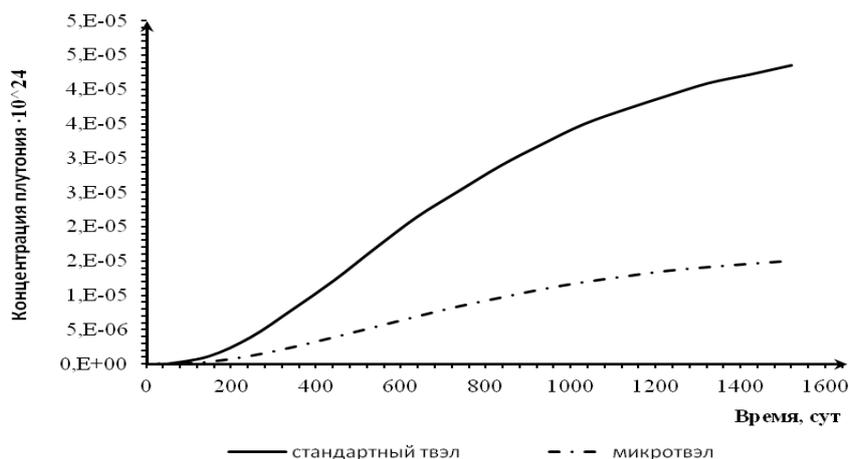


Рис.2. Зависимость концентрации Pu^{241} от времени облучения

Совместно с наработкой плутония рассматривалось накопление ксенона и цезия в тепловыделяющей сборке. Результаты расчета показали, что при использовании микротоплива отравители накапливаются с меньшей скоростью и в меньшем количестве, что положительно сказывается на экономических показателях. Сокращается запас реактивности на компенсацию отравления.

Использование микротоплива в водо-водяном реакторе имеет ряд преимуществ: микротопливо нельзя использовать для создания ядерного оружия, что существенно позволяет сократить оборудование систем безопасности, а так же сокращаются затраты на компенсацию отравления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физическое материаловедение: Учебник для вузов. В 6 т. Том 6. Часть 2. Ядерные топливные материалы. / Б.А. Калинин, Ю.А. Годин, Ф.В. Тенишев, В.В. Новиков./ Под общей ред. Б.А. Калина. – М.: МИФИ, 2008. с. 505-523.
2. Федик И.И., Денискин В.П., Пономарев Степной Н.Н. и др. Новое поколение ТВЭЛов на основе микротоплива для ВВЭР // Атомная энергия. – 2004. – № 4. – С. 276–285.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА СИСТЕМУ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.

Пугин В. А.

Национальный исследовательский университет «Московский Энергетический Университет», г.Москва

Современные предприятия стремятся к снижению электропотребления. Снижение энергозатрат в сетях потребителя приводит к двукратному снижению потерь при генерации и передаче электроэнергии, что стимулируется законодательством Российской Федерации.

Система электроснабжения предприятия сталкивается с новыми задачами, при использовании современных энергосберегающих систем, Рассмотрите оказывающих влияние на систему электроснабжения предприятия (СЭС).

Технология управления двигательной нагрузкой, основанная на применении частотно-регулируемых электроприводов получила широкое распространение в

секторе ЖКХ, нефтетранспортной отрасли, а так же в промышленности. Это определяется рядом факторов:

Высокие эксплуатационные характеристики ЧРП

Энергоэффективность технологии, позволяет сократить электропотребление до 60%.

Широкие возможности интеграции механизма в автоматизированную систему управления технологическим процессом.

Устойчивая тенденция снижения стоимости ЧРП, что позволяет внедрять технологию в более широкий спектр процессов.

Имея ряд очевидных преимуществ, применение частотных преобразователей дают и ряд отрицательных последствий. Например: технология с использованием вентильных преобразователей, сконструированных на полностью управляемых полупроводниковых приборах (IGBT, GTO, IGCT) обладает особенностью потребления из сети тока несинусоидальной формы, в результате которой возникают нелинейные искажения напряжения сети (Рис1, Рис2), что отрицательно отражается на работе системы электроснабжения предприятия:

- возникают помехи в работе средств РЗА, телемеханики,
- ускоренное старение изоляции электропроводок и силовых трансформаторов,
- происходит ухудшение показателей качества электрической энергии по ГОСТ
- снижение надежности СЭС,
- снижение срока службы оборудования [1].

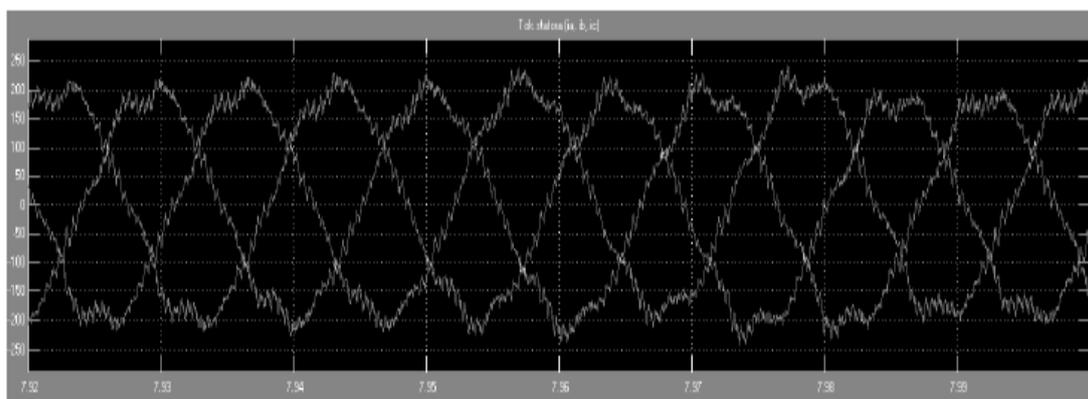


Рис. 1. Осциллограмма токов трехфазной обмотки статора двигателя высоковольтного частотно регулируемого электропривода

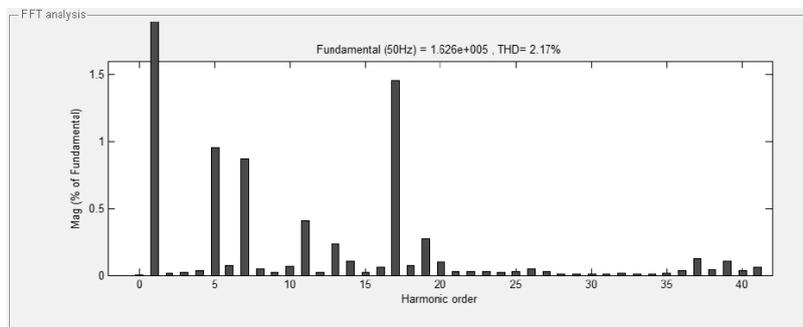


Рис. 2. Гармонический состав напряжения на вводах 110кВ силового трансформатора ГПП

Подобным эффектом обладают инверторные электросварочные преобразователи. Так же нелинейной нагрузкой являются: электрическая дуговая сварка, сварочный преобразователь, использующий тиристорную элементную базу усиливающий искажение питающей сети. Происходит это в частотно – регулируемых преобразователях, из-за особенностей работы инверторной системы.

Сварочная нагрузка ряда предприятий составляет около 50% от общего числа электроприемников, что значительно снижает их энергетические показатели работы СЭС.

Такие явления наблюдается и в местах концентрации компьютерной и серверной нагрузки, например- узлы связи, торговые площадки, банки, представительства нефтяных, газовых компаний и ряд других потребителей. Предприятия, специализирующиеся на обработке и хранении данных являются весьма энергоемкими, что определяет развитость их систем электроснабжения. Административно – офисные центры, с числом ЭВМ свыше 1000 так же оказывают неблагоприятное влияние на питающую сеть (Рис. 3).

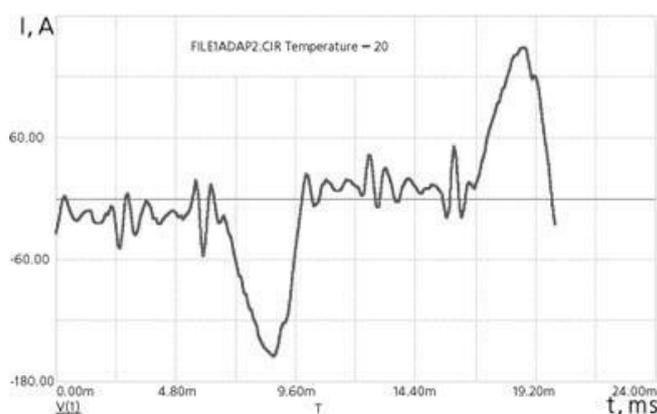


Рис. 3. Осциллограмма тока фидера, питающего серверную нагрузку

Еще одним источником нелинейности питающей сети являются светодиодные источники света. Они получают широкое распространение в системах освещения предприятий, комплекса ЖКХ, а так же в бытовом применении. Светодиодный источник света потребляет в 10 раз меньше мощности по сравнению с лампой накаливания, имеет больших срок службы при тех же световых параметрах и стимулируются на законодательном уровне. Так, закупка ламп накаливания мощностью 100Вт и более в качестве источников света для государственных и муниципальных предприятий РФ законодательно запрещено с 1 января 2011 года на основании 261-ФЗ от 23 ноября 2009 года.

Эксплуатационные и энергетические показатели LED технологий являются привлекательными для применения в промышленности, но негативный эффект воздействия на питающую сеть, ввиду эмиссии гармонических искажений присутствует и в этих энергоэффективных системах освещения.

Побочным эффектом энергосберегающих технологий с применением полупроводниковой элементной базы является ухудшения показателей качества электрической энергии по ГОСТ на котором они внедрены.

В соответствии с требованиями ряда отраслевых регламентов с учетом пожарной безопасности, все вновь сооружаемые или реконструируемые СЭС предприятий обязаны применять сухие силовые трансформаторы, в ряде случаев с литой изоляцией,

что позволяет применять трансформаторы с номинальной мощностью до 3500 кВА включительно.

Неоспоримым преимуществом сухих трансформаторов является их взрывобезопасность и снижение эксплуатационных затрат. Сухие силовые трансформаторы считаются необслуживаемыми со сроком службы до 12 лет. Недостаток - силовые сухие трансформаторы имеют коэффициент загрузки 0,55. Это приводит к завышению установленной мощности подстанций потребителя.

Несинусоидальности питающей сети приводит к перегреву обмоток сухих силовых трансформаторов, например, трехфазный сухой трансформатор 22/0,4 кВ, имеющий номинальную мощность без охлаждения 2500 кВА или 3500 кВА с форсированным охлаждением, эксплуатировался без форсированного охлаждения. В результате перегрева и пробоя изоляции обмотки высокого напряжения (ВН) трансформатора были необратимо повреждены. В результате устранения не исправности установлен сухой трансформатор того же типа с форсированным охлаждением. Новый трансформатор нагружен на 84% от полной разрешенной мощности 3500 кВА. Несмотря на неполную загрузку, тепловые потери трансформатора в установившемся режиме составили 42 кВт, температура внешней поверхности фазных обмоток 22 кВ в отдельных зонах >145 °С, хотя температура воздуха в помещении, где установлен трансформатор, не превышает 40 °С. Температура внутри обмоток выше значений, измеренных на поверхности. На обмотке низкого напряжения (НН) зафиксирован высокий уровень гармоник тока ($TDD=11\%$, $THD(I)=16\%$). Это является причиной дополнительных тепловых потерь в обмотках НН и ВН. Существует риск повреждения нового трансформатора даже при форсированном охлаждении, при нагрузке $> 70\%$ и $TDD >10\%$. По результатам обследования на предприятии принято решение о переводе части нагрузок на другой трансформатор. [4]

Оградить распределительные сети предприятия от потребителей с нелинейными характером нагрузки, искажающих качество электрической энергии в питающей сети - является важной задачей проектировщиков и эксплуатирующих организаций, которое требует не только технических, но и законодательных мероприятий связанных с затратами на выпуск энергоэффективного оборудования потребителя и дорогостоящих фильтрокомпенсирующих устройств для СЭС.

Таким образом, широкое применение энергоэффективных технологий в современном промышленном производстве, являющееся экономически целесообразной тенденцией развития, имеет обратный эффект, который выражается в снижении показателей качества питающей сети промышленного предприятия в результате возникновения несинусоидальности. К которой в свою очередь весьма чувствительны современные энергоэффективные и технологичные элементы системы электроснабжения.

Эти обстоятельства ставят новые задачи в области построения системы электроснабжения. Требуется обеспечить не только надежное и безотказное электроснабжение производственных линий, но и контроль и наблюдаемость процесса передачи электроэнергии по сетям предприятия. Который дает возможность мониторинга показателей качества электроэнергии, управления режимом нагрузки в реальном времени, прогнозирования аварийных ситуаций.

Требуется создание активно-адаптивной системы электроснабжения, способной обеспечить сбор и обработку данных о режиме работы и показателях качества электроэнергии от непосредственных потребителей – технологических линий, систем освещения, систем вентиляции и климата. Но так же контролировать эти параметры и на более высоких уровнях системы электроснабжения. Это позволит повысить срок

службы всех составляющих, спрогнозировать возникновение аварий, что приведет к снижению числа отказов и сокращению издержек на эксплуатацию. Так же активно-адаптивная СЭС даст широкий спектр возможностей по контролю и управлению режимом работы электропотребления предприятия, даст возможность своевременно выявлять очаги потерь и нерационального использования ресурса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабакин В.И., Ивашкин О.Н. Анализ гармонического состава напряжения питающей сети с помощью виртуальной модели высоковольтного частотно-регулируемого асинхронного двигателя // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2012. - №3. – С. 32-42.
2. Сергей Гужов, Оценка влияния источников питания светодиодных светильников на питающую сеть // Современная светотехника. – 2009. - №2. – С.130.
3. Лазарев Г.Б. Мощные высоковольтные преобразователи частоты для регулируемого электропривода в электроэнергетике // Электротехника. – 2005. - № 11. – С.33.
4. <http://www.zaoplc.ru/>

ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ ПО ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Альмиева Д. С., Галеева Р. У.

Казанский Государственный Энергетический Университет, г.Казань

В статье рассматривается влияние несимметрии напряжения по обратной последовательности на характеристики асинхронных электродвигателей большой мощности по каталожным данным, произведены исследования параметров асинхронных двигателей на дополнительные потери в меди.

В связи с широким использованием в химической и нефтехимической промышленности асинхронной нагрузки, в узлах электроснабжения может быть сосредоточено 10 МВт и более асинхронной нагрузки единичной мощностью от 3.2 мВт и выше. Процессы, происходящие в системе, существенно влияют на надежность работы данных узлов и самих асинхронных электродвигателей (АД). Поэтому актуальным становится вопрос качества электрической энергии, показатели которой определены ГОСТ 54149 -2010 [1, 2]. Нормированию подлежат и такие показатели как коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности и нулевой последовательности. При несимметричных режимах система напряжений прямой последовательности U_1 создает в обмотках статора и ротора АД токи прямой последовательности, образующие поле Φ_{11} , вращающееся относительно ротора со скольжением s_1 и создающее момент прямой последовательности M_1 . Система напряжений обратной последовательности создает в обмотках статора и ротора АД токи обратной последовательности, образующие обратно вращающееся поле Φ_{12} , по отношению к которому ротор вращается со скольжением $s_2 = 2 - s_1$. Момент M_2 , создаваемый этим полем, будет действовать против направления вращения.

Таким образом, на валу АД возникает небаланс моментов, приводящий к появлению переходных процессов. Уравнение движения при этом будет иметь вид [4].

$$T_j \frac{ds}{dt} = M_1 - M_2 - M_c \quad (1)$$

где T_j – постоянная инерции, M_c – момент сопротивления.

Появляющийся при несимметрии напряжения избыточный тормозной момент приводит к росту скольжения АД, наступает новый установившийся режим. При определении момента M_2 были использованы формулы, отражающие изменение сопротивление рассеяния X_s от скольжения [4]:

$$x_s = \frac{x_0}{1 + \frac{x_0 - x''}{x''} s^{\left(-\frac{1}{\ln s_{кр}}\right)}} \quad (2)$$

где x_0 – синхронное сопротивление; x'' – сверхпереходное сопротивление; $s_{кр}$ – критическое скольжение

$$x_0 = \frac{1}{\sin \varphi_H - \cos \varphi_H (T'_{1H} \cdot s_H)} \quad \text{Синхронное сопротивление можно определить по формуле [4]} \quad (3)$$

где T'_{1H} – постоянная времени двигателя в номинальном режиме, определяется по выражению [4]

$$T'_{1H} = \frac{M_m \cdot \eta - \sqrt{(M_m \eta)^2 - 1}}{s_H} \quad (4)$$

где M_m , η_H – кратность максимального момента, номинальный КПД АД соответственно.

Тогда сверхпереходное сопротивление [4]

$$x'' = \frac{1}{\sin \varphi_H + \cos \varphi_H (M_m \cdot \eta - \sqrt{(M_m \eta)^2 - 1})} \quad (5)$$

Исследование по влиянию встречного момента от действия слагающей напряжения обратной последовательности при коэффициентах несимметрии $K_H = 2\%, 5\%, 7\%$, проведенные для высоковольтных АД марок 4А3М-5000-АД, 4А3М-8000УХЛ4, ВАО2 560LA-4 разных мощностей с учетом технических характеристик, показали незначительное его влияние, увеличивающиеся с ростом пускового тока $I_{п.}$ и понижением напряжения (рис.1). Так при несимметрии 7 %, момент M_2 не превышает десятые доли процентов от максимального. Однако при уменьшении напряжения прямой последовательности на 10 % от номинального происходит пятикратный рост встречного момента M_2 .

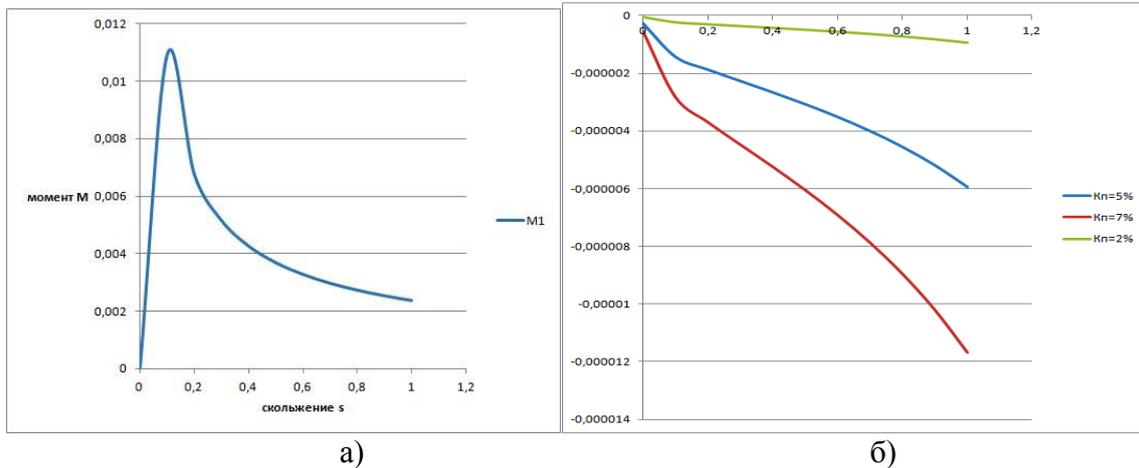


Рис.1. Кривые моментов прямой и обратной последовательностей в зависимости от скольжения s : а) прямой момент M_1 ; б) обратный (тормозной) момент M_2 при различных кратностях пускового тока I_{π}

С другой стороны для создания обратного момента трехфазный электродвигатель потребляет дополнительную мощность из сети, что можно рассматривать как дополнительные потери мощности.

Дополнительные потери в меди от несимметрии, отнесенные к номинальной мощности могут быть определены по выражению [3]

$$\Delta P_{\text{доп.АД}} = 2,41 K_{\text{АД}} K_{2U}^2 \quad (6)$$

где $K_{\text{АД}}$ – безразмерный коэффициент, зависящий от параметров двигателя; K_{2U} – коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности

Коэффициент, зависящий от параметров двигателя может быть определен по выражению [3]

$$K_{\text{АД}} = \frac{\Delta P_{\text{М1НОМ}} I_{\pi}^2}{P_{\text{H}}} = \frac{R_1 I_{\pi}^2}{\eta_{\text{НОМ}} \cos \varphi_{\text{НОМ}}} \quad (7)$$

где P_{H} – номинальная активная мощность двигателя; $\Delta P_{\text{М1НОМ}}$ – потери в меди, обусловленные током по основной частоте; $\Delta P_{\text{М1НОМ}}$ – потери в меди статора при номинальном токе основной частоты; I_{π} – кратность пускового тока при номинальном напряжении.

Определим зависимость коэффициента $K_{\text{ад}}$ от каталожных данных – кратности максимального момента, кратности пускового тока, номинального коэффициента мощности при различных кратностях тока холостого хода, используя известные выражения для характеристик АД.

Зависимости номинальных значений $\cos \varphi_{\text{НОМ}}$ и $\sin \varphi_{\text{НОМ}}$ от кратности максимального момента M_{max} и кратности тока холостого хода $\frac{I_{\mu}}{I_{\text{НОМ1}}}$ определены по формулам [4]

$$\sin \varphi_{\text{НОМ}} = \frac{I_{\mu}}{I_{\text{НОМ1}}} + \frac{I'_{2\text{НОМ}}}{I_{1\text{НОМ}} \sqrt{2M_m (M_m + \sqrt{M_m^2 - 1})}} \quad (8)$$

$$\cos \varphi_{\text{H}} = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_{\text{H}}}$$

С другой стороны отношение приведенного тока ротора к току статора [4]

$$\frac{I'_{2\text{НОМ}}}{I_{\text{НОМ1}}} = \sqrt{1 - \left(\frac{I_{0\text{НОМ}}}{I_{\text{НОМ1}}}\right)^2} \cdot \sqrt{\frac{M_m + \sqrt{M_m^2 - 1}}{2M_m}} - \frac{I_{0\text{НОМ}}}{I_{\text{НОМ1}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2M_m(M_m + \sqrt{M_m^2 - 1})}} \quad (9)$$

Таким образом, подставляя выражение относительного тока ротора из выражения (9) в формулу (8) и далее в выражение (7) получим зависимость коэффициента $K_{\text{АД}}$ от параметров асинхронного двигателя.

Таким образом, зная каталожные параметры конкретного двигателя или серии двигателей, можно найти соответствующий коэффициент $K_{\text{АД}}$ для узла нагрузки с двигателями большой единичной мощности для более точного определения потерь мощности в меди при несимметрии напряжения. Были проведены расчеты и построены зависимости $K_{\text{АД}}$ для АД серии 4А при от кратности максимального момента M_{max} при различных кратностях пускового тока и кратностях тока холостого хода (рис.2).

Так увеличение кратности пускового момента от 1.8 до 2.6 приводит к уменьшению коэффициента $K_{\text{АД}}$ на 25 % при кратности пускового тока $I_{\text{п}} = 3$ и на 63 %. Из кривых $K_{\text{АД}} = f(M_m)$ следует, что влияние каталожных данных АД на величину $K_{\text{АД}}$ весьма велико. Согласно [4] значение коэффициента $K_{\text{АД}}$ для всей промышленности в целом принимаются равными 1,85. Максимальное значение $K_{\text{АД}}$ для легкой промышленности - 2,91 минимальное – 1,07 для угольной отрасли. Погрешность в определении $K_{\text{АД}}$ может составлять несколько десятков процентов.

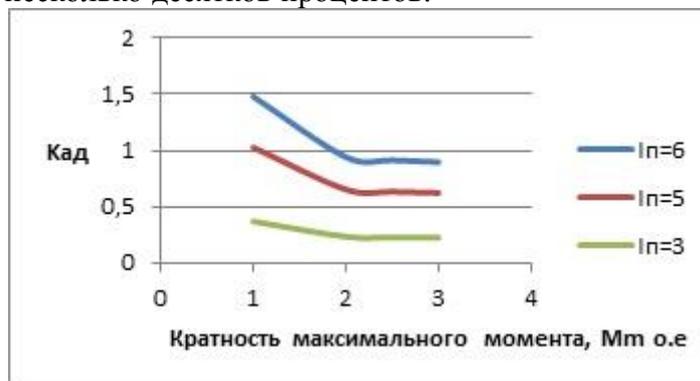


Рис. 2. Кривые зависимости коэффициента $K_{\text{АД}}$ от кратности максимального момента M_m при различных кратностях пускового тока

Применяя обобщенные табличные значения $K_{\text{АД}}$ могут возникнуть значительные погрешности в расчетах, что не допустимо с точки зрения перегрева АД.
 Выводы:

1. Несимметрия напряжения по обратной последовательности оказывает незначительное влияние на вращающий электромагнитный момент мощных высоковольтных АД при напряжении прямой последовательности равном номинальному. При понижении напряжения прямой последовательности встречный момент для АД серии 4А растет в несколько раз, определение которого требует дополнительных данных в зависимости от конструктивных особенностей электродвигателей.

2. Существенное влияние на дополнительные потери мощности меди от несимметрии напряжения по обратной последовательности оказывает кратность максимального момента, кратность максимального тока и кратность тока холостого

хода. При определении $K_{\text{АД}}$ учет конструктивных особенностей высоковольтных АД позволил существенно повысить точность расчетов при определении потерь мощности от несимметрии напряжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2013. – 10 с
3. Дед А.В. Дополнительные потери мощности в электрических сетях при несимметричной нагрузке / А. В. Дед [и др.] // Омский научный вестник. –2013. – №1 (117). – С. 157–158.
4. И.А. Сыромятников. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. Энергоатомиздат, М., 1984.
5. Долингер С. Ю. Оценка дополнительных потерь мощности от снижения качества электрической энергии в элементах систем электроснабжения / С. Ю. Долингер, А. Г. Люгаревич, В. Н. Горюнов и др. // Омский научный вестник. –2013. -№ 2 (120). – С. 178-183.

ПРОГРАММА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Дворцовой А. И., Тихонов И. А.

Новосибирский государственный технический университет, г.Новосибирск

В настоящее время основной статьей расходов тепловой электрической станции (ТЭС) является приобретение топливных ресурсов для ее стабильного функционирования (~50-60% от всех расходов станции). Поэтому снижение расхода топлива для станции является одной из основных задач. Уменьшение величины израсходованного топлива может быть реализовано с помощью различных мероприятий, таких как:

- совершенствование термодинамических параметров станции (таких как температура и давление перегретого пара и т.д.), что приводит к повышению термодинамического коэффициента полезного действия, благодаря более эффективному использованию энергии в рамках цикла функционирования электростанции;
- введение более совершенного и эффективного оборудования взамен устаревшего (в качестве альтернативы данного мероприятия можно указать проведение ремонта изношенного оборудования как планового, так и капитального);
- внедрение более совершенных систем регулирования технологических процессов, которые позволят снизить перерасход топлива на ТЭС при ликвидации отклонений параметров регулирования от номинальных (оптимальных) значений, согласно режимной карте. Под перерасходом топлива на станции понимается разность между действительно потребленным количеством топлива и его оптимальной величиной, последняя из которых рассчитывается персоналом электростанции). [1]

Тепловые электрические станции подразделяются на несколько типов (таких как конденсационные электростанции, теплоэлектроцентрали) и каждый из типов обладает своими параметрами и уникальными свойствами, что в данном случае не позволяет рассматривать электростанции различных видов вместе. Однако и ТЭС одного типа могут различаться по своим характеристикам в зависимости от используемого ими топлива (в большинстве случаев это уголь и газ). [2, 3] Поэтому учитывая все вышеперечисленное следует выбрать один тип электростанции и конкретное топливо, чтобы в процессе исследования можно было сопоставлять между собой данные полученные от различных станций, но имеющих один и тот же тип и одно и тоже используемое топливо. Для территориальной области рассмотрения была выбрана восточная часть России, а именно начиная от уральских гор и заканчивая дальневосточным регионом нашей страны. Благодаря особенностям климата на данном участке преобладают тепловые электростанции с теплофикационными блоками, позволяющими производить электрическую и тепловую энергии. Также для энергетики за Уралом характерно использование в качестве топлива уголь близлежащих месторождений. [4] Поэтому в качестве объекта исследования были выбраны электростанции с теплофикационными энергоблоками (данные электростанции имеют название теплоэлектроцентрали), использующие в качестве топлива уголь.

Для снижения величины расхода топлива предлагается модернизировать существующие системы регулирования, таким образом снижая перерасход топлива. На данный момент отсутствует методика для определения эффективности работы системы регулирования, под эффективностью в данном случае подразумевается работа с минимальным перерасходом топлива, а также с выполнением всех требований, предъявляемых к качеству регулирования того или иного регулируемого параметра на ТЭС. А внедрение или модернизация различных систем регулирования осуществлялись по экспертной оценке, основанной на опыте конкретного человека или же опыте организации. Поэтому была предложена и разрабатывается на данный момент методика по определению эффективности работы систем регулирования связанной с изменением электрической нагрузки энергоблока станции. Следует отметить что в данной методике берется к рассмотрению необходимое количество регулируемых параметров (таких как температура и давление перегретого пара, уровень воды в барабане, частота вращения турбины и т.д.), а также значение активной мощности, выдаваемой в сеть. И на основании динамики всех вышеперечисленных параметров выдается рекомендация по усовершенствованию той или иной системы регулирования (система регулирования определяется в зависимости от неудовлетворительной динамики того или иного регулируемого параметра). Наглядно принцип определения необходимости модернизации представлен в таблице 1.

Таблица 1. Принцип действия предложенной методики

	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3
Величина электрической нагрузки	Изменяется (сброс или набор нагрузки)	Постоянная	Постоянная
Величина регулируемого параметра	Изменяется (приходит к новому значению, либо колеблется около исходного)	Постоянная, либо колеблется незначительно	Изменяется (приходит к новому значению, либо колеблется около исходного)
Необходимость модернизации	Отсутствует	Отсутствует	Существует

Следует отметить что вариант с изменением нагрузки и отсутствием колебаний или изменений регулируемого параметра не рассматривался поскольку в практике такого не происходит. Соответственно учитывая вышеупомянутое вариант №1 считается нормальным функционированием энергоблока. Допустимым является и вариант №2 поскольку незначительные колебания в рамках установленных требований к качеству регулирования практически всегда имеют место. Вариант №3 указывает на некачественную настройку системы регулирования, либо на изменение характеристик объекта регулирования, однако в первом и во втором случае необходимо произвести перенастройку системы регулирования, либо ее модернизацию. Все варианты имеют место на действующей тепловой электрической станции, это наглядно проиллюстрировано на рисунке 1, который отражает изменения активной мощности и давления в барабане с течением времени, для энергоблока использующего в качестве топлива уголь.

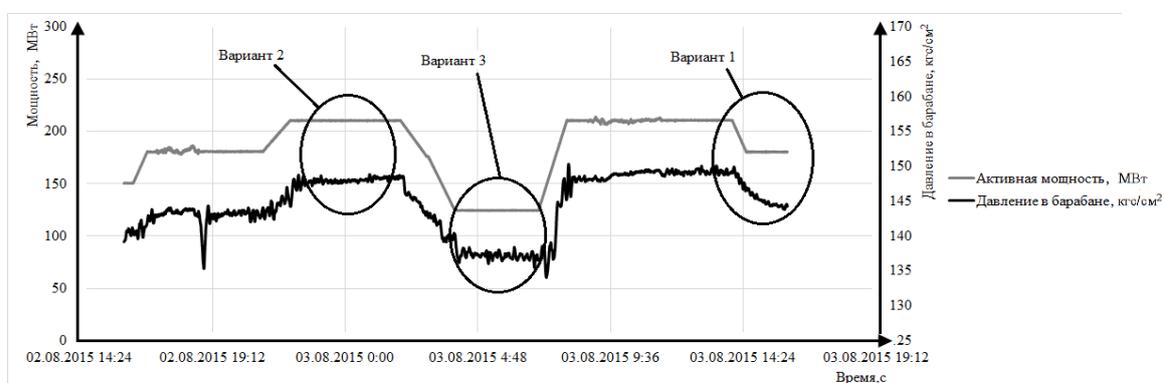


Рис. 1. Графическое иллюстрация трех вариантов для предложенной методики

Как видно из вышеуказанного для полноценной реализации данной методики необходимо следить за изменением нагрузки энергоблока. На данном этапе был разработан алгоритм [5] и реализован на языке C# в среде программирования Microsoft Visual Studio, который позволяет определять количество изменений нагрузки, что позволит определить насколько часто происходят колебания регулируемых параметров, связанные с переходом на новую нагрузку. Таким образом появится возможность в первом приближении оценить какая часть перерасхода топлива обусловлена изменением нагрузки энергоблока, а какая связана с некачественным регулированием.

Разработанная программа была протестирована с использованием данных полученных при проведении пуско-наладочных мероприятий на энергоблоке мощностью 210 МВт. Выбранные данные как нельзя лучше подходят для проведения аналогичных тестов, поскольку они содержат ступенчатый набор нагрузки с шагом ~10МВт, а также последующий ступенчатый сброс нагрузки с тем же шагом. Помимо данных о мощности представлены также значения различных регулируемых параметров. В качестве примера на рисунке 2 представлен график изменения нагрузки (черная сплошная линия в нижней части графика) по вышеописанному алгоритму, а также значения расхода воздуха на двух горелках (серая сплошная и черная точечная линии в верхней части графика) и момент изменения нагрузки, т.е. переход с одного установившегося значения на другое (отмеченный на линии изменения нагрузки серыми треугольниками).

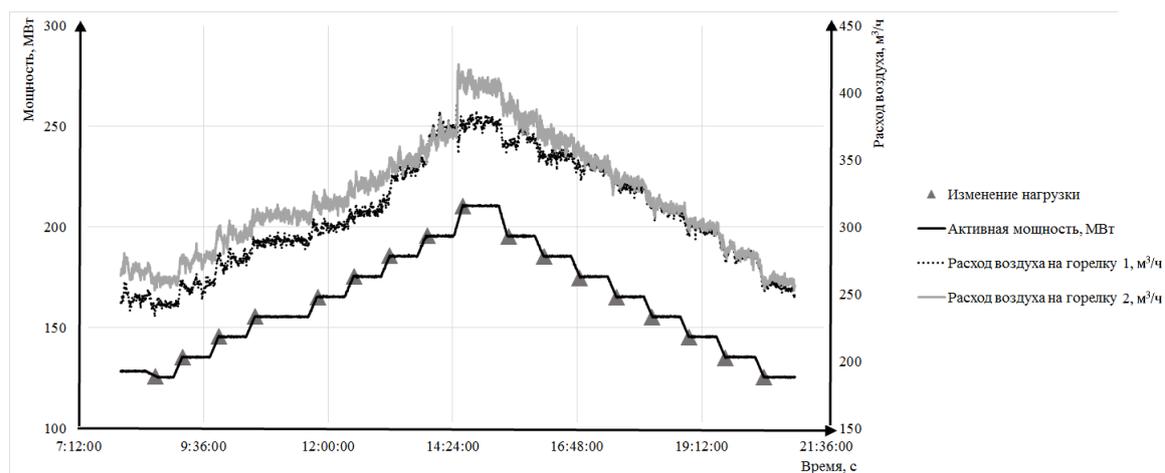


Рис. 2. Результаты, полученные в ходе опыта с применением программы для анализа графиков нагрузки ТЭС

Как видно из рисунка 2 определение изменения нагрузки реализовано таким образом, что программа считает нагрузку изменившейся при переходе на новое постоянное значение. Что позволяет избежать некорректного определения количества изменений нагрузки при изменении нагрузки с различной скоростью, а именно если сначала набор нагрузки происходил со скоростью 3 МВт в минуту, а в некоторый момент скорость изменилась на 1 МВт в минуту, то на графике изменения нагрузки во времени данная ситуация будет представлена как прямая имеющая излом в момент изменения скорости нагрузки и в момент анализа данного излома программа может выдать ошибочное изменение нагрузки которое, на тот момент еще не завершилось.

Следует отметить что разработанная программа позволяет корректно определить количество изменений нагрузки, что позволит сформировать представление о динамике системы для дальнейшего ее анализа. На момент написания статьи разрабатывается программа для определения состояния нагрузки (изменяется ли она или остается постоянной), с последующим расчет перерасхода топлива по тому или иному способу в зависимости от состояния нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щинников П.А., Дворцовой А.И. Анализ влияния параметров регулирования теплофикационных энергоблоков на перерасход топлива // Теплоэнергетика. – 2011. – № 10. – С. 41-44.
2. Щинников П.А. Перспективные ТЭС. Особенности и результаты исследования. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2007. – 284 с.
3. Щинников П.А., Новиков С.И., Галанова А.И. Исследование работы энергоблоков с барабанными пылеугольными котлами в аварийных ситуациях // Научный вестник НГТУ. – 2012. - № 4(49). – С. 145-150.
4. Щинников П.А., Ноздренко Г.В., Михайленко А.И., Дворцовой А.И., Сафронов А.В. Автоматизация технологических процессов и производств на ТЭС и управления ими. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2014. – 291 с.
5. Дворцовой А.И., Тихонов И.А. Анализ влияния перерасхода топлива на технико-экономические показатели теплофикационных пылеугольных энергоблоков // Сборник научных трудов VII международной научной конференции молодых ученых. Часть 3. Секция «Энергетика». – 2015. – С. 412-415.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК НА СТАЛЕАЛМИНИЕВЫЕ ПРОВОДА РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ*

Трунов М. Д., Проничев Д. В., Гуревич Л. М.

Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград

Под действием погодных условий провода линий электропередач (ЛЭП) подвергаются различного рода механическим нагрузкам, которые нагрузки зависят от географического положения и топографии местности, в которой расположены ЛЭП. Сила ветра, действующая на провода, обычно рассматривается как динамическая нагрузка. Вопрос влияния формы поперечного сечения проводов на поведение под действием ветровой нагрузки недостаточно рассмотрен в отечественной и зарубежной литературе.

Целью данной работы являлся анализ силы, действующей на провода в зависимости от скорости ветра и формы их поперечного сечения. Основной задачей работы являлось моделирование ветрового потока вокруг проводов различной формы для расчета, действующей на провода силы.

Для моделирования был использован пакет программ COMSOL Multiphysics, позволяющий решать дифференциальные уравнения в частных производных. Основу модели представляло уравнение Навье-Стокса. Для осуществления оценки влияния ветра на провода с различной формой поперечных сечений использовалась двумерная модель. Моделирование проводилось при различных значениях скоростях ветра, относящихся к I, III и особой зонам ПУЭ [1]. Ветровая нагрузка, действующая на провод перпендикулярно его оси, рассчитывалась как сумма проекций давления на провод на горизонталь.

В работе проведено сравнение взаимодействия ветра со сталеалюминиевыми проводами с различным контуром поперечного сечения, но близкого диаметра: АСВП 128/37 и АС 120/19; АСВП 277/79 и АС 240/56; АСВП 477/79 и АС 400/64. Провода АС точечного касания выпускаются по ГОСТ 839-80Е из круглых стальных и алюминиевых проволок. Отличием проводов АСВП линейного касания конструкции ООО «Энергосервис» (г. Москва) [2] является проведение дополнительно после свивки круглых стальных и алюминиевых проволок пластического обжатия в роликовой волоке, что повышает плотность упаковки и сглаживает наружный профидь. В числителе марки провода приведена суммарная площадь поперечного сечения в мм² алюминиевых проволок, а в знаменателе – стального сердечника.

Результаты расчета действующей на провод ветровой нагрузки показаны в таб. 1.

Таблица 1. Зависимость от скорости воздушного потока величины сил, действующих на провода с различным профилем поперечного сечения

Скорость ветра, м/с	Действующая на провода следующих марок ветровая нагрузка, Н/м					
	АСВП 128/37	АС 120/19	АСВП 277/79	АС 240/56	АСВП 477/79	АС 400/64
25	3,65	4,80	5,19	7,00	6,38	8,05
32	5,90	7,87	8,40	11,49	10,32	13,22
60	20,80	28,45	29,79	41,60	36,50	47,90

Приведенные в таблице данные показывают, что ветровая нагрузка на провода типа АСВП в среднем на 33% ниже. Это связано с более обтекаемой геометрией рассматриваемых моделей. Как видно из рис. 2, распределение скорости ветрового потока после прохождения провода АСВП имеет более равномерный характер.

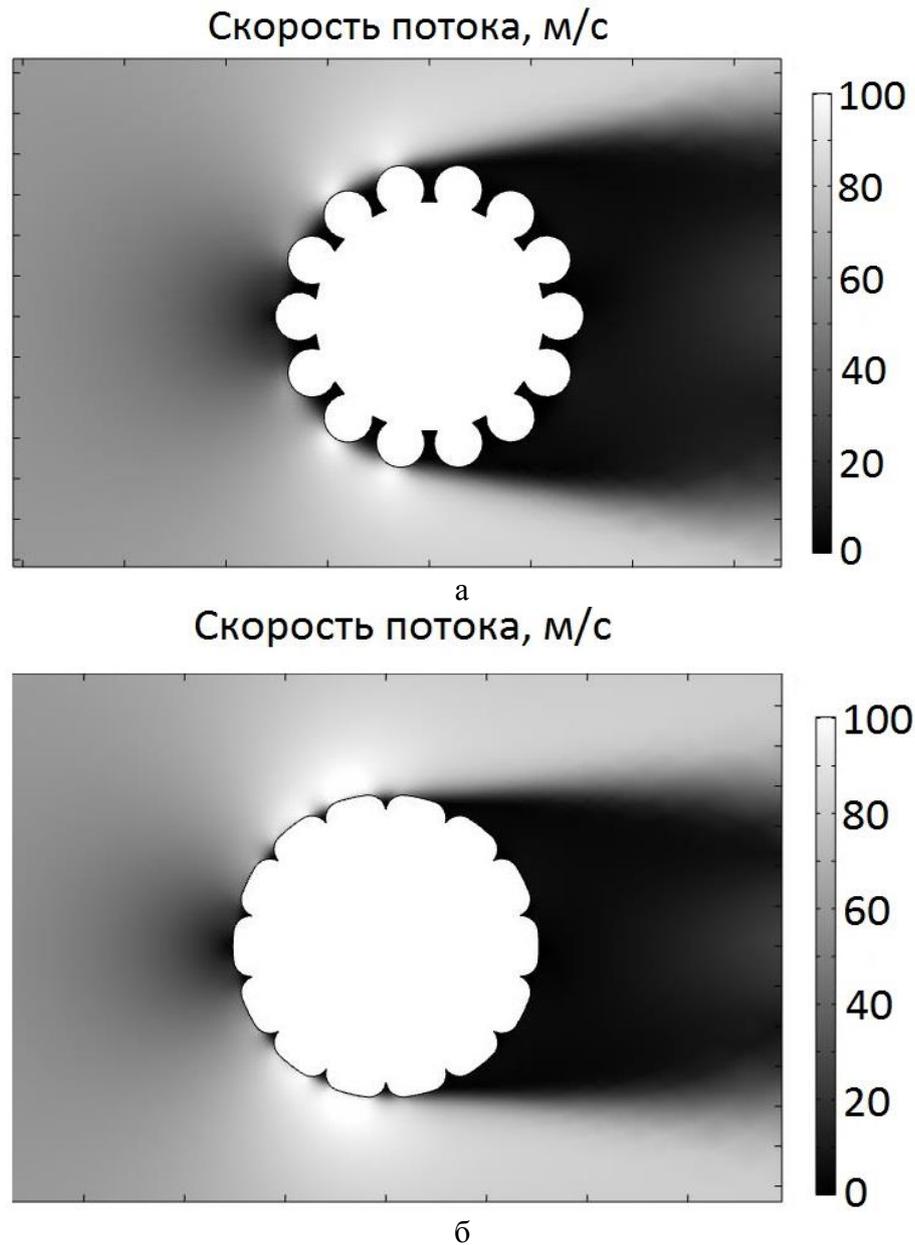


Рис. 1. Распределение скоростей в воздушном потоке, при скорости ветра 60 м/с (район по ветру - особая зона ПУЭ): а – АС 120/19; б – АСВП 128/37

Максимальное давление, оказываемое на провод модели АСВП, меньше на 3,5%, при этом зона с повышенным давлением имеет меньшую площадь по сравнению с моделью АС.

Выводы

1. Разработана методика оценки влияния ветровой нагрузки на провода ЛЭП различной конструкции, использующая моделирование методом конечных элементов протекания воздуха заданной скорости через пространство с расположенным проводом.
2. Полученные расчетные данные свидетельствуют, что при использовании проводов с обтекаемой формой можно снизить силу, действующую на провод на 30%. Распределение скорости потока и давления в пространстве с менее обтекаемым проводом имеют крайне неравномерный характер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила Устройства Электроустановок ПЭУ (редакция 7), утвержденные приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 8 июля 2002 г. № 204.
2. СТО 71915393-ТУ 113-2013. Северсталь-Метиз. «Канаты стальные (грозотрос) для защиты воздушных линий электропередач от прямых ударов молнии. Технические условия». Волгоград, 2008. – 6 с.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках базовой части государственного задания № 2015/16 проект 1183.

ЭНЕРГИЯ. ТЕПЛОВАЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

Трехлеб Е. Д.

Омский государственный технический университет, г. Омск

Энергия играет большую роль в развитии человеческой цивилизации. Она является одним из основных свойств материи — мерой её движения, а также способностью производить работу.

Энергия — есть скалярная физическая величина, являющаяся единой мерой различных форм движения и взаимодействия материи, мерой перехода движения материи из одних форм в другие. В подтверждение всему выше сказанному можно привести формулировку первого закона термодинамики «энергия не исчезает и не возникает вновь, она лишь переходит из одного вида в другой в различных физических и химических процессах» [1].

Существуют различные классификации видов и форм энергии. Виды энергии с которыми мы чаще всего сталкиваемся в своей повседневной жизни: механическая, электрическая, электромагнитная и внутренняя. К внутренней энергии, относятся тепловая, химическая и внутриядерная (атомная). Внутренняя форма энергии обусловлена потенциальной энергией взаимодействия частиц, составляющих тело, или кинетической энергией их беспорядочного движения. Вид энергии мы можем определить с помощью источника энергии. Кинетическая (например: ветра, падающей воды), тепловая (например: атомная, геотермальная, горючих веществ) используется для получения электрической или тепловой энергии. Электричество и тепло могут быть получены в форме как первичного, так и вторичного продукта. Вторичное тепло образуется при использовании энергетических продуктов, уже добытых или произведенных (например, тепло, образующееся на ТЭЦ).

Производится энергия на больших и малых электрических станциях в основном с помощью электромеханических индукционных генераторов. Существует два основных типа электростанций: тепловые и гидроэлектрические. Эти электростанции различаются двигателями, вращающими роторы генераторов. Источником энергии на тепловых электростанциях является топливо: уголь, газ, нефть, мазут, горючие сланцы. Тепловые электростанции - так называемые теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) - позволяют значительную часть энергии отработанного пара использовать на промышленных предприятиях и для бытовых нужд (для отопления и горячего водоснабжения). На гидроэлектростанциях (ГЭС) используется для вращения роторов генераторов потенциальная энергия воды. Роторы электрических генераторов приводятся во вращение гидравлическими турбинами.

Различают два типа производителей энергии по функциональному назначению:

Производитель электрической или тепловой энергии для общественных нужд – это предприятие, для которого поставка электроэнергии или тепла является основным видом деятельности. Производитель может быть государственным или частным предприятием.

Производитель электрической или тепловой энергии для собственных нужд – это предприятие или домашнее хозяйство, которое производит электроэнергию или тепло для обеспечения своей основной деятельности, но производство этих энергоносителей не является его основной деятельностью. Производитель энергии для собственных нужд может продавать часть выработанной энергии для общественного потребления [2].

Относительно типа энергетической станции, производителей электрической и тепловой энергии можно свести к трем типам:

- Электростанции, которые производят только электричество;
- Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), которые производят тепло и электроэнергию одновременно;
- Теплоцентрали, которые производят только тепло.

Испокон веков развитие цивилизации и технический прогресс тесно связаны с количеством и качеством используемых энергоресурсов. Более половины всей потребляемой Энергии используется в виде тепла для технических нужд, отопления, приготовления пищи, оставшаяся часть в виде механической, прежде всего в транспортных установках, и электрической энергии. Причем доля электрической энергии с каждым годом растет (рис. 1 Динамика потребления электрической энергии)[3].

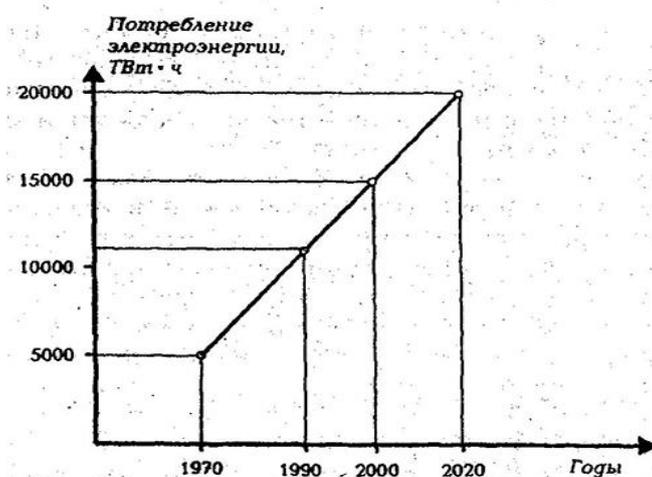


Рис. 1. Динамика потребления электрической энергии

Электрическая энергия является наиболее удобным видом энергии и считается основой современной цивилизации. Широкое использование электрической энергии обусловлено многими факторами, такими как:

возможностью выработки электроэнергии в больших количествах вблизи месторождений и водных истоков;

возможностью трансформации электроэнергии в другие виды энергии: механическую, химическую, тепловую, световую;

отсутствием загрязнения окружающей среды;

возможностью применения на основе электроэнергии принципиально новых прогрессивных технологических процессов с высокой степенью автоматизации.

Энергия – это универсальная мера движения материи, которая остается постоянной при любых ее превращениях. Закон сохранения энергии говорит о несотворимости и неуничтожимости движения материи. Существует довольно много форм энергии, большинство из которых так или иначе используются в энергетике и различных современных технологиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика: Учеб. для вузов/ 4-е изд., перераб. - М.: Энергоатомиздат, 1983. – 1–3 с.
2. Электрическая и тепловая энергия – справочное пособие для НПО - ЦЭНЭФ, г. Москва, 2013г. – 6–8 с.
3. Э.М. Кравченя, Р.Н. Козел, И.П. Свирид "Охрана труда и основы энергосбережения" Учебное пособие. - Мн.: ТетраСистемс, 2004. – 183 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Глик П. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Основной проблемой эффективного использования энергии являются огромные их потери в результате преобразования одних видов энергии в другие. Потери энергии обусловлены конструктивными особенностями агрегатов, производящих электроэнергию, типами преобразователей, свойствами индивидуальных типов энергии и прочими климатическими и локальными условиями получения и преобразования энергии.

Ярким примером потери энергии и мощности является автомобиль, точнее двигатель внутреннего сгорания (ДВС) [1]. В качестве основного источника энергии для ДВС используется топливо – бензины. Следует отметить, что не все топливо сгорает полностью до конечных продуктов окисления, часть топлива (порядка 10–15 %) сгорает частично, что приводит к потерям энергии, связанным с особенностями системы подачи газозоодушнoй смеси и конструктивными особенностями двигателя. Основные потери энергии ДВС обусловлены теплообменом с окружающей средой, в результате чего мощность двигателя снижается до 55 %. В результате неэффективного использования энергии возрастают расходы на топливо, на системы охлаждения двигателя от перегревов, а также в рамках мировой автомобильной промышленности ухудшается экологическая обстановка регионов мира. Следует отметить, что потери энергии и мощности также заключены в механических сопротивлениях элементов двигателя, на их долю приходится около 5–10 % потерь энергии. Таким образом, топливо в ДВС используется с эффективностью (коэффициентом полезного действия – КПД) порядка 20–25 %. В пересчете на исходное горючее получаются, что из исходных 100 литров бензина только 20–25 литров сгорают непосредственно на преобразование энергии химических связей углеводородов в электрическую энергию и в механическую энергию движения автомобиля. Остальные же 75–80 литров бензина расходуются на теплообмен с окружающей средой и прочие потери связанные с особенностями топлива и двигателя (табл. 1).

Таблица 1. Энергетические потери двигателя внутреннего сгорания

Стадия	Вид энергии	Количество потерь на исходное сырье, %	КПД ДВС, %
Горение газо-воздушной смеси	энергия горения (разрыв химических связей)	10–15	около 85 %
Теплообмен с окружающей средой	тепловая энергия	50–55	около 35 %
Движение поршней, коленчатого вала, автомобиля	механическая энергия (кинетическая)	5–10	около 25 %

Для установок промышленного получения электроэнергии характерны идентичные потери энергии и мощности, что и для автомобильных ДВС. Атомные электростанции (АЭС) теряют мощности за счет охлаждения конденсатора, поскольку в результате ядерных реакций выделяется огромное количество тепловой энергии, в связи с этим многие АЭС имеют дополнительный блок по утилизации тепла. Этого тепла хватает для обогрева городов с численностью населения до 80–100 тыс. человек. КПД АЭС около 80 %. Для гидроэлектростанций (ГЭС) характерны потери энергии в виде механической, и энергии рассеивания, но это значение не превышает 10 %. КПД АЭС находится на уровне 90–93 %. Наиболее универсальными являются тепловые электростанции (ТЭС), поскольку они способны работать на любом типе углеводородного сырья: газ, уголь, нефтяное топливо. КПД ТЭС не превышает 35 %, в связи с этим широкого использования ТЭС не получили.

С точки зрения эффективного использования энергии ГЭС является наиболее выгодным источником электроэнергии, но нельзя забывать, что для строительства ГЭС необходимы реки и ГЭС находятся вблизи развитых городов: Красноярск, Иркутск, Братск. Их число на каждой реке ограничено. АЭС являются опасными, поскольку в случае аварии возникнут трудности с ликвидациями последствий.

В свою очередь запасы углеводородного сырья обладают высоким энергетическим запасом. Ресурсы нефти, природного газа и каменного угля являются внушительными. Их использование повсеместно.

Как отмечалось ранее, главной проблемой утилизации углеводородного сырья является высокая потеря энергетической составляющей – до 80 % от исходного энергетического запаса. В данной области проводилось множество работ по увеличению эффективности использования ресурса исходного топлива. Главная задача в рамках данной проблемы – качественный перевод энергии химических связей в электрическую энергию, поскольку электроэнергия является самым удобным типом потребляемой энергии.

Решение данного вопроса было найдено путем модернизации гальванических элементов и создания нового источника электрической энергии – топливного элемента. Топливный элемент представляет собой электрохимическую ячейку, в которой происходит «холодное» горение топлива (рис. 1). В качестве топлива используется водород, метанол, природный газ, пропан и другие [2,3].

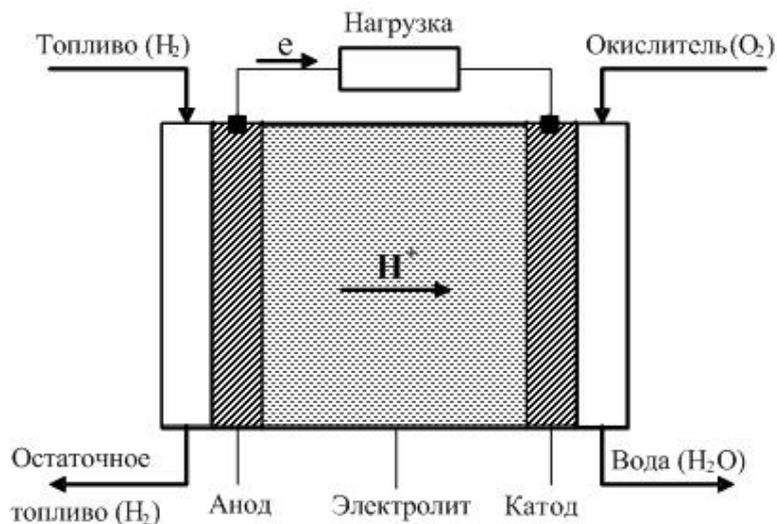


Рис. 2. Принципиальная схема газового топливного элемента

Повышенный интерес к топливным элементам заключается в том, что реакция горения протекает «холодным» путем, за счет протекания химической реакции между электродами в объеме электролита, в процессе протекания реакции по данному направлению топливный элемент практически не разогревается, а вся энергия химических связей превращается в электрическую энергию, которая подается на контакты электродвигателей. При этом потери энергии химических связей не превышают 15 % [4].

Главное отличие топливного элемента от гальванического (аккумуляторные батареи) заключено в периодической или непрерывной подаче окисляемого компонента в элемент, в то время как в гальваническом элементе количество реагирующего компонента ограничено объемом камер батареи. Поэтому принцип работы топливных элементов определен постоянной выработкой электроэнергии, в то время как гальванический элемент требует периодические циклы зарядки/разрядки.

Топливные элементы видоизменяются, и в настоящее время существуют элементы величиной с четверть ногтя человека. Промышленные топливные элементы формируют топливные батареи, которые способны вырабатывать количество энергии, достаточное для обеспечения бесперебойной работы электрических устройств промышленных объектов вдали от электромагистралей.

Топливные элементы очень компактны и мобильны, что позволяет транспортировать их на дальние расстояния в случае отсутствия надобности электроэнергии (труднопроходимая, болотистая местность).

Повышенный интерес к устройствам данного типа проявляют нефте- и газодобывающие компании, поскольку в суровых климатических и географических условиях возникают проблемы с электроэнергией, дефицит которой могут восполнить топливные элементы высокой мощности и со значениями КПД до 85 %.

В настоящее время «ОАО Газпром» проявляет повышенный интерес к строительству электростанций, в основе которых будут заложены топливные батареи, что позволит восполнить запасы электроэнергии на месторождениях труднодоступного характера (шельфовые, прибрежные, таежные, болотистые). В настоящее время создается план-проект по увеличению энергетических запасов месторождений северных районов с целью бесперебойной работы нефте-, газодобывающих установок, а также заводов по комплексной подготовке газа и нефти к транспортировке [5].

Топливные элементы позволяют при идентичных объемах перерабатываемого сырья (водорода, природного газа, метанола) обеспечить увеличение выхода полезной электрической энергии почти в два раза. Данное направление является перспективным и приоритетным на ближайшие десятилетия в связи с острым дефицитом электроэнергии в регионах России [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Румянцев В.П. О перспективах увеличения КПД поршневых тепловых двигателей // Изобретательство. – 2011. – Т. 11. – № 9. – С. 21-27.
2. Косолапов А.В. Энергетические установки на топливных элементах для жилых комплексов // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2014. – № 4. – С. 122-124.
3. Чусов А.Н., Зубкова М.Ю., Кораблев В.В. и др. Технология использования в топливных элементах водородсодержащей смеси на основе биогазов для энергообеспечения автономных потребителей // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2013. – № 183-1. – С. 78-85.
4. Баранов И.Е., Калинин А.А., Коробцев С.В. и др. Силовые установки для БПЛА на топливных элементах: перспективы применения // Энергия: экономика, техника, экология. – 2014. – № 4. – С. 31-36.
5. Косолапов А.В., Копелевич Л.Е., Степанов А.В. Применение электростанций на топливных элементах в электроэнергетике // Теоретические и практические аспекты технических наук. Сборник статей Международной научно-практической конференции. – 2014. – С. 43-46.
6. Моисеев В.И. Перспективы применения электростанций на топливных элементах // Вестник Московского государственного открытого университета. Москва. Серия: Техника и технология. – 2011. – № 2. – С. 45-47.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ММО-ОБЪЕКТАМИ

Тюрин И. В.¹, Кузнецова М. С., Клементьев Д. С., Татаринцев А. Н.
Тамбовский государственный технический университет, Тамбов

Значительное число электрических тепловых аппаратов представляют собой нелинейные системы с распределенными параметрами, которые при решении задач управления рассматриваются как сложные, или ММО (Multi Input Multi Output)-системы [1].

Разработка алгоритмического, программного и аппаратного обеспечений являются составными частями задачи оптимального проектирования системы управления. Ее решение заключается в выборе оптимального варианта системы из множества альтернативных. Международный опыт показывает, что во многих случаях создание новых систем с использованием традиционных способов проектирования не приносит ожидаемого результата.

В соответствии с международным стандартом ISO/IEC 12207 к основным этапам (фазам) жизненного цикла проектирования системы управления для сложных тепловых объектов с электронагревом следует отнести: формирование концепции, проведение

¹ Автор частично поддержан грантом РФФИ 14-08-00198

научно-исследовательских работ, проектирование, изготовление, внедрение (инсталляция системы), завершение проекта. Здесь в качестве исходных данных каждого последующего этапа являются результаты работ предыдущего этапа. После завершения каждой фазы проекта принимаются ключевые решения.

Применение новых информационных технологий позволяет значительно повысить критерий эффективности, поэтому для проектирования систем управления для различных промышленных объектов использовалась многофункциональная информационно-инструментальная среда (МИИС) [2], основу которой составляет экспертная система энергосберегающего управления (ЭСЭУ) [3]. В ЭСЭУ реализована методология построения гибридных экспертных систем, предназначенных для решения задач управления различным энергоемким промышленным оборудованием.

В базе знаний ЭСЭУ используются как теоретические методы энергосберегающего управления, так и знания экспертов. При создании базы знаний использовались концепция наследования и принципы комплексирования. Концепция наследования позволяет ускорить процесс создания новых и совершенствование существующих фреймов базы знаний для реальных систем. Принципы комплексирования заключаются в повышении точности или робастности систем ресурсосберегающего управления за счет использования совокупной информации, полученной на основе аналитических методов оптимального управления, знаний экспертов и накопленных результатов реальной эксплуатации систем управления. Так формируется единое информационно-вычислительное пространство для проектирования систем оптимального управления.

Главными особенностями разработанной МИИС являются уникальная база знаний и программное обеспечение, позволяющее оперативно переходить от одного проекта системы оптимального энергосберегающего управления к другому при решении широкого круга задач анализа и синтеза оптимальных управляющих воздействий на множестве состояний функционирования энергоемких промышленных МИМО-объектов.

С помощью МИИС разработано алгоритмическое и программное обеспечение СОУ для установок термообработки магнитопроводов, смесительных машин по производству полимерных материалов, вулканизаторов, электрокамерных и многозонных печей, многосекционных сушилок, электродвигателей и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гудвин Г.К. Проектирование систем управления / Г.К. Гудвин, С.Ф. Гребе, М.Э. Сальгадо. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний. 2004. 911 с.
2. Муромцев Ю.Л., Тюрин И.В. Информационно-инструментальная среда разработки алгоритмического обеспечения систем энергосберегающего управления промышленными объектами // Проблемы управления. 2007. № 5. С. 69-75.
3. Муромцев Ю.Л., Муромцев Д.Ю., Орлова Л.П. Свид. об официальной регистрации программы для ЭВМ № 950464. Экспертная система «Энергосберегающее управление динамическими объектами» (EXPSYS). Зарегистрировано РосАПО от 19.12.95.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВАКУУМНЫХ ТРУБЧАТЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УГЛА ИХ НАКЛОНА В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ г. ТОМСКА

Кузнецова А. А., Хуторной А. Н.

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск

Одним из наиболее перспективных возобновляемых источников энергии является Солнце [1]. Суммарная тепловая мощность действующих на сегодняшний день установок солнечного теплоснабжения в мире превысила 269 ГВт (более 385 млн. м² солнечных коллекторов) [2]. Практическое использование солнечной энергии в России находит в настоящее время наибольшее применение в Краснодарском крае [3], однако технологии использования солнечной энергии непрерывно развиваются и совершенствуются.

В работах [4, 5] показан положительный опыт использования солнечных вакуумных коллекторов в г. Москве и Якутске. Возможность покрытия значительного количества тепловой энергии (около 50 %) для приготовления горячей воды на нужды горячего водоснабжения жилого индивидуального дома в г. Томске показана в работе [6]. Расчет эффективности использования вакуумных трубчатых коллекторов в данной работе проводился на примере использования коллекторов компании RUCELF в соответствии с методикой, изложенной в [7]. Данная методика не учитывает изменения угла наклона солнечных коллекторов по отношению к горизонту, тем самым занижая возможную величину вырабатываемой солнечными коллекторами тепловой энергии. В этой связи, целью данной работы является уточнение полученных в работе [6] данных с учетом изменения угла наклона вакуумных трубчатых коллекторов с южной ориентацией по отношению к горизонту.

Количество солнечной энергии, которое может быть поглощено и преобразовано в тепловую за счет использования солнечных коллекторов определялось из выражения

$$A_{\text{н.э.}} = Q_{\text{н.д.}} \cdot \eta_{\text{н.э.}},$$

где $Q_{\text{н.д.}}$ – среднемесячное значение суммарной солнечной радиации, кВт·ч/м²·день; $\eta_{\text{н.э.}}$ – поглощающая способность коллектора (принята равной 0,8 [7]).

Среднемесячное значение суммарной солнечной радиации, поступающей на наклонную поверхность определяется по формуле [8]:

$$Q_{\text{н.д.}} = R \cdot E,$$

где E – среднемесячное дневное количество суммарного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность, кВт·ч/м²·день; R – отношение среднемесячных дневных количеств солнечной радиации, поступающих на наклонную и горизонтальную поверхности, определяемое по формуле [8]:

$$R = \left(1 - \frac{A_{\delta}}{A} \right) \hat{E}_{\text{г}} + \frac{A_{\delta}}{A} \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho \frac{1 - \cos \beta}{2},$$

где A_{δ} – среднемесячное дневное количество рассеянного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность, кВт·ч/м²·день; $\hat{E}_{\text{г}}$ – среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной поверхности на наклонную; β – угол наклона поверхности солнечного коллектора к горизонту; ρ – коэффициент отражения (альбедо) поверхности земли и окружающих тел, принимаемый равным 0,7 для зимы и 0,2 для лета.

Среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения для поверхности коллектора с южной ориентацией имеет вид

$$\hat{E}_T = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega_{\varphi.i.} + \frac{\pi}{180} \omega_{\varphi.i.} \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_{\varphi} + \frac{\pi}{180} \omega_{\varphi} \sin \varphi \sin \delta},$$

где φ – широта местности, град; β – угол наклона коллектора к горизонту, град; δ – склонение Солнца в средний день месяца, град; ω_{φ} , $\omega_{\varphi.i.}$ – часовой угол захода Солнца на горизонтальной и наклонной поверхностях.

Часовой угол захода (восхода) Солнца для поверхности:

горизонтальной

$$\omega_{\varphi} = \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta).$$

наклонной

$$\omega_{\varphi.i.} = \min \left\{ \omega_{\varphi}, \arccos(-\operatorname{tg}(\varphi - \beta) \operatorname{tg} \delta) \right\}$$

В качестве часового угла захода Солнца для наклонной поверхности с южной ориентацией принимают меньшую из двух величин ω_{φ} или $\omega_{\varphi.i.}$.

Результаты расчета среднемесячных значений суммарной солнечной радиации, поступающей на наклонную поверхность в г. Томске, представлены на рис. 1.

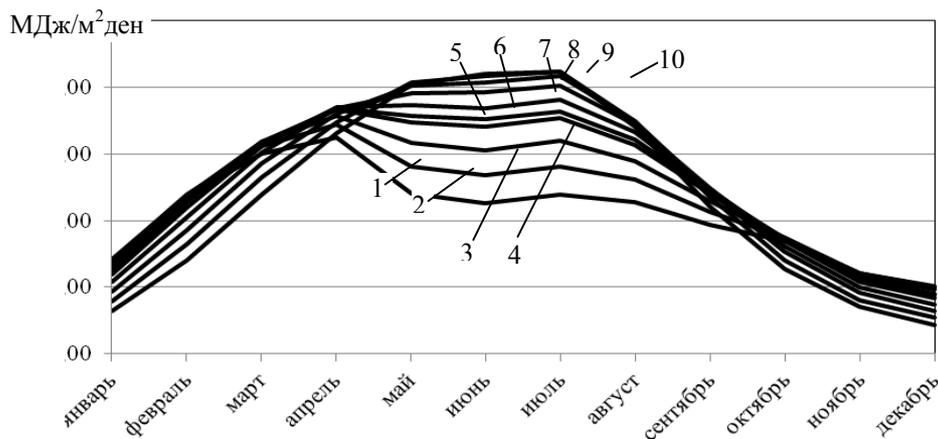


Рис. 1. Среднемесячные значения суммарной солнечной радиации, поступающей на наклонную поверхность южной ориентации:

$$1 - \beta = 90^\circ; 2 - \beta = 80^\circ; 3 - \beta = 70^\circ; 4 - \beta = 60^\circ; 5 - \beta = 56,29^\circ; 6 - \beta = 50^\circ; 7 - \beta = 40^\circ; 8 - \beta = 30^\circ; 9 - \beta = 20^\circ; 10 - \beta = 10^\circ$$

Исходные данные по среднемесячным значениям суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, принимались из [7]. Значения рассеянной солнечной радиации на горизонтальную поверхность высчитывались на основании представленных в [9] долей прямой и, соответственно, рассеянной солнечной радиации в суммарной.

Анализ рис. 1 показывает, что максимальные значения суммарной солнечной радиации для условий г. Томска приходятся на летние месяцы на коллекторы, расположенные под углом 20° к горизонту и составляют около $21 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{день}$. На коллекторы, расположенные под углом $56,29^\circ$ (северная широта г. Томска) к горизонту в июле приходится около $18 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{день}$. В январе максимальные значения суммарной

солнечной радиации приходится на коллекторы, расположенные под углом 90° к горизонту и составляют $7,13 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{день}$. Для февраля значения суммарной солнечной радиации составляют $11,97 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{день}$ для коллекторов, расположенных под углом 80° к горизонту. Для коллекторов, расположенных под углом $56,29^\circ$ к горизонту значения суммарной солнечной радиации составляют $6,29$ – в январе и $11,36 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{день}$ – в феврале.

Анализ рис. 1 также показывает, что значения суммарной солнечной радиации для коллекторов, расположенных под углом 70 , 80 и 90° к горизонту в мае имеют достаточно заметный спад, что объясняется изменением величины альбедо поверхности [8].

Результаты расчета необходимого количества вакуумных трубок RUCELF для нагрева 300 л воды в сутки для условий задачи [6] представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты расчета необходимого количества вакуумных трубок

Параметр	Расчетное значение за месяц												Расчетное значение за год
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	
Необходимое кол-во вакуумных трубок, шт. (при $\beta = 0^\circ$)	434,6	188,6	102,0	69,9	49,7	47,1	47,0	59,9	96,3	189,8	361,3	651,9	
Необходимое кол-во вакуумных трубок, шт. (при $\beta = 20^\circ$)	271,0	131,7	81,6	62,0	48,3	47,1	46,3	56,3	83,2	152,8	265,7	399,5	
Необходимое кол-во вакуумных трубок, шт. (при $\beta = 56,29^\circ$)	171,5	94,9	68,2	58,5	54,9	55,8	53,8	61,1	80,4	125,4	192,6	245,1	
Кол-во энергии производимое 48 трубками, Q , кВт·час/месяц (при $\beta = 0^\circ$)	65,7	136,8	280,0	395,4	521,9	533,6	552,3	433,3	260,8	150,5	76,5	43,8	3450,5
Кол-во энергии производимое 48 трубками, Q , кВт·час/месяц (при $\beta = 20^\circ$)	105,4	195,8	350,0	445,5	537,7	533,9	560,5	461,2	301,8	186,9	104,0	71,5	3854,2
Кол-во энергии производимое 48 трубками, Q , кВт·час/месяц (при $\beta = 56,29^\circ$)	166,5	271,6	418,6	472,2	472,8	450,2	482,1	424,9	312,3	227,7	143,5	116,5	3958,9
Кол-во энергии производимое 54 трубками, Q , кВт·час/месяц (при $\beta = 20^\circ$)	118,5	220,3	393,7	501,2	604,9	600,7	630,5	518,8	339,5	210,3	117,0	80,4	4336,0
Кол-во энергии производимое 54 трубками, Q , кВт·час/месяц (при $\beta = 56,29^\circ$)	187,3	305,6	470,9	531,2	531,9	506,4	542,4	478,0	351,4	256,1	161,4	131,0	4453,7

Расчетами установлено, что требуемое количество тепловой энергии для ежедневного нагрева 300 л воды составляет 6737,6 кВт·час в год. В случае установки солнечных коллекторов под углом $56,29^\circ$ к горизонту минимально необходимое количество вакуумных трубок для ежедневного нагрева в июле 300 л воды до температуры 60°C составит 54 шт., в то время, как при горизонтальном расположении солнечных коллекторов требовалось бы всего 48 шт. [6]. Увеличение количества устанавливаемых вакуумных трубок несомненно скажется на стоимости оборудования. При возможности установки солнечных коллекторов из 48 трубок в горизонтальном положении количество производимой ими энергии составило бы 3450,5 кВт·ч в год. Однако вакуумные солнечные коллекторы не рекомендуется эксплуатировать при угле наклона к горизонту менее 20° [6]. При установке солнечных коллекторов под углом 20° к горизонту количество энергии производимой 48 трубками составит 3854,2 кВт·ч в год, что составляет 57,2 % от требуемого годового количества тепловой энергии. При установке солнечных коллекторов из 48 трубок под углом $56,29^\circ$ к горизонту $Q = 3958,9$ кВт·ч в год, что составляет 58,8 % от требуемого годового количества.

При наличии возможностей для установки солнечных коллекторов из 54 трубок количество производимой энергии увеличивается. Так, при установке таких солнечных коллекторов под углом 20° к горизонту $Q = 4336$ кВт·ч в год, что составляет 64,4 % от требуемого годового количества, а при установке таких коллекторов под углом $56,29^\circ$ к горизонту $Q = 4453,7$ кВт·ч в год, что составляет 66,1 % от требуемого годового количества тепловой энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутузов В.А. Перспективы развития солнечного теплоснабжения в России // Энергосбережение. – 2013. – № 6. – С. 76-79.
2. Mauthner F., Weiss W. Solar Heat Worldwide. Markets and Contribution to the Energy Supply 2012. 2014 ed. // 2014. <http://www.iea-shc.org/solar-heat-worldwide>.
3. Бутузов В. В., Брянцева Е. В., Гнатюк И. С. Гелиоустановки Краснодарского края // Промышленная Энергетика, 2011 - № 7, стр. 45-47.
4. Сфера применения гелиосистем расширяется // Энергосбережение. – 2014. – № 7. – С. 64-65.
5. Кривошеин Ю.О. Разработка и реализация системы горячего теплоснабжения с использованием солнечной энергии / Ю.О. Кривошеин, Ф.В. Саврасов, Н.А. Цветков // Материалы I Международной конф. Студентов и мол. Ученых «Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы», Томск, 11-12 ноября 2014 г. – Томск: Изд-во Томск. гос. арх.-строит. ун-та, 2014. – С. 152-153.
6. Кузнецова А.А. Перспективы использования солнечных коллекторов в природно-климатических условиях Сибири / А.А. Кузнецова, А.Н. Хуторной // Избранные доклады 61-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых [Электрон. текстовые дан.]. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2015. – С. 971-978.
7. Пособие по проектированию и расчету гелиосистем // RUCELF.
8. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. М.: Энергоатомиздат, 1991. – 206 с.
9. Справочник по климату СССР. Выпуск 20. Томская, Новосибирская, Кемеровская области и Алтайский край. Ч.1. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. – Л. : Гидрометеиздат, 1966. – 75 с.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РАЙОНА

Артемьев А. Ю.

Братский государственный университет, г. Братск

Компьютерное моделирование позволяет проводить исследования эффективности различных инженерных решений без создания сложных и дорогостоящих физических моделей. Получаемые результаты в то же время имеют достаточную точность. Одной из таких задач, для решения которых целесообразно применение информационных технологий, является поиск перспективных площадок для установки ветроэнергетических установок (ВЭУ). По причине достаточно распределенного расположения сети метеостанций появляется одна из существенных трудностей – отсутствие информации о скорости ветрового потока на конкретных участках местности. Для решения задачи определения скорости ветра на исследуемых участках применяют упрощенные процедуры с использованием информации о масштабе класса открытости местности, что существенно снижает точность оценки. Натурные испытания сопряжены с затратами финансовых и временных ресурсов. Решением проблемы является математическое моделирование ветрового потока в условиях сложного рельефа местности. В статье авторы предлагают методику анализа и комплексного применения программных продуктов для оценки ветроэнергетического потенциала в районе с учетом рельефа местности.

На рисунке 1 представлены этапы предлагаемого методического подхода.



Рис. 1. Этапы методического подхода к решению задачи поиска мест с высоким ветроэнергетическим потенциалом

На первом этапе происходит сбор исходной информации: метеоданные, технические характеристики ВЭУ, высотные данные рельефа местности. Для повышения точности расчётов авторы использовали архивы данных метеостанций, находящихся в открытом доступе в сети интернет.

Для обработки и анализа данных авторами была разработана программа для ЭВМ Wind-MCA [1]. Программа позволяет на основе данных архивов метеостанций строить графики изменения скорости ветра и выработки электроэнергии ВЭУ за произвольный период (рис. 2), проводить оценку основных статистических показателей скорости ветра, оценку экономической эффективности использования ВЭУ с учетом их

технических характеристик. Программа применялась в исследованиях ветроэнергетического потенциала северных территорий республики Саха (Якутия) [2, 3].

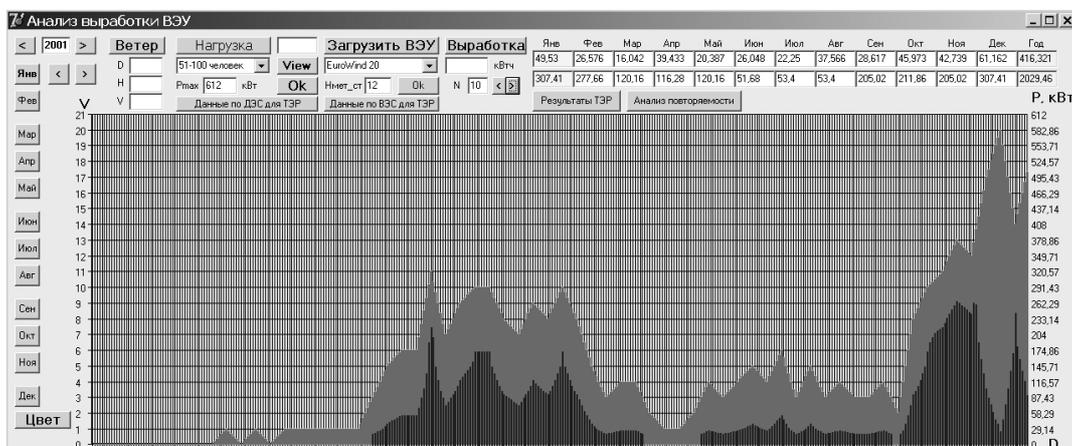


Рис. 2. Рабочий экран программы Wind-MCA с графиком изменения скорости ветра (светло-серый) и графиком выработки электроэнергии ВЭУ (темно-серый)

Работа с Wind-MCA на первом этапе позволяет оценить целесообразность применения ВЭУ в исследуемых регионах. Анализ топографических карт, розы ветров и результатов программы позволяют сделать вывод о целесообразности моделирования ветрового потока в районе с целью поиска мест размещения ВЭУ [4, 5].

Исходные данные для построения трёхмерной модели рельефа местности - как правило, это данные SRTM [6] или ASTER GDEM [7].

На втором этапе (рис. 1) выполняется построение и подготавливается для импорта в пакет вычислительной аэрогидродинамики трёхмерная модель исследуемого рельефа местности.

На третьем этапе (рис. 1) решение задачи поиска мест с повышенной скоростью ветра во FlowVision 3.0 проходило в 3 этапа:

1. Импорт и адаптация геометрии (при необходимости доработка);
2. Задание необходимых параметров модели расчёта (начальных условий) в Препроцессоре FlowVision;
3. Получение результатов в Постпроцессоре FlowVision и их анализ;

В исследовании для расчёта изменений скорости ветра с учётом микрорельефа местности был выбран отечественный программный комплекс вычислительной аэрогидродинамики FlowVision 3.0 компании ООО «ТЕСИС», который доступен в бесплатной версии на срок в два месяца по программе «Учись, студент!».

В результате моделирования может быть получена информация об изменении скорости ветра в зависимости от его направления и рельефа местности. Большинство программ вычислительной аэрогидродинамики позволяют представить результаты вычислений в наглядных формах: отображение трёхмерных областей выбранного диапазона скоростей, отображение изменение скорости градиентом на плоскости сечения, линии тока и др.

Таким образом, предложенный методический подход формализует процесс поиска зон с высоким ветроэнергетическим потенциалом и позволяет применять его с использованием различных программных продуктов.

На практике была воссоздана в масштабе 1:1 (площадь выбранного участка 10x10 км) трёхмерная модель реальной местности. Для исследования был выбран район п.

Аян ($56^{\circ}28'$ с.ш., $138^{\circ} 9'$ в.д.) Хабаровского края. Население посёлка составляет 870 человек по данным за 2013 год.

По данным архивов метеостанции у п. Аян среднегодовые скорости ветра составляют 3 – 4 м/с. Это достаточно низкие скорости ветра для рассмотрения района п. Аян в качестве места для установки ВЭУ. Но рельеф в районе посёлка достаточно разнообразен и, если принять во внимание его влияние на скорость ветрового потока в локальных местах, то возможно, будут найдены площадки с повышенными средними скоростями.

Начальным условием расчёта является генерация воздушного потока (скоростью от 1 до 10 м/с) по одной из сторон: север, юг, восток, запад.

При моделировании явно выделялось расположение областей локального повышения и понижения средней скорости ветрового потока в зависимости от рельефа местности и направления начального потока, поэтому учёт розы ветров является обязательным при детальном анализе размещения ВЭУ (рис. 6).

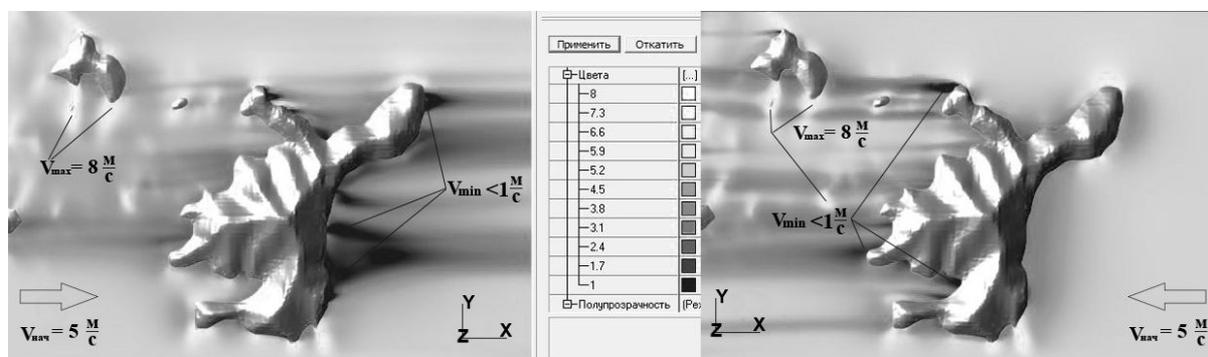


Рис. 6. Скриншот окна Постпроцессора FlowVision 3.0 при моделировании обтекания воздушным потоком рельефа в районе п. Аян с запада (слева) и с востока (справа). Начальная скорость ветра 5 м/с, изображение показано на высоте 150 м от уровня моря

При проведении расчётов были выделены пять площадок (рис. 7) с наибольшими повышениями скоростями ветра. Светлым цветом на рис. 7 показаны самые большие по объёму области, в которых скорость ветра имела максимальные значения: от 6 до 8, при начальной скорости ветра в 5 м/с.

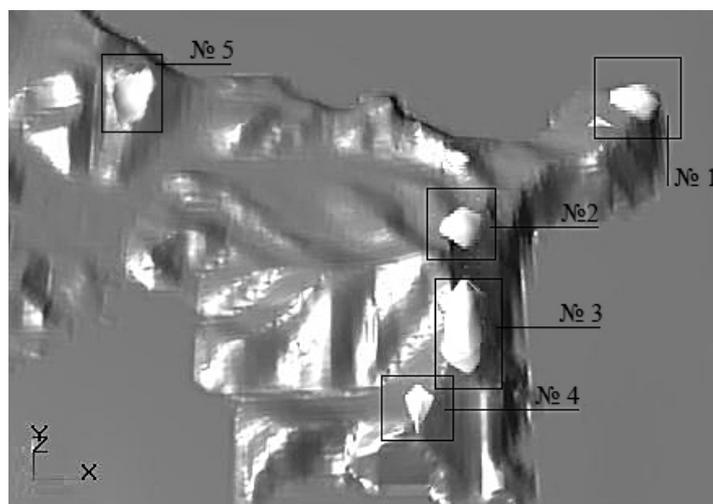


Рис. 7. Скриншот окна Постпроцессора FlowVision 3.0 при моделировании обтекания воздушным потоком рельефа в районе п. Аян

Таким образом, авторы реализовали методику анализа и комплексного применения программных продуктов для оценки ветроэнергетического потенциала в районе с учетом рельефа местности. Поскольку для решения этой задачи на данный момент нет готовых решений, то для её реализации потребовалось использование четырех программных продуктов: Wind-MCA, Rhinoceros 5.0 (с установкой плагина Lands Design), Google Earth, Flow Vision. Версии пакетов 3d моделирования и вычислительной аэрогидродинамики являлись бесплатными, полнофункциональными, но ограниченными по времени (до двух месяцев), поэтому для постоянной проектной работы потребуется или покупка, или реализация собственных продуктов.

Применение методического подхода позволяет реализовать компьютерное моделирование ветрового потока с учетом рельефа местности и, таким образом, решить важную для практики задачу определения мест эффективного размещения ВЭУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014619044. Многокритериальная оценка эффективности использования ветроэнергетических установок (Wind-MCA) / В.А. Шакиров, А.Ю. Артемьев. Заяв. 08.09.2014. М.: Роспатент, 2014.
2. Шакиров В.А. Многокритериальный анализ перспективного размещения ветроэнергетических установок на Севере республики Саха (Якутия) // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2013. Т. 10. № 1. С. 26-33.
3. Емцев А.Н., Шакиров В.А., Артемьев А.Ю. Анализ эффективности использования ветроэнергетических установок в северных районах республики Саха (Якутия) // Системы. Методы. Технологии. 2011. № 10. С. 98-101.
4. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения / Пер. с англ. Б. Е. Маслова, А. В. Швецово; под. ред. Б. Е. Маслова. – М.: Стройиздат, 1984. – 360 с. с ил. Перевод. изд.: Wind Effects on Structures / E. Simiu, R. Scanlan (1978);
5. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280 с.
6. The shuttle radar topography mission. / Farr Tom G., Hensley Scott, Rodriguez Ernesto, Martin Jan, Kobrick Mike. // CEOS SAR Workshop. Toulouse 26-29 Oct. 1999. Noordwijk. 2000, с. 361-363;
7. ASTER GDEM Validation Team: METI/ERSDAC, NASA/LPDAAC, USGS/EROS, 2009: ASTER Global DEM Validation, Summary Report, http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/image/ASTERGDEM_ValidationSummaryReport_Ver1.pdf, last access April 2010

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РЫНКА БИОТОПЛИВА В РОССИИ

Савельев Д. А., Рахимова Ю. И.

Самарский государственный технический университет, г. Самара

В настоящее время объем мирового потребления энергии непрерывно и быстро возрастает, что является следствием процесса индустриализации, роста населения, увеличения энергозатрат на добычу природных ресурсов, а также на повышение плодородия почв и т.д., в результате чего быстро сокращаются имеющиеся запасы нефти и газа во всем мире. Прогнозируемые запасы угля в мире велики, но рост его

прямого сжигания в перспективе будет ограничиваться из-за загрязнения окружающей природной среды выбросами газов и золы. Из-за истощения запасов ископаемых топлив или истощения наиболее доступных из них, возникает необходимость энергоресурсосбережения.

Мировой опыт показывает, что одним из основных направлений повышения энергетической эффективности экономики является развитие альтернативной энергетики. Это подразумевает более широкое использование возобновляемых источников энергии. К возобновляемым источникам энергии относится применение естественных природных процессов для получения энергоресурсов. Одним из таких процессов является получение биотоплива. Экономическая эффективность применения биотоплива была подсчитана в 70 – 80 годах 20 века и получила наивысшую оценку эффективности.

Биотопливо получают путем переработки биомассы. Условно его можно разделить на три поколения:

- 1) пищевые масла и сахаросодержащие растения;
- 2) непищевые и целлюлозосодержащие растения;
- 3) непищевые водные растения, т.е. водоросли;

Биотопливо первого поколения получают из крахмала, сахара, растительных жиров используя традиционные технологии обработки. Основная проблема при производстве биотоплива первого поколения – это продовольственная безопасность, поскольку в производстве используются сельскохозяйственные культуры. Общественность уже бьет тревогу потому что земли, которые раньше использовались для выращивания продовольствия, коммерчески ориентированные землевладельцы отдают под технические культуры. Поскольку население земли растет, использование этих земель для выращивания сырья для биотоплива уменьшает количество доступных продуктов питания, что приводит к увеличению их себе стоимости.

Биотопливо второго поколения производится из непищевого сырья. Источниками сырья являются лигноцеллюлозные соединения, которые остаются после обработки в пищевой промышленности растительного сырья. Так же для этой цели используют быстрорастущие деревья и травы (тополь, ива, мискантус). Плантации где выращивают подобные деревья и травы называют энергетическими лесами. Преимущества таких растений в том, что они не конкурируют с пищевыми растениями за землю и могут произрастать на склонах, оврагах, холмах, непродуктивных и вырождающихся землях. Для их выращивания можно использовать минимальное количество воды, удобрений и техники. Собранный биомасса используется для производства тепловой и электрической энергии, а также может служить для производства жидкого биотоплива.

Таким образом, биотопливо второго поколения постепенно будет замещать биотопливо первого поколения, из-за большей экологичности, производительности и эффективности, а также это связано с тем, что оно производится из непищевых растений.

К сожалению, при всех очевидных плюсах биотоплив первого и второго поколений экономические, социальные и этические проблемы сдерживают скорость и количество их производства. В связи с чем все больший интерес приобретает развитие третьего поколения биотоплива. Эффективной и возобновляемой биомассой, для которой не нужны пахотные земли и пресная вода являются водоросли. В качестве основных преимуществ водорослей как биотоплива можно выделить:

- 1) Производство водорослей не угрожает продовольственной безопасности;
- 2) Быстрый рост (в 20-30 раз быстрее наземных растений);

- 3) Отсутствие жесткой оболочки. Технология переработки в жидкое биотопливо становится более простой и эффективной, чем переработка любого наземного сырья;
- 4) Использование водорослей в качестве биотоплива не повлечет внесение изменений в Российское законодательство, как в случае с биоэтанолом;
- 5) Неприхотливость. Водоросли растут как в пресной, так и в соленой воде, в том числе и в промышленных стоках;
- 6) Водоросли можно выращивать промышленным способом в биореакторах или фотобиореакторах;
- 7) Водоросли являются источником масел, протеинов и углеводов;
- 8) Процесс выращивания микроводорослей не конкурирует с сельскохозяйственным производством, т.к. нет необходимости в плодородной почве и пресной воде;
- 9) Высокая производительность (до 100 т/га в год);
- 10) Растущие водоросли используют углекислый газ, обеспечивая снижение объемов парниковых газов в атмосфере;
- 11) Произведенное водорослями биомасло имеет молекулярную структуру, аналогичную нефти и нефтепродуктам и может использоваться для производства всего ассортимента топлива, включая бензин, дизельное топливо и топливо для реактивных двигателей.

Технологический процесс производства водорослей является практически безотходным. Сухие остатки могут быть использованы в качестве кормов для животных, кроме того возможно и дальнейшее превращение их в еще один вид энергоносителей – топливные брикеты.

По последним подсчетам производство биотоплива к 2030 году, может приблизиться к производству нефти. Основой этого производства может стать биомасса на основе водорослей. Сейчас же эту технология практически не используется или используется с малой эффективностью. Это объясняется высокой стоимостью установок для производства водорослей, и отсутствием развитой технологии получения массовой культуры водорослей. Основной задачей для начала использования водорослей как биотоплива является необходимость достижения значительной продуктивности биомассы водорослей, для покрытия капитальных и эксплуатационных затрат на производство. Но тем не менее все эти усилия по выполнению этой задачи оправданы и потенциал применения такой технологии огромен.

В настоящее время разрабатывает концепция и технологии получения биотоплива четвертого поколения, которое будет рентабельным и экологически чистым. Такое топливо должно быть получено путем моделирования организмов с использованием методов геной инженерии.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ СЛОЖНЫХ МНОГОЗОННЫХ ТЕПЛОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Тюрин И. В.*¹, Кузнецова М. С., Клементьев Д. С., Татаринцев А. Н.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

В промышленности достаточно широко используются различные многозонные тепловые аппараты с электрическим нагревом – печи, сушилки и др. Так, например, технология изготовления позисторов предусматривает термообработку заготовок электрорадиоэлементов в многозонной печи. При управлении режимами работы этих технологических установок жесткие требования предъявляются по обеспечению высокого качества продукции и экономии электроэнергии. Для решения задач оптимального управления функционированием печей требуется математические модели, адекватно описывающие протекающие в них динамические процессы. Так как многозонные аппараты являются тепловыми объектами с распределенными параметрами, то модель динамики должна отражать изменение температуры во времени в каждой точке внутреннего пространства такого теплового аппарата.

Для определенности в качестве объекта управления будем рассматривать m - зонную электрическую прецизионную печь. Каждая зона обогревается s электронагревательными элементами, а контроль температуры производится в средней части зоны. Через рабочее пространство печи движется транспортер с заготовками изделий, последовательно перемещая их через все зоны.

Модель в режиме стабилизации работы печи имеет следующую структуру:

1) изменение температуры в центре j -ой зоны печи описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений не выше третьего порядка

$$\dot{z}(j) = A_j z(j, t) + B_j u(j, t) + C_j z(j-1, t) + D_j z(j+1, t), \quad j = \overline{1, m}; \quad (1)$$

где $z(j, t) = (z_1(j, t), \dots, z_n(j, t))^T$ - вектор фазовых координат для значения пространственной координаты $x = x_j$ (центр j -й зоны); $u(j, t)$ - вектор управления для j -й зоны; t - время; A_j, B_j, C_j, D_j - матрицы параметров модели соответствующих размерностей;

2) температура $z_1(x, t)$ по длине печи l между центрами зон x_j и x_{j+1} изменяется по логистической функциональной зависимости

$$\forall(x) \in [x_j, x_{j+1}]: \quad z_1(x, t) = z_1(j, t) + f_j(x) \cdot (z_1(j+1, t) - z_1(j, t)),$$
$$f_j(x) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha_j x}}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где α_j - параметр сигмоидальной функции для участка печи $[x_j, x_{j+1}]$.

В режиме разогрева печи параметры моделей (1), (2) изменяются вследствие зависимости теплофизических свойств материалов от температуры, отдачи тепла в окружающую среду и других факторов. Для учета данного обстоятельства изменения $z(j, t)$ при разогреве описываются дифференциальными уравнениями с разрывной правой частью [1-2], т.е.

¹ Автор частично поддержан грантом РФФИ 14-08-00198

$$\dot{z}(j,t) = \begin{cases} A_{j1}z(j,t) + B_{j1}u(j,t) + C_{j1}z(j-1,t) + D_{j1}z(j+1,t), \\ \quad z_1(j,t) \in [z_1^0(j); z_1^{n_1}(j)], \\ A_{j2}z(j,t) + B_{j2}u(j,t) + C_{j2}z(j-1,t) + D_{j2}z(j+1,t), \\ \quad z_1(j,t) \in [z_1^{n_1}(j); z_1^{n_2}(j)], \\ \quad \dots \\ A_{jk}z(j,t) + B_{jk}u(j,t) + C_{jk}z(j-1,t) + D_{jk}z(j+1,t), \\ \quad z_1(j,t) \in [z_1^{nk-1}(j); z_1^k(j)], \end{cases} \quad (3)$$

$$j = \overline{1, m},$$

где $A_{jv}, B_{jv}, C_{jv}, D_{jv}$ - значения параметров для v -й стадии разогрева (в модели (1) $A_j = A_{jk}, B_j = B_{jk}$ и т.д.); $[z_1^{nv-1}(j), z_1^{nv}(j)]$ - температурный диапазон для v -й стадии.

Метод идентификации моделей (1) - (3) заключается в комбинированном использовании экспериментальных данных и результатов компьютерного моделирования. Основными этапами работ по идентификации являются следующие.

1. Идентификация модели (3) по измеренным значениям температуры $z_1(j,t)$ при разогреве печи в точках $x_j, j = \overline{1, m}$. В результате определяется число стадий k_j для всех зон печи, температуры переключения $z_1^{nv}(j)$ правых частей модели и оцениваются параметры $A_{jv}, B_{jv}, C_{jv}, D_{jv}, j = \overline{1, m}, v = \overline{1, k_j}$. Основными требованиями к модели (3) являются обеспечение задаваемой точности, размерность вектора z не должна превышать трех и минимальное число стадий.

2. Настройка программы компьютерного моделирования температурного поля печи. Для этого к замерам температуры в центрах зон $x_j, j = \overline{1, m}$ печи в режиме стабилизации проводятся измерения температуры в первой и последней зонах через участки длины $\Delta x \approx 0,1(x_{j+1} - x_j)$. По этим данным проверяется правильность задания необходимых параметров для решения задачи численного моделирования, например, с помощью программы ANSYS или подобных CAE-систем конечно-элементного анализа.

3. Проводится компьютерное моделирование изменения температуры по длине печи, и на основе полученных данных оцениваются параметры моделей (2).

Дополнительно можно имитировать отказы отдельных электронагревательных элементов и определять температуры в соответствующих точках. Это позволяет дополнительно к моделям (1) и (3) получать модели динамики в условиях отказавшего нагревательного элемента.

Достоинствами получаемой модели являются:

- пригодность для оперативного синтеза энергосберегающего управления;
- возможность проверки выполнения ограничений на скорость изменения температуры по длине печи, что необходимо для обеспечения высокого качества продукции;
- возможность решать задачи оптимального управления в случае отказа нагревательного элемента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Муромцев Ю.Л., Орлова Л.П., Муромцев Д.Ю. Идентификация моделей, учитывающих изменение состояний функционирования / Радиосистемы. Вып. 43.- Обработка сигналов и полей; 2000. №3, с.45-48.
2. Муромцев Д.Ю., Тюрин И.В. Энергосберегающее управление сложными объектами. // Промышленные АСУ и контроллеры. — 2005, № 11. — с. 24-28.

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Петров Т. И.

Казанский Государственный Энергетический Университет, г. Казань

В данной статье будут рассмотрены возможные области применения КНЭ (кинетических накопителей энергии), примерная оценка эффективности данных устройств с точки зрения экономической и технической части.

Не секрет, что флагманом в области хранения энергии является система АКБ (аккумуляторные батареи). Но у них есть свои недостатки. Поэтому постепенно развивается отрасль альтернативных способов запаса энергии. Одним из таких решений является КНЭ.

КНЭ - это, по сути, накопитель, сохраняющий энергию механически в виде энергии вращения массы. Состоит данное устройство из следующих частей: маховик, мотор – генератор, управляющий блок, корпус, подшипниковые узлы конструкции, опорная конструкция (Рис. 1.)



Основные элементы КНЭ.

Рис. 1. Примерное устройство накопителя

Плюсы КНЭ – решение проблемы:

Режим резервного источника питания – перебои в энергоснабжении.

Возможность перераспределения энергии по времени суток – отсутствие буферного накопления.

Исходя из плюсов накопителей, обозначим области, где КНЭ уже используются:

- 1) Источники бесперебойного питания
- 2) Комплекс по регулированию частоты тока
- 3) КНЭ для систем энергоснабжения городского транспорта, подъемно – транспортного оборудования

Рассмотрим области применения и эффективность КНЭ, как источника бесперебойного питания. Применяются подобные решения на объектах, где электроснабжение должно обладать максимальной надежностью (центры обработки и хранения данных, медицинские организации и т.д.). В России есть несколько объектов класса ТIER III или аналогичного по уровню надёжности, где установлены кинетические накопители зарубежного производства.

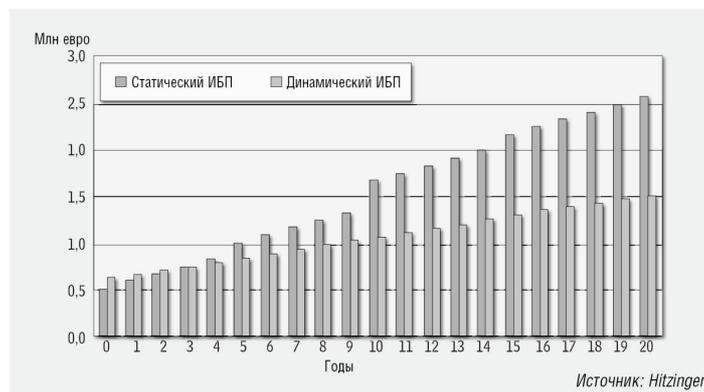


Рис. 2. Сравнение общих затрат АКБ и КНЭ

Аналитики Frost & Sullivan утверждают, что на крупных объектах, энергопотребление которых составляет более 1 МВт, операционные расходы в пересчете на 1 кВт при использовании статических ИБП (КНЭ) выше, чем при эксплуатации динамических ИБП (АКБ), но последние дороже. Специалисты компании Hitzinger (поставщика динамических ИБП), сравнивая два мегаваттных решения (статическое и динамическое), заключают, что их ТСО сравняются уже через три года эксплуатации, после чего суммы общих расходов будут все больше различаться, причем не в пользу статических ИБП [1].

Преимущества КНЭ, которые позволяют получить такие хорошие показатели по окупаемости:

- высокая надежность агрегата и несравнимо более длинный ресурс работы
- меньше расходов на эксплуатацию
- отсутствие специального помещения, и следовательно меньше занимаемая площадь.

Интересным применением кинетических накопителей является комплекс по регулированию частоты тока. На практике данная идея получила применение в виде регулирующей станции, состоящей из 200 КНЭ. Данное сооружение способно выдать в течение 15 минут 20 мегаватт мощности. Площадь данной станции составила 2000 кв.м.

Прибыль, в отечественном секторе электроэнергетики, данная технология может принести при использовании в качестве аккумулирующих мощностей для АЭС или ТЭС. Установка 500МВт аккумулирующих мощностей эквивалентна строительству нового блока АЭС в 1000МВт, а стоимость одного блока колеблется в диапазоне 1,5–1,6 млрд долларов США по данным Гендиректора концерна Росэнергоатом С.Обозова. Стоимость аккумуляторов оценивается на уровне 400-500 \$/кВт установленной мощности, и это при сроке монтажа не более 3–4 месяцев [2]. Также преимуществом данного использования КНЭ является повышение надежности, так как АЭС и ТЭС будут работать в нормальном режиме без резких изменений мощности.

Самым известным способом использования кинетических накопителей является применение в системе городского транспорта. Использование рекуперированной энергии для процесса накопления энергии в КНЭ выгодное, с экономической точки зрения, решение. Аналогично данное решение целесообразно и для подъемно-транспортного оборудования (по данным компании Vuson потребление электроэнергии снизится на 30-45%).

Таблица 1. Возможности использования КНЭ в системе транспорта

Место применения	Энергопотребление 10^9 , кВт*ч	Возможность рекуперации, %	Объем рынка, млн. долл.
Московское метро	14,8	25-30	65
Метро др. городов	6,2	25-30	42
РЖД	48,9	30-35	326
Трамвай, троллейбус	2,1	20-25	7
Итого	72	около 30%	503

Таким образом, были рассмотрены основные области применения КНЭ, примерно произведена экономическая оценка [3]. Но это не единственные сферы энергетики, где возможно применение кинетических накопителей, также стоит отметить такие возможные места применения:

- совместная работа с ВИЭ
- кратковременный источник энергии в статических ИБП
- использование в сетях с «запертой» мощностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барсков А. «Журнал сетевых решений/LAN», № 02, 2011.
2. С. Обозов, «От масштабов задач откровенно захватывает дух», Газета «Ведомости», 27.09.06
3. Гулиа Н.В. Удивительная механика – М.: НИЦ ЭНАС, 2006. – 140с.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

Бельский А. Н.

Томский техникум информационных технологий, г. Томск

Эффективная энергетика – это ключ к получению конкурентных преимуществ. И любые проекты в этой области являются экономически выгодными инвестициями в настоящее и будущее предприятия или организации. Одним из таких проектов является коммерческий учет электроэнергии на базе автоматизированной информационно-измерительной системы (АИИСКУЭ, АСКУЭ), который состоит из аппаратных и программных средств, обеспечивающих автоматический сбор, хранение данных коммерческого учёта потребления электроэнергии, контроль и обработку данных об энергетических потоках в электросетях.

АИИС КУЭ применяется на предприятиях-потребителях, в генерирующих, сетевых и энергосбытовых организациях и условно делится на нижний и верхний уровни. Информационно-коммуникационная среда и в нижнем и в верхнем уровне реализуется программными и аппаратными методами: кабельная и телефонная связь с коммутируемыми каналами, GPRS/GSM, волоконно-оптическая связь, радиосвязь, Интернет.

Нижний уровень – это оборудование и микропрограммы, которые работают на объекте учёта и представлены, соответственно, также двумя уровнями: «информационно-вычислительным комплексом электроустановки (ИВКЭ) и информационно-измерительным комплексом (ИИК)» [1].

Верхний уровень – это часть системы, которая расположена в центре обработки данных и в офисах контролирующей организации, представляющая собой программные и технические средства, объединенные общими задачами для сбора и обработки результатов измерений, диагностики средств измерений, а также обеспечения интерфейсов доступа к этой информации.

Обеспечение сетевой организации своевременной, полной и достоверной информацией об объемах поступившей и отпущенной электроэнергии, которая необходима для коммерческих расчетов, является целью создания АИИС КУЭ. К критериям достижения этой цели относится как повышение достоверности учёта электроэнергии, так и повышение оперативности получения данных, используемых для коммерческих расчетов на оптовом рынке электроэнергии Российской Федерации.

АИИС КУЭ может быть использована и для предотвращения конфликтов между энергосбытом и потребителем, так как информация, которая учитывается системой, имеет статус коммерческой, что позволяет использовать её для разрешения финансовых споров в суде.

Таким образом, крупным потребителям для автоматизированного учета электроэнергии, для облегчения снятия показаний с электросчётчиков учёта, для более легкого прогнозирования затрат на электроэнергию, контроля качества и возможности автоматической передачи данных, а также выхода на рынок электроэнергии единственно верным решением становится использование АИИС КУЭ.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.И. Чичёв, Е.И. Глинкин. Принципы автоматизации информационно-измерительной системы центра управления сетей региональной сетевой компании // Вестник ТГУ.- 2009. - Т.14. - вып.3. - С. 521-525

ГИБРИДНЫЕ СОЛНЕЧНО-ВЕТРОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Хузина Л. Н., Кудаярова А. А., Ялалетдинова Д. А.

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

На сегодняшний день альтернативная энергетика в России только начинает развиваться. Все чаще люди хотят использовать источники энергии, которые не вредят экологии, и при этом дают свет и тепло в любое время.

Солнечно-ветровая электростанция или гибридная - энергетически более выгодная система. Такое совмещение на несколько порядков увеличило надёжность станций в выработке бесперебойной электроэнергии. В пасмурную погоду или ночью, когда нет солнца, ветровые установки являются основными поставщиками электричества. В солнечную же погоду ветер стихает, при этом увеличивается выработка электроэнергии солнечной составляющей электростанции [1, 2].

Гибридная система, которая включает ветровые электростанции и солнечные батареи, позволяет получать электричество круглосуточно. Ветрогенератор является главным элементом, от которого заряжаются батареи. Чтобы работа такой ветроустановки была стабильной и эффективной, к ней добавлены солнечные панели, заряд от которых поступает на аккумуляторы.

Система рассчитывается на то, чтобы, при отсутствии одного или обоих энергетических источников, подача электричества не останавливалась. Когда нет ветра или солнца электричество подается от батарей аккумуляторов, а если заряд иссякнет,

осуществляется резервное подключение к генератору или центральному источнику. Тогда батареи снова берут заряд, а потребители получают электроэнергию [3].

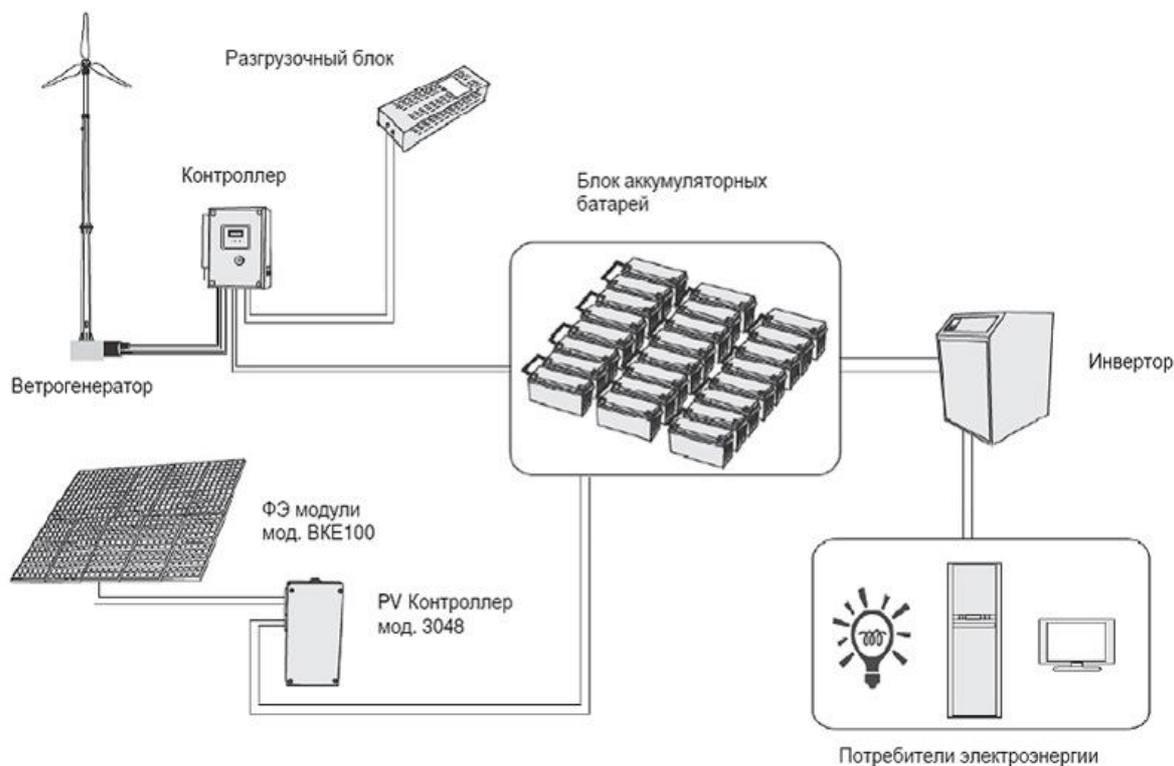


Рис 1. Структурная схема работы солнечно-ветровой системы

На рисунке представлена структурная схема работы солнечно-ветровой системы. Такая комбинированная система мощностью более 1 кВт имеет два управляющих контроллера – один для фотоэлектрических модулей, другой для ветрогенератора – являющихся самостоятельными электронными устройствами, а также один инвертор – чтобы получить переменный ток для блока аккумуляторных батарей. Устанавливается дополнительный контроллер-инвертор для защиты, в случае превышения нагрузки потребителей электроэнергии номинальной мощности системы, контроллер автоматически отключит систему. Перезапустить ее следует вручную, заранее выключив приборы, которые потребляют свыше номинальной мощности. Такая структура является основой для «бесперебойного» получения энергии солнца и ветра.

Зарядка аккумуляторных батарей и распределение энергии автоматически приспособливается под режим потребления электроэнергии. Если потребления нет, то вся энергия накапливается в аккумуляторных батареях. Однако после начала работы электроприборов, вся поступающая энергия будет первым делом направляться на использование ее потребителями, а не расходуемая часть энергии – на зарядку аккумуляторных батарей. Если же энергии будет не хватать, то аккумуляторные батареи восполнят необходимый баланс. Для защиты аккумуляторов от высокого напряжения применяется резистор, куда направляется остаток энергии [4].

При проектировании гибридных солнечно-ветровых установок необходимо учитывать потенциальную энергию, которую дают солнечные батареи и ветрогенераторы. В зависимости от условий климата одна часть электростанции будет основной, другая – вспомогательной. При монтаже может быть установлено несколько ветрогенераторов и фотоэлектрических модулей[1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтернативная энергия для дома и дачи [электронный ресурс]: информ. портал. Режим доступа: <http://mirenergii.ru>
2. Альтернативная энергия. Солнечная, ветровая, термальная, биологическая другие возобновляемые виды энергии [электронный ресурс]: информ. портал. – Режим доступа: <http://altenergiya.ru>
3. Альтернативная энергия. [электронный ресурс]: информ. портал. – Режим доступа: <http://www.windsolar diy.com>
4. Гибридные электростанции. Альтернативные виды энергии [электронный ресурс]: экспертный портал. – Режим доступа: http://www.306.ru/opros/v_5

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СТРУЙНОГО КОНВЕКТИВНОГО НАГРЕВА АЛЮМИНИЕВОГО РУЛОНА ГОРЯЧИМ ВОЗДУХОМ

Горшенин А. С., Дворникова Е. А.

Самарский государственный технический университет, г. Самара

При непрерывном литье алюминиевой ленты происходит образование неоднородной структуры металла, т.е. дендритной ликвации, появлению микропор, трещин [1]. Для устранения таких дефектов, ухудшающих качество слитков, проводят термическую обработку, одним из видов которой является отжиг. Исследование теплообмена при отжиге круглых алюминиевых слитков подробно описано в [2,3]. Помимо круглых слитков в качестве алюминиевого полуфабриката используется также лента, которую также подвергают отжигу. В связи с этим возникает необходимость подробно изучить теплообмен при термообработке алюминиевой ленты. Для исследования процесса теплообмена прежде всего необходимо получить математическую модель теплообмена между алюминиевым рулоном и горячим воздухом.

Сформулируем физическую постановку задачи теплообмена в системе горячей воздух – алюминиевый рулон.

В печи происходит термическая обработка садки - алюминиевой ленты, скрученной в рулон, из литейной машины. Термическая обработка – нагрев для отжига (гомогенизации), температура процесса - 600°C . Подвод теплоты происходит струями горячего воздуха в два боковых торца рулона. Следствием данной физической постановки задачи являются следующие допущения:

1. на торцах рулона происходит равномерный нагрев конвекцией,
2. нагрев листов рулона происходит теплопроводностью вдоль оси рулона,
3. передача теплоты происходит вдоль рулона, по радиусу рулона теплота не передается из – за термических сопротивлений.

Сформулируем математическую постановку задачи.

Лист рулона можно представить пластиной в прямоугольных координатах. Примем следующие условные обозначения: t_B - температура горячего воздуха, $^{\circ}\text{C}$, t - температура алюминиевого листа, $^{\circ}\text{C}$, τ - время нагрева, $ч$, l - ширина рулона, $м$. Лист омывается горячим воздухом с температурой $t_B, ^{\circ}\text{C}$ с постоянной скоростью $W, м/с$. Теплота q равномерно подводится по всему торцу листа. В процессе нагрева температура листа алюминия изменяется от начальной t_0 до конечной температуры t .

Расчетная схема теплообмена к постановке задачи теплообмена в системе горячей воздух – алюминиевый рулон представлена на рис. 1.

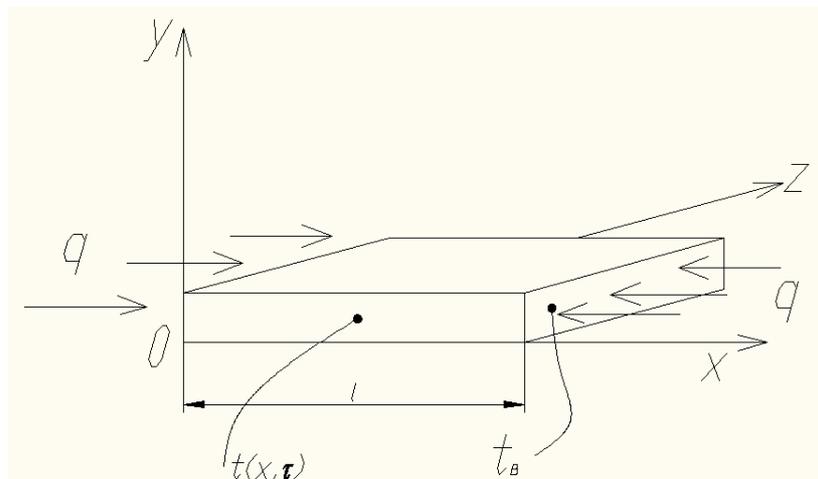


Рис. 1. Расчетная схема теплообмена к постановке задачи в системе горячий воздух – алюминиевый рулон

Анализ расчетной схемы показывает, что температура листа изменяется только по координате X . Так как горячий воздух равномерно омывает торцы листа, изменения температуры по координате Z нет, т.е. $t \neq f(Z)$. По координате Y изменения температуры так же нет $t \neq f(Y)$, так как тело термически тонкое. Таким образом, температура листа изменяется только по оси рулона $t = f(X)$. Нагрев рулона нестационарный, т.е. $t = f(X, \tau)$. Нагрев происходит горячим воздухом с постоянной температурой $t_B = const$.

В начальный момент времени нагрева $\tau = 0$ температура рулона t , являющаяся функцией координаты X и времени нагрева τ , принимает значение t_0 , $t = f(X, \tau) = f(X) = t_0$.

Все это позволяет сформулировать постановку задачи теплообмена в системе горячий воздух – алюминиевый рулон. Постановка задачи включает описание процесса, расчетную схему теплообмена (рис. 1), дифференциальное уравнение теплопроводности, начальные и граничные (1) условия:

$$\begin{cases} \frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \\ t|_{x=0} = t_B \\ t|_{x=l} = t_B \\ t|_{\tau=0} = t_0 \end{cases} \quad (1)$$

Для более компактной записи, удобной для дальнейшего математического анализа, перейдем к безразмерным переменным. В данном случае в процессе нагрева переменными величинами являются время τ , координата X , температура алюминиевого листа t . Безразмерной переменной, характеризующей время нагрева, является критерий Фурье $Fo = \frac{a \cdot \tau}{l^2}$, где a - коэффициент температуропроводности; τ - время нагрева, ч; l - ширина рулона, м. Безразмерная координата запишется

выражением $\bar{x} = \frac{x}{l}$, где x - продольная координата. Температуру в безразмерном виде запишем как $T = \frac{t_B - t}{t_B - t_0}$.

Проведенные преобразования позволяют записать постановку задачи нагрева алюминиевой пластины в безразмерной форме

$$\begin{cases} \frac{\partial T(\bar{x}, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 T(\bar{x}, Fo)}{\partial \bar{x}^2} \\ T|_{\bar{x}=0} = 0 \\ T|_{\bar{x}=1} = 0 \\ T|_{Fo=0} = 1 \end{cases} \quad (2)$$

Поскольку поставленная задача имеет нулевые, т.е. однородные граничные условия, это позволяет использовать для ее решения метод Фурье. Используя данный метод, проведя математические преобразования, окончательно решение задачи прогрева алюминиевого листа имеет вид

$$t = t_B - (t_B - t_0) 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos k\pi)}{k\pi} \sin(k\pi \bar{x}) \exp^{-(k\pi)^2 Fo}, \quad (3)$$

где $k = 1, 5, 9, \dots, \infty$, \bar{x} - безразмерная ширина рулона.

Полученная математическая модель в системе горячий воздух – алюминиевый рулон позволяет исследовать теплообмен при нагреве ленты при термообработке. Исследование проводилось для всего диапазона ширины рулона, предусмотренного ГОСТ 13726-97 от 0,5 до 2,0 м. В процессе исследования задавались промежутки времени и определялось изменение температуры по ширине рулона. Результаты исследования для рулонов шириной 0,5 и 2,0 приведены на рис. 2, 3.

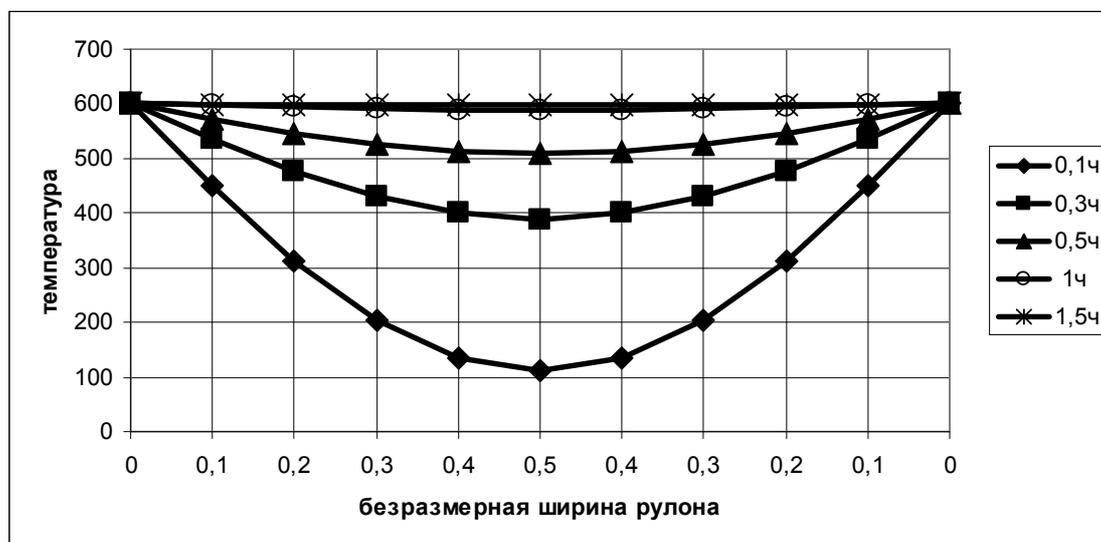


Рис. 2. Изменение температуры рулона шириной 0,5 м при нагреве горячим воздухом

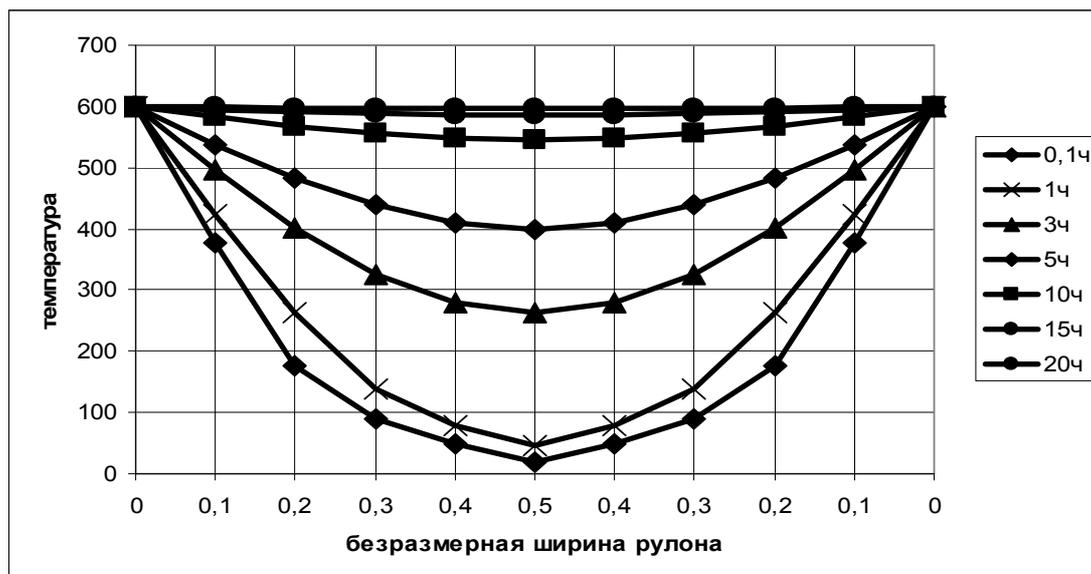


Рис.3. Изменение температуры рулона шириной 2,0 м при нагреве горячим воздухом

ЛИТЕРАТУРА

1. Одинцов М.В. Анализ процесса литья алюминия в кристаллизаторе с подвижным дном [Текст]/ М.В. Одинцов // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы междунар. заоч. Науч. конф. (г. Санкт-Петербург, март 2011 г.)/ Под общ. Ред. Г.Д. Ахметовой.- СПб.: Реноме, 2011.- с.126-129.
2. Горшенин, А.С. Совершенствование процесса охлаждения алюминиевых слитков воздухом на основе моделирования регулируемого конвективного теплообмена [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.14.04 : защищена 07.11.2013 : утв. 11.03.2014 / Горшенин Андрей Сергеевич. – С., 2013. – 151 с.
3. Горшенин А.С. Математическое моделирование теплообмена при охлаждении ряда алюминиевых слитков [Текст] / А.С. Горшенин // Вестник СГАУ. – 2012. - № 2(33). – С. 179 – 183. - ISSN 1998-6629.

ВНЕДРЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ СЕКТОРЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Чиж Е. П., Самосюк Н. А.

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь, г. Минск

С каждым годом увеличиваются расходы на электричество, отопление, воду и другие ресурсы. В связи с этим проблема энергосбережения становится все более актуальной. Во всем мире ведется поиск путей уменьшения энергопотребления за счет его рационального использования. Республика Беларусь то же не исключение. С 2011 года в стране действует Республиканская программа энергосбережения на 2011–2015 годы (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 24 декабря 2010 г. № 1882), основной задачей которой является снижение энергоемкости ВВП Республики Беларусь на 50 процентов к уровню 2005 года и увеличение доли местных топливно-энергетических ресурсов в балансе котельно-печного топлива до 28 процентов с учетом соблюдения экологических требований, социальных стандартов и обеспечения индикаторов энергетической безопасности.

Повышение энергоэффективности будет обеспечено в первую очередь за счет внедрения новых энергосберегающих технологий во всех секторах экономики и отдельных технологических процессах. Мероприятия по повышению энергоэффективности, проводимые в жилищно-коммунальном секторе, обладают наибольшим потенциалом.

В жилищно-коммунальном секторе повышение энергоэффективности может быть достигнуто путем: оснащения водозаборов современным энергоэффективным насосным оборудованием с автоматизированными системами управления и создания проектов жилых, административных и общественных зданий с половым отоплением на базе использования низкопотенциальной теплоты, проведением тепловой реабилитации зданий и термомодернизации жилых домов в целях доведения удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию не более 60 кВт·ч/кв.м в год после капитального ремонта и реконструкции зданий; обеспечение массового внедрения индивидуальных устройств автоматизированного регулирования и учета тепловой энергии в квартирах; внедрение при строительстве и реконструкции жилых зданий энергоэффективных инженерных решений. Одновременно должна быть проведена реконструкция и модернизация котельных, направленная на глубокую утилизацию теплоты дымовых газов и теплоты конденсации водяных паров дымовых газов. Это может быть обеспечено за счет ввода электрогенерирующего оборудования в котельных. В отдельных случаях целесообразно создание мини-ТЭЦ на местных видах топлива, создание биогазовых установок на очистных сооружениях и когенерационных установок с использованием коммунальных отходов. Предусматривается проведение модернизации тепловых сетей, оптимизации схем теплоснабжения, децентрализации теплоснабжения с ликвидацией длинных теплотрасс. Необходимо увеличение использования низкопотенциальной теплоты на базе тепловых насосов. Особое внимание следует уделить внедрению энергоэкономичных осветительных устройств и автоматических систем управления освещением. Проведение оптимизации режимов водоснабжения городов и поселков в целях снижения потребления электроэнергии. Для повышения значимости энергосбережения и пропаганды знаний среди населения необходимо активное вовлечение граждан в процесс энергосбережения, что позволит повысить энергоэффективность использования топливно-энергетических ресурсов в жилом комплексе. Все указанные мероприятия позволят снизить к 2020 году удельный расход топлива на производство теплоэнергии на 5 процентов.

Современные энергосберегающие технологии чаще всего основываются на использовании возобновляемых источников энергии. Для того, чтобы получать энергию из природных источников, необходимо специальное оборудование. Это могут быть солнечные панели, ветроустановки, тепловые насосы – любые установки для сохранения и преобразования энергии, которые позволяют хранить и использовать в дальнейшем накопленную энергию. Несмотря на достаточно высокую стоимость, такие решения позволяют действительно обеспечивать сбережение энергии.

К 2020 г. предполагается возведение жилья в стране в энергоэффективном режиме. В настоящее время известны следующие технические решения, обеспечивающие снижение потребления тепловой энергии при эксплуатации зданий:

- 1) снижение потерь тепла:
 - через ограждающие конструкции здания путем использования архитектурных решений;
 - через непрозрачные ограждающие конструкции здания;
 - через оконные конструкции;

- с воздухообменом путем перехода к системам управляемой приточно-вытяжной вентиляции с механическим побуждением и рекуперацией тепла вентиляционных выбросов;

- при доставке потребителю путем использования индивидуальных источников теплоты в каждом здании;

2) снижение затрат тепловой энергии:

- на горячее водоснабжение путем использования системы утилизации тепла сточных вод;

- путем использования гелиоводонагревателей;

- путем использования тепловых насосов.

При строительстве энергоэффективного жилья экономия электроэнергии может быть достигнута за счет использования солнечных панелей (батарей); экономия тепла за счет теплоизоляции (каменная вата, термшубы и т.д.) и тепловых насосов (грунтовый тепловой насос скважинного типа, грунтовый тепловой насос горизонтального типа, тепловой насос воздушного типа, тепловой насос водного типа). Повышение экологической безопасности может быть достигнуто при внедрении новых систем вентиляции и рекуперации, которые позволяют сохранить до 25 % тепла.

Наиболее эффективной разработкой для получения ресурсов из окружающей среды является тепловой насос скважинного типа. В качестве источников тепла могут использоваться грунт, скважины или водоемы, также могут использоваться и грунтовые воды, однако в этом случае требуется установка промежуточного теплообменника.

Основные преимущества тепловых насосов: экономичность, доступность и повсеместность, экологичность, универсальность, безопасность. Система отопления, с применением теплового насоса, абсолютно взрыво и пожаробезопасна, не требует специального обслуживания, проста в управлении. Экологически чистый метод отопления и кондиционирования, отсутствуют выбросы CO₂, NO_x и других продуктов горения. Использование теплового насоса не зависит от поставок и цен на газообразное и жидкое топливо. Высокая эффективность насоса достигается за счет его высокого КПД, что обеспечивает получение на 1 кВт электрической энергии и 3-5 кВт мощности тепловой энергии. Максимально стабильные характеристики (тепловая мощность, КПД) не зависят от погоды и времени года (температура грунта в скважинах постоянна).

Конструкционные особенности теплового насоса:

1) данные установки оправдывают себя только в хорошо утепленных зданиях, которые имеют теплопотери не более 100 Вт/кв.м;

2) чем меньше разница температур теплоносителей во входном и выходном контурах, тем больше коэффициент преобразования тепла;

3) для достижения большей выгода практикуется использование тепловых насосов в паре с дополнительным генератором тепла.

Спектр использования тепловых насосов довольно таки широк, к примеру:

- для индивидуального жилья;

- для офисных, производственных, складских помещений;

- для многоквартирного жилья и санаторно-гостиничных комплексов;

- для технологических процессов;

- для кафе, аптек, АЗС, телефонных подстанций;

- в сельском хозяйстве.

Тепловой насос во многих развитых странах мира уже в ближайшее десятилетие станет доминирующим фактором не только загородных, но и городских жилищных

комплексов. Например, в США и Норвегии на законодательном уровне стимулируют как бизнес так и население использовать тепловой насос в административных и жилых помещениях. В Российской Федерации есть опыт использования теплового насоса для теплоснабжения школы в Ярославской области д. Филиппово.

В Республике Беларусь в деревне Гонолес Минского района построен первый энергоэффективный дом общей площадью 189,6 кв. м., который способен не только сберегать энергию, но и производить ее на продажу. В этом доме используется тепловой насос скважинного типа, который позволяет получать энергетические ресурсы из окружающей среды.

Помимо теплового насоса в доме также используется солнечная батарея 5 кВт, которая установлена на крыше, она вырабатывает 5000 кВт*ч бесплатной электроэнергии в год. «Лишняя» электроэнергия подается в общую энергосеть по повышенному тарифу.

Сократить энергопотери в доме помогают утепление деревянной каркасной конструкции каменной ватой, установка двухкамерных стеклопакетов, покрытых специальной пленкой, которая пропускает ультрафиолет и отражает инфракрасное излучение, и двери, выполненные из специальных теплоизоляционных материалов.

Еще одна обязательная особенность дома — наличие системы вентиляции и рекуперации. Кроме экономии электроэнергии, данная система создает в помещениях естественный воздухообмен.

Использование современных энергоэффективных технологий позволяет потребителям значительно снизить затраты на коммунальные услуги за счет уменьшения потребляемых ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М, Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания, Москва, АВОК-ПРЕСС, 2003
2. Республиканская программа энергосбережения на 2011–2015 годы (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 24 декабря 2010 г. № 1882)
3. <http://www.energodom.by/>

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕТЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ADDAX

Кожевникова К.В.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

На рынке электроэнергии производители и потребители взаимосвязаны между собой. Они связаны не только потоками произведенной энергии, но и инвестициями. Инвестиции же необходимы для преобразования, производства, транспортировки и потребления энергии.

От правильности инвестиционных решений зависит непрерывность поставки энергии, цена, надежность, сроки поставки, что на любом уровне (регион, страна, город, компания) считается энергетической безопасностью. Если же инвестиционные решения неверны, это наоборот представляет собой основной риск для безопасности энергоснабжения.

С данной точки зрения верная энергетическая политика — это политика в помощь становления раскрытого и конкурентноспособного энергетического рынка, который обеспечивал бы ясные рыночные сигналы для принятия верных заключений.

Главным инструментом уменьшения рисков поставки считается диверсификация энергоснабжения, которая дает потребителям вероятность выбора поставщиков.

В настоящее время рынок электроэнергии почти полностью под контролем естественной монополии. Владельцы распределительных сетей закупают у производителей энергоресурсы и перепродают их потребителям в розницу, за счет выгодной ценовой политики они покрывают свои издержки (рисунок 1). При таких условиях нет гарантий регулярности поставок. Так же динамика по снижению цен на ресурсы и улучшению их качества незначительны.



Рис. 1. Традиционный рынок энергоресурсов

Рынок подвергается реструктуризации или же дерегулированию для увеличения энергетической защищенности.

Дерегулирование – это процесс отказа от системы государственного регулирования экономики, означает усиление роли частного предпринимательства в соотношении с ролью государственного хозяйствования. То есть это передача части функций монополиста сторонним компаниям, вследствие чего появляется конкуренция и придает рынку выгодную для потребителя динамику (рисунок 2).

У потребителя есть возможность самому выбрать наиболее прибыльный и надежный «путь» доставки ресурса.

Любой владельцы сети распределения предлагает розничным торговцам услуги по доставке энергоресурсов потребителям. И у него есть права выбора компании, которая предоставляет наиболее выгодные условия.

Дальнейшее дерегулирование рынка может проводиться в направлении передачи прав на техническое обслуживание сети распределения и потребительского оборудования независимым сервисным компаниям.

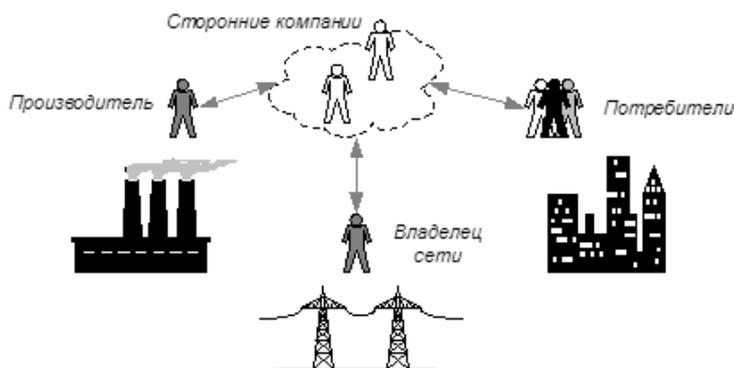


Рис. 2. Дерегулированный рынок энергоресурсов

Анализ архивных и оперативных данных позволяет быстро реагировать на рыночные сигналы, принимать обоснованные решения и выявлять актуальные тенденции. Одной из ключевых и весомых особенностей дерегулированного рынка становится его информационная доступность.

Основным требованием к системе считается обеспечение доступа к данным одновременно для произвольного числа компаний-клиентов. Система должна быть открыта по отношению к клиентским программным продуктам прикладного уровня.

АИИС КУЭ Smart IMS — это информационно-управляющая система на базе комплекса программно-аппаратных продуктов по технологии ADDAX. Данная система предназначена для решения широкого круга задач:

- дистанционное управление потреблением электроэнергии;
- программное управление потреблением электроэнергии;
- дистанционный учет потребления различных видов ресурсов;
- управление уличным освещением.

Система является программно-аппаратным продуктом, выполненным по технологии ADDAX.

Преимущество системы заключается в том, что она может обслуживать информацией энергетический рынок больших масштабов и сложности.

Система SIMS обладает рядом преимуществ:

- доступностью Системы для клиентских приложений;
- способностью Системы интегрировать приборы учёта и иные исполнительные устройства различных производителей;
- небольшими финансовыми вложениями, связанными с эксплуатацией PLC в качестве канала связи.

В системе ADDAX используется система управления сетями электроэнергии – Smart Light. Система Smart Light оптимизирует затраты на потребление электроэнергии бытовыми и промышленными электрическими приборами.

Контроллеры LCU – это программируемые устройства, которые выполняют основные функции:

- управление нагрузкой по заданному суточному графику;
- учёт потребляемого электричества, подсчёт совместного времени работы, контроль состояния нагрузки, ведение архива данных;
- обмен данными с Центром, синхронизация часов с календарным временем Центра;
- самодиагностика и ведение архива мероприятий.

База SMART IMS дает возможность для решения новой задачи, такой как управление уличным освещением. В настоящее время это две системы:

- массовое управление светильниками с поддержкой контроллера SSC;
- персональное управление светильниками с поддержкой контроллеров LCU.

Не считая управления, системы делают ряд контрольных функций, позволяющих вовремя получать информацию о техническом состоянии сети освещения. Вероятна как раздельная, так и совместная эксплуатация обеих систем.

Таким образом, при установке данной системы появляется доступность для клиентских приложений, доступная цена и управление уличным освещением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология ADDAX для AMR систем. Система управления нагрузкой Smart Light. Техническое описание и руководство по эксплуатации. ADDM.410061.501

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ «ПАССИВНЫХ» ДОМОВ

Коробовцев Д. С., Рахимова Ю. И.

Самарский государственный технический университет, г. Самара

В последнее время на самых разных уровнях поднимается вопрос о строительстве быстровозводимых, современных, экологически чистых и энергоэффективных жилых домов. Большинство регионов Российской Федерации характеризуются суровыми климатическими условиями. В Российском жилье для обеспечения комфортного теплового режима нужно затратить при прочих равных условиях тепловой энергии существенно (в 2...2,5 раза) больше, чем в Европейских странах, США, Японии.

Концепция пассивного дома для условий России состоит из системы взаимосвязанных технических решений в области строительства, тепло- и электроснабжения, водоснабжения и канализации, позволяющих достичь требуемого уровня бытового комфорта при минимальной нагрузке на окружающую среду и достаточно низком уровне капитальных затрат.

Дом должен располагаться в низине и быть ориентировано на юг. Тогда ветер не будет выхолаживать дом, а это приведет к сокращению расходов на отопления. А зимой, за счет того, что солнце находится ниже над горизонтом, лучи будут попадать на окна под более благоприятным углом, и в дом будет проникать максимальное количество света.

Пассивный дом должен иметь эффективную теплоизоляцию всех ограждающих поверхностей – не только стен, но и пола, потолка, чердака, подвала и фундамента. Необходимо сформировать несколько слоёв теплоизоляции – внутреннюю и внешнюю.

Для эффективного использования солнечной энергии необходимо соблюдение следующих условий:

- при остеклении применяются высококачественные материалы, обеспечивающие высокую пропускную способность солнечной энергии и низкий коэффициент теплопередачи;
- другие потери по периметру окна должны быть незначительными;
- должно быть обеспечено максимально возможное тепlopоступление от использования солнечной энергии через прозрачные поверхности.

Выгоднее всего произвести установку пластиковых стеклопакетов.

Как правило, в домах используется естественная вентиляция воздуха, которая обеспечивается вертикальными каналами, которые начинаются в вентилируемом помещении и заканчиваются на крыше дома. Но часто естественной циркуляции недостаточно, и приходится прибегать к принудительной циркуляции воздуха, а именно установке вентиляторов в вентиляционных каналах и установке принудительных притоков с всасывающими вентиляторами. В последнее время очень популярными стали приточно-вытяжные установки с рекуперацией энергии. Это объясняется тем, что при поступлении в дом свежего приточного воздуха в холодный период года мы тратим огромное количество тепловой энергии на его подогрев. Системы с рекуперацией позволяют экономить около 50 % тепла за счет частичного нагрева приточного (холодного) воздуха вытяжным (теплым).

При строительстве пассивных домов следует использовать возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Приведем несколько примеров применения ВЭУ:

- солнечные коллекторы для подогрева воды в плавательном бассейне, снабжения душа и других нужд;

- солнечные фотоэлектрические преобразователи для постоянного энергоснабжения освещения придомовой территории, снабжения энергией дежурного освещения придомовой территории, снабжения энергией дежурного освещения и критических электропотребителей (автоматика газового котла);

- ветроэнергетические установки для отработки конструкций и производства электроэнергии для осветительных и нагревательных приборов;

- ветронасос для отработки конструкций и перекачки поливочной воды.

Здания будущего и настоящего должны демонстрировать рациональный подход к использованию энергетических ресурсов и бережное отношение к окружающей среде, при этом сохраняя комфорт пребывания человека в нем. Такой комплекс мероприятий при строительстве пассивных домов обеспечивает максимальное сбережение энергии, а следовательно и эксплуатационных затрат.

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ В ДВУХКОНТУРНЫХ ГЕЛИОСИСТЕМАХ

Тюрин И. В.², Кузнецова М. С., Клементьев Д. С., Татаринцев А. Н.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

Использование возобновляемых источников энергии позволяет повысить экологичность и экономичность оборудования и соответствует концепции «бережливого производства». В последние годы достаточно широкое распространение стали получать солнечные водонагревательные установки, используемые для систем теплоснабжения жилых и промышленных зданий. Для круглогодичного использования в условиях климата средней полосы России наиболее пригодны двухконтурные установки, первый контур которых образуют солнечный коллектор и теплообменник с насосом и расширительным баком, а второй контур – бак-аккумулятор, теплообменник и дополнительный источник энергии (ДИЭ), представляющий собой электрический или газовый котел. ДИЭ предназначен для доведения температуры горячей воды до требуемого значения, когда необходимая для нагрева воды солнечная энергия отсутствует (ночные часы), ее недостаточно (осенне-зимний период или холодная пасмурная погода), а также в случае необходимости быстрого нагрева воды до заданной температуры и др.

При традиционном проектировании двухконтурных гелиосистем проблема повышения энергетической эффективности ДИЭ не рассматривается, хотя доля его работы в общем времени работы солнечной водонагревательной установки существенна, а ДИЭ представляет собой, по сути, весьма энергоемкий объект. Известно, что важным резервом снижения энергопотребления тепловых объектов является оптимальное управление их динамическими режимами с учетом изменяющихся состояний функционирования. Так, теоретические исследования показывают, что для отдельных объектов при оптимальном управлении уменьшение затрат энергии или расхода топлива составляет до 15-20% в зависимости от специфики функционирования объекта, определяемой, в первую очередь, долей динамических режимов в общем времени его работы (при условии, что используются алгоритмы оперативного синтеза оптимального управления, реализуемые на базе относительно простых и недорогих микроконтроллеров). Эффект энергосбережения достигается за

² Автор частично поддержан грантом РФФИ 14-08-00198

счет оптимального управления динамическими режимами при нагреве, достижения требуемой температуры точно в назначенное время (что исключает потери «заблаговременного» нагрева), устранения отклонений регулируемой величины от заданного значения с минимумом затрат энергии и использования резервов своевременного отключения энергоносителей (например, за счет остаточного тепла разогретого электронагревателя).

Фрагмент анализа энергосберегающего управления покажем на примере стального одноконтурного котла СТС-Elkasset, предназначенного как для отопления небольших помещений (до 100 м²), так и в качестве ДИЭ в составе двухконтурных солнечных водонагревательных установок. Конструктивно котел представляет собой закрытую емкость с группой электрических ТЭНов, позволяющих увеличивать мощность ступенями по 3кВт. Максимальная мощность составляет 12 кВт, напряжение сети трехфазное 380 В с промышленной частотой 50 Гц, объем котловой рубашки 3 л. Электрический котел монтируется в закрытую систему с принудительной циркуляцией теплоносителя (объем бака-аккумулятора 400 л.).

Динамический режим, связанный с разогревом воды до температуры 55°C, составляет значительную долю времени при эксплуатации котла. Структура общей модели динамики представляет собой дифференциальное уравнение с разрывной правой частью. Для определения видов частных моделей, числа зон и оценки параметров проведена серия экспериментов. Нагрев до 55°C продолжался в течение 4 часов. Обработка результатов эксперимента, идентификация модели динамики, анализ и синтез оптимального управления осуществлялся с использованием многофункциональной информационно-инструментальной среды проектировщика энергосберегающих систем управления [1, 2], информационное обеспечение которой составляет гибридная экспертная система энергосберегающего управления, а программное обеспечение представлено пакетом программных модулей, в том числе для решения комплексов задач идентификации модели объекта управления, анализа и синтеза оптимального управления.

В результате решения задачи идентификации выделено две стадии и получена модель вида двойной интегратор (ДИ) для первой стадии и аperiodическое звено для второй стадии (А), т.е. ДИ+А:

$$\dot{z} = \begin{cases} A_1 z(t) + B_1(u)u(t), & z = (z_1, z_2)^T, \quad z_1 \in [12; 36 \text{ }^\circ\text{C}] \\ a_2(u)z(t) + b_2(u)u(t), & z \in [36; 55 \text{ }^\circ\text{C}] \end{cases},$$

$$A_1 = \begin{pmatrix} 0 & a_1(u) \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad B_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ b_1(u) \end{pmatrix},$$

где a_1, a_2, b_1, b_2 – значения параметров модели, зависящие от величины управления u (числа включенных ТЭНов).

При всех включенных нагревателях параметры модели соответственно равны: $a_1 = 1; b_1 = 0,029; a_2 = 0,629; b_2 = 0,1$. Полученная модель динамики характеризуется следующими значениями абсолютных погрешностей: для первой стадии $\Delta z = 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$, а для второй – $\Delta z = 1,1 \text{ }^\circ\text{C}$. При использовании программной стратегии оптимальное управление состоит из двух частей и в общем виде записывается как

$$u^*(\cdot) = (u_1^*(t), t \in [t_0, t_{п1}(z = 36)]; u_2^*(t), t \in [t_{п1}, t_k(z = 55)]),$$

где t_0, t_k – начальный и конечный моменты времени, $t_{п1}(z)$ – момент времени перехода из первой зоны во вторую.

Термограммы нагрева при всех включенных ТЭНах и оптимальном управлении приведены на рис. 1.

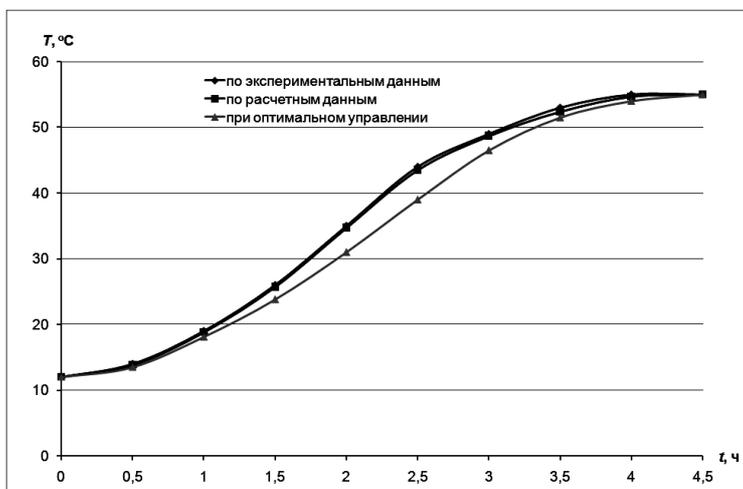


Рис. 1. Термограммы при традиционном и оптимальном управлении

Важной задачей исследования было определение возможности экономии энергии при разогреве за счет увеличения времени t_k . Для этого выполнены расчеты оптимального управления при $t_k=4,5$ ч., 5 ч. и 5,5 ч. (при традиционном нагреве $t_k=4$ ч.).

В результате получены зависимости экономии затрат электроэнергии при увеличении t_k (см. рис. 2), как в целом для всех стадий, так и отдельно по стадиям. Значения функционалов, характеризующих затраты энергии на нагрев по стадиям при оптимальном управлении, равны $I_1^* = 75619$, $I_2^* = 329671$. Сравнение I_i^* со значениями I_i при традиционном нагреве, показывает, что

$$\frac{I_1^*}{I_1} 100\% = 26,2\%, \quad \frac{I_2^*}{I_2} 100\% = 114\%.$$

Из рис. 2 видно, что эффект энергосбережения достигается за счет перераспределения временных интервалов между стадиями.

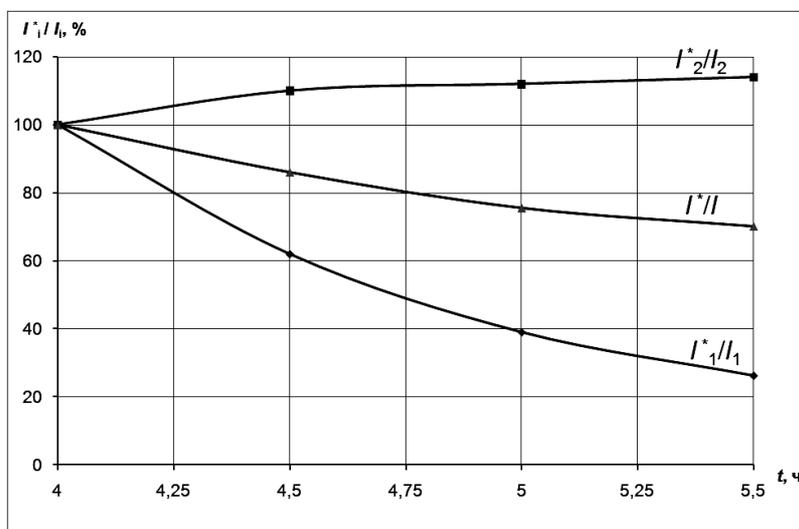


Рис. 2. Изменение энергетического функционала при увеличении t_k

Как видно из полученных результатов, эффект экономии достигается в основном за счет первой стадии. Некоторое ухудшение функционала во второй стадии объясняется снижением скорости изменения температуры на границе первой и второй зон (при $T=36,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) по сравнению с традиционным нагревом при $U=380\text{ В}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Муромцев Ю.Л., Тюрин И.В. Информационно-инструментальная среда разработки алгоритмического обеспечения систем энергосберегающего управления промышленными объектами. // Проблемы управления. 2007. № 5.
2. Муромцев Д.Ю., Тюрин И.В., Белоусов О.А., Гребенников Р.В. Информационная среда проектирования систем ресурсосберегающего управления промышленным оборудованием. // Программные продукты и системы. 2009. № 4.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУСТОРОННЕГО МЕТОДА РАСЧЁТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НАПРЯЖЕНИЕМ 220 КВ

Лебедева А. А.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Магистральные воздушные линии (далее ВЛ) напряжением 220 кВ используются для передачи электроэнергии между мощными электростанциями, а также являются связующим элементом между электростанциями и распределительными пунктами. Сети напряжением 220 кВ выполняются с глухозаземлённой нейтралью. В таких сетях применяется нулевой рабочий проводник, связанный с нейтралью трансформатора или генератора.

В отличие от кабельных линий, ВЛ больше подвержены воздействию таких факторов, как ветер, изменение температуры окружающей среды, гроза, гололёдные образования на проводах. Несмотря на существенное повышение надёжности конструкций воздушных линий, сооружаемых в настоящее время, повреждения неизбежны. Аварийные и ненормальные режимы работы ВЛ приводят к повреждению изоляции проводов, разрушению изоляторов, недоотпуску электрической энергии, а также к сбою работы в энергосистеме. Это влечёт за собой существенные материальные затраты не только на ремонт повреждённых участков, но и на возмещение ущерба потребителям [5].

Большой экономический эффект несёт быстрое и точное определение места повреждения (далее ОМП) ВЛ. Протяжённость линий электропередач (далее ЛЭП) может достигать нескольких сотен километров, некоторые участки могут проходить через болотистую местность или реку. Это усложняет поиск участка линии, на котором произошла авария. Качественный расчёт ОМП позволит сократить время отыскания аварии в несколько раз.

Расчёт ОМП осуществляется на основе показаний специальных приборов измеряющих параметры аварийного режима. Широко используются такие приборы как ФИП1, ФИП2, ЛИФП. Установленный на подстанции прибор в момент аварии фиксирует значения токов и напряжений нулевой последовательности. Дежурный персонал снимает показания с прибора и передает информацию для дальнейшей обработки. Расчёт может быть как односторонний, так и двусторонний, и производится с помощью специальных программ. Как показывает практика, достоверность показаний

данных приборов не достаточно высокая и не всегда позволяет определить место аварии. Так, например, при редко встречающихся междуфазных замыканиях токи нулевой последовательности отсутствуют, соответственно данный прибор оказывается малоэффективным [3].

Не менее распространенный способ фиксации показаний при аварии – использование регистратора аварийных событий или цифрового осциллографа. Цифровой осциллограф предназначен для регистрации переходных и аварийных процессов в цепях переменного и постоянного тока в электрической части промышленных предприятий с помощью унифицированного микропроцессорного терминала присоединения с компоуемым функциональным составом, а также аналоговых, дискретных и цифровых каналов. Осциллограммы, записанные прибором, считываются, обрабатываются и анализируются с помощью программного обеспечения либо на персональном компьютере. По данной осциллограмме можно определить вид короткого замыкания, а также извлечь данные, необходимые для расчёта. Помимо этого, данное оборудование автоматически выдаёт точку аварии. Однако, для обеспечения качественного ОМП, необходим уточняющий расчёт [1].

Недостатком существующих методов расчёта ОМП является ограниченность информации – учёт параметров лишь одной отдельно взятой ЛЭП. Целью данной работы является разработка метода расчёта ОМП с учётом параметров смежных линий и подстанций. А также исследование влияния на качество расчёта место установки фиксирующих приборов.

В качестве примера был рассмотрен участок Алтайской энергосистемы, представленный на рисунке 1 – ВЛ 220 кВ Ларичиха-Сузун (ЛС-209), обслуживаемый ОАО «ФСК ЕЭС» Западно-Сибирским предприятием магистральных электрических сетей.



Рис. 1. Участок Алтайской энергосистемы

Рассмотрено отключение линии с неуспешным АПВ. На подстанциях (далее ПС) Ларичиха и Сузун установлены приборы ЛИПФ, фиксирующие значения тока и напряжения нулевой последовательности $3I_0$, $3U_0$. Протяженность линии составляет 122,62 км. С помощью программы «АРМ СРЗА» был произведён двусторонний расчёт ОМП. Как изображено на рисунке 2, расчётное место повреждения линии составляет 104, 55 км от ПС Ларичиха.

РАСЧЕТНОЕ МЕСТО ПОВРЕЖДЕНИЯ: 104.55 км от п/ст ПС ЛАРЧИХА
 на уч-ке: "ПС ЛАРЧИХА -ПС СУЗУН "

ЗОНА ОБХОДА 18 км: с 96 км по 114 км
 ----- 104.55 км -----
 ----- 18 км -----

|-----v-----|
 ПС ЛАРЧИХА ПС СУЗУН
 ЗI0= 0.570 ЗI0= 0.990
 ЗU0 - ЗU0 -

Уч-к: 1."ПС ЛАРЧИХА - ПС СУЗУН " 0-122.6км

Отношения ПС ЛАРЧИХА
 ПС СУЗУН
 токов 0.576
 напряж

Вид КЗ 1 (A0) Место КЗ 0 182 -186 Лотн 0.998 Rперех. 60.34 Ом
 ПС ЛАРЧИХА ПС СУЗУН
 ЗI0 0.570 0.994
 ЗU0 31.871 80.609

Рис. 2. Результаты двустороннего расчёта ОМП в программе «АРМ СРЗА»

Напряжения ЗU0, зафиксированные приборами ЛИПФ, не соответствуют токам, поэтому программа произвела расчёт только по значениям ЗI0.

Для выполнения максимально точного и качественного расчёта предлагается учесть ряд факторов:

- состояние энергосистемы (учёт коммутаций смежных линий и автотрансформаторов смежных ПС);
- показания фиксирующих приборов смежных участков.

Как показано на рисунке 1, смежными подстанциями являются ПС «Светлая» и ПС «Барнаульская», на которых оборудованы более точные приборы – регистраторы аварийных событий, микропроцессорные осциллографы. Короткое замыкание, произошедшее на линии ЛС-209, отразилось и на шинах смежных ПС. Анализируя осциллограммы, выгруженные с ПС «Светлая» и ПС «Барнаульская» можно определить вид КЗ, а также значения ЗI0, ЗU0. Как видно из рисунка 3 на линии ЛС-209 произошло однофазное замыкание на землю фазы С.

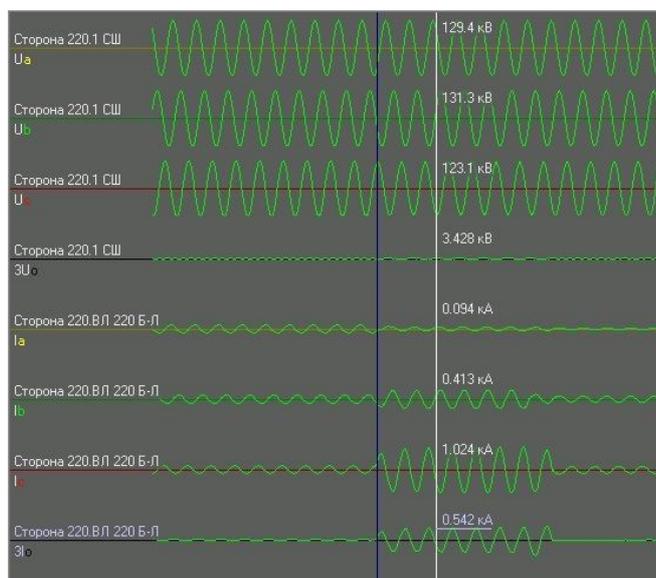


Рис. 3. Осциллограмма

Выполнив по показаниям осциллографа двусторонний расчёт объединенных линий СС 211-ЛС 209-БЛ 207, общая длина которых составляет 308 км, получен результат, представленный на рисунке 4.

```
РАСЧЕТНОЕ МЕСТО ПОВРЕЖДЕНИЯ: 153.23 км от п/ст БАРНАУЛЬСКАЯ 220
на уч-ке: "БАРНАУЛЬСКАЯ 220-ПС СВЕТЛАЯ 220 "
ЗОНА ОБХОДА 30 км: с 145 км по 175 км
-- 160.23 км --
--- 30 км ---
|-----v-----|
БАРНАУЛЬСКАЯ 220                                ПС СВЕТЛАЯ 220
ЗТО= 0.534                                        ЗТО= 0.472
ЗУО= 3.447                                        ЗУО= -

Уч-к: 1."БАРНАУЛЬСКАЯ 220- ПС СВЕТЛАЯ 220 " 0-308.6км

Отношения БАРНАУЛЬСКАЯ 220
           ПС СВЕТЛАЯ 220
токов     1.131
напряж

Вид КЗ 1(A0) Место КЗ 0 182 -186 Лотн 0.440 Рперех. 66.66 Ом
           БАРНАУЛЬСКАЯ 220 ПС СВЕТЛАЯ 220
ЗТО       0.534                0.449
ЗУО       3.114                14.406
```

Рис. 4. Результат двустороннего расчёта ОМП по показаниям РАС

От полученного результата необходимо вычесть длину линии БЛ 207 равную 93,32 км, чтобы получить расчётную точку повреждения от ПС Ларичиха, а также рассчитать зону обхода равную 5 % от общей длины линии. Таким образом, двусторонний расчёт с помощью показаний осциллографа показал результат равный 67, 59 км от ПС Ларичиха с зоной обхода с 52 по 82 километр.

После осмотра ВЛ персоналом службы линий, на линии ЛС 209 было найдено спиленное дерево на фазе С. Фактическое место повреждения составило 67 километров от ПС Ларичиха.

Анализируя результаты двух расчётов, выполнен расчёт погрешности ОМП. Погрешность двустороннего расчёта по показаниям ЛИПФ составила 0,31 %. Погрешность двустороннего расчёта по показаниям осциллографов, установленных на смежных участках составила 0,0048 % [1].

Исследование показало, что использование при расчёте показаний приборов, установленных на смежных элементах сети, снижает погрешность результата до минимума. Данный метод расчёта обеспечивает сокращение времени поиска повреждения, и, вследствие этого, быстрое устранение аварии. Также представленный метод расчёта исключает материальные затраты на установку дорогостоящего микропроцессорного оборудования ОМП на каждой подстанции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенфельд, А.И. Алгоритмические погрешности определения мест повреждения воздушных линий напряжением 110-750 кВ. Электрические станции, 1998, № 7.
2. Айзенфельд, А.И. Учёт сопротивления нулевой последовательности силовых трансформаторов при определении места повреждения ВЛ //Электрические станции, 1978, № 11, с. 67-70
3. Чернобровов, Н. В. Релейная защита энергетических систем : учеб. пособие для техникумов [Текст] / Н. В. Чернобровов, В. А. Семенов. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 800 с. : ил.

4. Шабад, М. А. Расчёты релейной защиты и автоматики распределительных сетей [Текст] / М. А. Шабад. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л. : Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1985. – 296 с. : ил.

5. Правила устройства электроустановок [Текст]. — СПб.: Издательство ДЕАН, 2003. - 928 с.

«УМНЫЕ» ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Шилин А. А., Артюшенко Н. С., Дементьев С. С.

Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград

В настоящее время во всех развитых странах мира одним из основных направлений развития энергетики является внедрение интеллектуальных электрических сетей (smart grids), известных в России под названием активно-адаптивных сетей. Интеллектуальная сеть на технологическом уровне объединяет электрические сети, потребителей и производителей электроэнергии в единую автоматизированную систему, которая в реальном времени позволяет отслеживать и контролировать режимы работы всех участников процесса выработки, передачи и потребления электроэнергии. За счёт широкой интеграции информационных сетей в системы электроснабжения интеллектуальные сети в автоматическом режиме способны выявлять наиболее слабые и аварийно-опасные участки линий электропередачи, изменять характеристики и топологию сети для предотвращения аварии, а при её возникновении – определять координаты повреждения с целью оперативного устранения аварийного режима. Несмотря на активное внедрение технологии smart grids за рубежом, в России активно-адаптивные сети нашли применение лишь в ограниченном количестве пилотных проектов [5]. К объективным причинам, сдерживающим развитие отечественных интеллектуальных сетей, следует отнести:

- большую протяжённость и разветвлённость электрических сетей, трассы которых пролегают по территориям различных природных зон (леса, степи, тундры и т.д.) с неоднородным рельефом местности (горная, холмистая, равнинная и т.д.);
- суровые климатические условия, вызывающие интенсивные гололёдные и ветровые нагрузки;
- прохождение трасс линий по обширным малонаселённым территориям, что, в частности, является причиной частых случаев вандализма и хищений проводов.

Вкупе с высокой степенью морального и физического износа электросетевого комплекса вышеперечисленные факторы объясняют основное отличие процесса модернизации традиционных систем электроснабжения до уровня «умных» сетей в России и за рубежом. Кроме того, необходимо заметить, что в России, ввиду всё тех же масштабов занимаемой территории, «закольцевать» все электрические сети не представляется возможным, что повлияло на распространение сетей, реализованных по радиальной схеме [2]. Таким образом, в нашей стране, сталкиваясь со сложностью обеспечения эффективного резервирования отдельных участков ЛЭП, вектор развития электросетевого комплекса должен смещаться в сторону повышения надёжности самих линий электропередачи, снижения интенсивности возникновения аварийных режимов и увеличения вероятности безотказной работы [7]. Следовательно, основной целью задействования в процесс передачи электрической энергии информационно-измерительных средств является:

- обнаружение и идентификация аварийных режимов ЛЭП;

- передача информации о координатах места и виде аварии;
- прогнозирование аварийных режимов на конкретных участках линий.

Традиционно для обнаружения мест повреждений (ОМП) воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) среднего напряжения используются топографические методы [1], подразумевающие установку локальных датчиков аварийных режимов, содержащих измерительные преобразователи токов и напряжений на каждой фазе. При аварийных режимах происходит срабатывание датчиков, которое определяется визуально во время обхода линии сотрудниками оперативно-выездной бригады. Основным недостатком топографических методов заключается в том, что для определения места и вида аварии необходим непосредственный осмотр ВЛЭП, при этом доступ к её некоторому участку может быть осложнён ввиду сложных погодных условий, размытия дорог и т.д. Из-за невозможности доступа к ВЛЭП увеличивается время на восстановление электроснабжения после аварии. Также монтаж и наладка работы датчиков непосредственно на проводах линии является трудоёмкой и времязатратной операцией.

Несмотря на присущие недостатки, следует признать, что топографический метод позволяет довольно точно определить место аварии [1]. Таким образом, перспективным выглядит техническая реализация топографического метода ОМП на качественно новом, современном уровне, а именно, используя:

- бесконтактную диагностику аварийных режимов по изменению электромагнитного поля (ЭМП) линии при протекании аварии;
- беспроводные систем передачи информации.

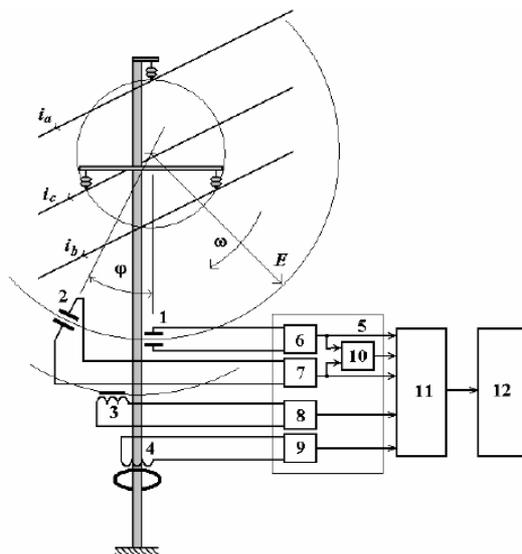


Рис. 1. Функциональная блок схема информационно-измерительной системы:
1, 2, 3, 4 – датчики; 5 – устройство определения угла сдвига фаз; 6, 7, 8, 9 – усилители;
10 – блок обработки сигналов; 11 – блок обработки информации; 12 – блок передачи информации

Датчики ЭМП устанавливаются на стойке опоры (рис. 1) на расстоянии от фазных проводов, что повышает оперативность их монтажа и ремонта [7]. Кроме аварийных режимов, вызванных обрывом или нахлестом проводов, опора, испытывающая гололёдно-ветровое воздействие, должна содержать системы контроля механических нагрузок, приложенных к токопроводящим и конструкционным элементам опоры. В настоящее время оценка степени напряжённого состояния провода и сравнение её с

предельно допустимым значением осуществляется с помощью весовых (тензометрических) датчиков, устанавливаемых на траверсе опоры. Более совершенной выглядит система локационного зондирования, определяющая толщину гололёдной муфты по изменению времени, затраченного на распространение в прямом и обратном направлениях подаваемого в линию высокочастотного импульсного сигнала [3].

Очевидно, что перечисленные средства диагностики состояния ВЛЭП никак не связаны в единую систему. Исходя из этого, предлагается создавать «умные» опоры, содержащие одновременно датчики контроля ЭМП, механических нагрузок и текущего климатического режима. Техническая реализация «умной» опоры подразумевает следующие особенности:

- наличие экранированной камеры для установки информационно-измерительной системы с возможностью её надёжной защиты;
- установка блока питания с возможностью подзарядки от фотоэлектрических преобразователей или устройств бесконтактного отбора мощности от силовой цепи;
- использование для передачи информации следующих вариантов связи: оптоволоконной, PLC (телекоммуникация по силовой цепи), радиосвязи, спутниковой (GPS/ГЛОНАСС), мобильной (GPRS/3G/4G).

Следует отметить, что место установки опоры должно быть выбрано с учётом удобства передачи информации (например, при использовании мобильных сетей необходимо учесть зоны уверенного приёма), а также минимизации воздействия климатических факторов.

Однако краеугольным камнем в построении любой сложной информационно-измерительной системы является разработка блока обработки информации. Здесь немаловажным условием выступает факт работы устройства распознавания аварий с нечёткой информацией, т.к. исходные данные, поступающие от датчиков опоры, зависят от места их установки, времени года и др. внешних факторов. Поэтому это устройство должно уметь корректировать свои параметры или выполнять операцию обучения, т.е. устройство должно быть «интеллектуальным» [7]. Для решения данной задачи целесообразно использовать нейронные сети (НС) [4], которые позволяют выполнять операции обучения при различных неформализованных возмущающих воздействиях.

Отметим, что использование нейросетевой технологии откроет новые возможности применения дистанционных методов ОМП ВЛЭП, в частности, локационного метода, принцип действия которого заключается в послышке рефлектометром по повреждённой линии зондирующего импульса и измерения времени возвращения отражённого импульса [8]. При классической реализации данный метод обладает низкой точностью. Это подтверждает полученная в ходе проведённого исследования рефлектометров зависимость погрешности определения расстояния до места аварии от частоты посылаемых сигналов (рис. 2) при 5-типроцентных отклонениях параметров линии с распределёнными параметрами. Из результатов видно, что для повышения точности данного метода необходима интеллектуальная коррекция погрешности, вызванной влиянием значительного количества факторов (в том числе погодных), учесть влияние которых традиционными средствами обработки информации крайне сложно.

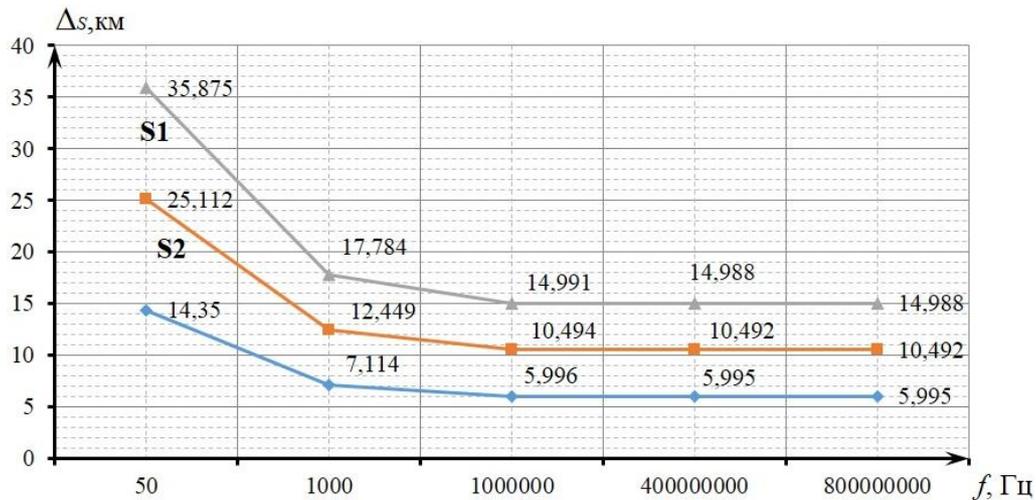


Рис. 2. Зависимость абсолютной погрешности расстояния до места аварии

К широким прикладным возможностям нейронных сетей следует отнести и способность к решению задач прогнозирования, т.е. предсказания будущей реакции системы по её предшествующему поведению. Накапливая статистические данные, включающие в себя информацию о времени, координатах, погодных условиях, сопутствующих возникновению аварийных режимов ВЛЭП или их исключающих, нейронная сеть вырабатывает решение, каким будет наиболее вероятное состояние линии. Сравнивая после этого прогноз и реальное состояние системы, НС определяет погрешность прогнозирования и использует это значение для дальнейшей адаптации весовых коэффициентов, т.е. изменения силы синаптических связей между нейронами. Модель нейрона, лежащего в основе искусственных нейронных сетей, изображена на рис. 3 [4].

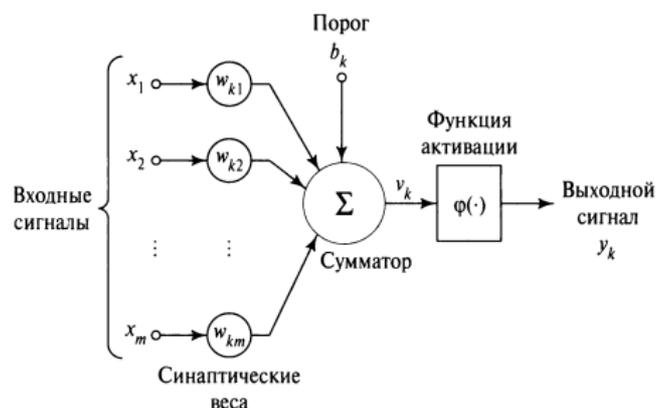


Рис. 3. Модель искусственного нейрона

Чаще всего для задач прогнозирования используется нейронная сеть в виде персептрона с одним скрытым слоем и сигмоидальной функцией активации [4].

Один из популярных вариантов аппаратной реализации нейронных сетей заключается в использовании для этой цели сигнальных процессоров [6]. Моделирование нейронных сетей на сигнальных процессорах осуществляется программным способом, что позволяет в случае необходимости легко модифицировать используемый алгоритм и структуру сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аржанников Е.А., Чухин А.М. Методы и приборы определения мест повреждения на линиях электропередачи. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 1998. – 64 с.
2. Идельчик В.И. Электрические сети и системы: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 582 с.
3. Минуллин Р.Г. и др. Обнаружение гололёдных образований на линиях электропередачи локационным зондированием. – Казань: Изд-во КГЭУ, 2010. – 207 с.
4. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
5. Белявский А.В., Желонкин А.В. Будущее – за интеллектуальными электросетями // Энергетика Татарстана. – 2010. – № 3. – С. 13-21.
6. Грибачёв В.П. Настоящее и будущее нейронных сетей // Компоненты и технологии. – 2006. – № 5. – С. 34-40.
7. Шилин А.Н., Шилин А.А. Нейрокомпьютерная система распознавания аварийных режимов воздушных линий электропередачи // ЭЛЕКТРО. – 2014. – № 6. – С. 8-14.
8. Шилин А.Н., Шилин А.А., Артющенко Н.С. Расчёт погрешностей рефлектометров для мониторинга линий электропередачи // Контроль. Диагностика. – 2015. – № 9. – С. 52-59.

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОГЕЛЯ В ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Кудрявцева Е. А., Рахимова Ю. И.

Самарский государственный технический университет, г.Самара

Теплоизоляционные материалы являются объектом изучения многих отечественных и зарубежных специалистов различных направлений, как исследующих теплотехнические данные материалов для теплоизоляции домов, стен, полов, кузовов легковых и грузовых автомобилей, так и применяющих теплоизоляционные материалы при транспортировке горячих жидкостей и пара, например, для трубопроводов систем теплоснабжения.

Главное требование к теплоизоляции, где бы ее ни использовали, – уменьшить скорость теплопередачи за счет теплопроводности, конвекции, излучения, а также любой комбинации этих механизмов. От качества теплоизоляционных конструкций зависят не только тепловые потери, но и долговечность и безаварийность работы. Тепловая изоляция, выполненная из современных качественных теплоизоляционных материалов, может одновременно являться и антикоррозийной защитой поверхности стальных трубопроводов.

Сегодня для теплоизоляции в основном используют стекловолокна, минеральную вату и шлаковату. Однако сравнительно недавно на рынок вышли и быстро завоевали признание аэрогели - материалы высокотемпературной изоляции, используемые в промышленном производстве.

В переводе «аэрогель» означает «замороженный воздух», еще нередко его называют – «замороженный дым». Данный материал представляет собой гель, в котором жидкая фаза замещена газообразной. Аэрогель имеет очень малую плотность, а именно порядка от 1 до 150 кг/м³ и на ощупь напоминают легкую, но твердую пену. Но, не смотря на это, он может выдерживать нагрузку в тысячи раз больше своего веса. Перечислим его основные свойства:

- очень низкая теплопроводность: в среднем от 0,014 до 0,021 Вт/(м•К);
- огнестойкий (обширно используется при использовании в качестве теплоизоляции для трубопроводов и оборудования, нуждающихся в повышенной защите от огня);
- имеет малый объем (слой изоляции всего в 5 мм изолирует от очень высоких температур, тем самым уменьшая объем объекта строительства);
- безопасен (материалы на основе аэрогеля абсолютно безопасны для человека, что позволяет использовать их в работающих цехах и жилых помещениях);
- имеет легкий вес (материалы из аэрогеля на 95% состоят из воздуха, а потому практически не утяжеляют веса конструкций);
- имеет простоту монтажа конструкции (изделия для изоляции поставляются в виде плоских элементов, что позволяет сократить транспортный объем и время монтажа изоляции труб отопления, водоснабжения, канализации и технологических трубопроводов, а также фитингов и технологического оборудования непосредственно на местах);
- гидрофобен (технология производства изоляции с аэрогелем позволяет всей влаге, которая попадает внутрь теплоизоляционного слоя, испаряться, что обеспечивает не только тепловую изоляцию труб, но и их эффективную защиту от коррозии);
- эффективен при ремонте (применение теплоизоляционных материалов на основе защищает конструкцию от воздействия погодных факторов);
- эстетичен (использование аэрогеля для изоляции придает объектам эстетичный внешний вид, обеспечивая благоприятные рабочие условия).

Теплоизоляционные материалы с аэрогелем используются для защиты элементов, находящихся вблизи высокотемпературных установок, для теплоизоляции трубопроводов, находящихся глубоко под землей, для теплоизоляции резервуаров различных размеров.

Таким образом, мы имеем уникальное вещество с превосходными теплофизическими свойствами для теплоизоляции. Этот материал способен сохранять свои свойства даже при резких перепадах температур и других сложных условиях. Совокупность этих свойств позволяет использовать утеплитель в самых сложных условиях и добиваться превосходного результата, касающегося создания надежной теплоизоляции.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОКА И ТЕМПЕРАТУРЫ В ГРОЗОЗАЩИТНОМ ТРОСЕ С БИМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОВОЛОКАМИ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ТОКА КЗ*

Трунов М. Д., Гуревич Л. М., Даненко В. Ф., Проничев Д. В.

Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград

Значительные преимущества волоконно-оптических линий связи над выполненными на основе медных проводников кабелями связи привели в середине 90-х годов двадцатого века к масштабному внедрению в Российской Федерации волоконно-оптических технологий. Наряду со стандартными волоконно-оптическими кабелями передачи информации, широкое применение получили грозозащитные тросы, выполненные из стальных проволок с различными покрытиями, содержащие модуль из нержавеющей стали, в котором в полужидком гидрофобном геле располагаются оптические волокна (ОКГТ). Подобная конструкция обеспечивает необходимую механическую прочность и является продуктом двойного назначения: выполняет

традиционную функцию защиты линии электропередачи от ударов молнии и используется как кабель связи и передачи данных. ОКГТ прокладывается на опорах линий электропередачи и облегчает строительство волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) в труднодоступных местах и переходах.

ОКГТ должны удовлетворять традиционным требованиям, предъявляемым ОАО «ФСК ЕЭС» к грозозащитным тросам: механическая прочность, коррозионная стойкость, устойчивость к разрядам молнии, эоловой вибрации, пляске, а также стойкость к токам короткого замыкания (КЗ). В частности, в соответствии с СТО 56947007-29.060.50.015-2008 ТТ ОАО «ФСК ЕЭС», грозозащитный трос должен быть стоек к термическому воздействию тока КЗ, возникающего в процессе эксплуатации при однофазных и двухфазных замыканиях на землю, величина и время которого устанавливаются изготовителем расчетным путем.

Используемая в повивах ОКГТ стальная проволока должна быть защищена от коррозии, поэтому применяются цинковые или алюминиевые покрытия, существенно более устойчивые к окислению, чем стальной сердечник. Проводимость плакированных проволок выше, а прочность, зачастую, не ниже, чем у аналогичных стальных проволок. Стойкость к коррозии и удельная электропроводность алюминиевого покрытия несколько выше, чем цинкового, однако эти покрытия обладают и рядом недостатков. Контакт нержавеющей стали оптического модуля и алюминия при эксплуатации на открытом воздухе становится причиной активной коррозии, так как выпадающие из атмосферы на поверхность ОКГТ соли и загрязнения, помет птиц на поверхности металла выступают в качестве электролита и приводят к ускоренному разрушению алюминия [1].

Целью исследования является сравнение методом моделирования термической стойкости грозозащитного троса с оптическим кабелем связи из стальной проволоки с различными покрытиями при прохождении тока короткого замыкания

При анализе термической стойкости ОКГТ проводили расчеты:

- нестационарного магнитного поля, вызванного импульсом переменного тока частотой 50 Гц и длительностью до 1 с, с целью получения распределения плотности тока в каждом из проводников троса в зависимости от времени;
- нестационарного температурного поля, использующего в качестве источника теплоты джоулевы потери.

Для моделирования применяли схему грозозащитного троса [2, 3] марки ОКГТ 11,0/Е1(12)-С-МЗ—В-ОЖ-МК-Н-Р-180, выпускаемого Филиал «Волгоградский» АО «Редаелли ССМ» по техническим условиям ТУ СТО 71915393-ТУ 113-2013 (рис. 1). Центральная трубка диаметром 2,2-2,4 мм с оптическими волокнами изготовлена из нержавеющей стальной полосы. Диаметр стальных проволок первого повива 1,65 мм, второго – 1,65 и 1,25 мм, третьего – 1,95 мм.

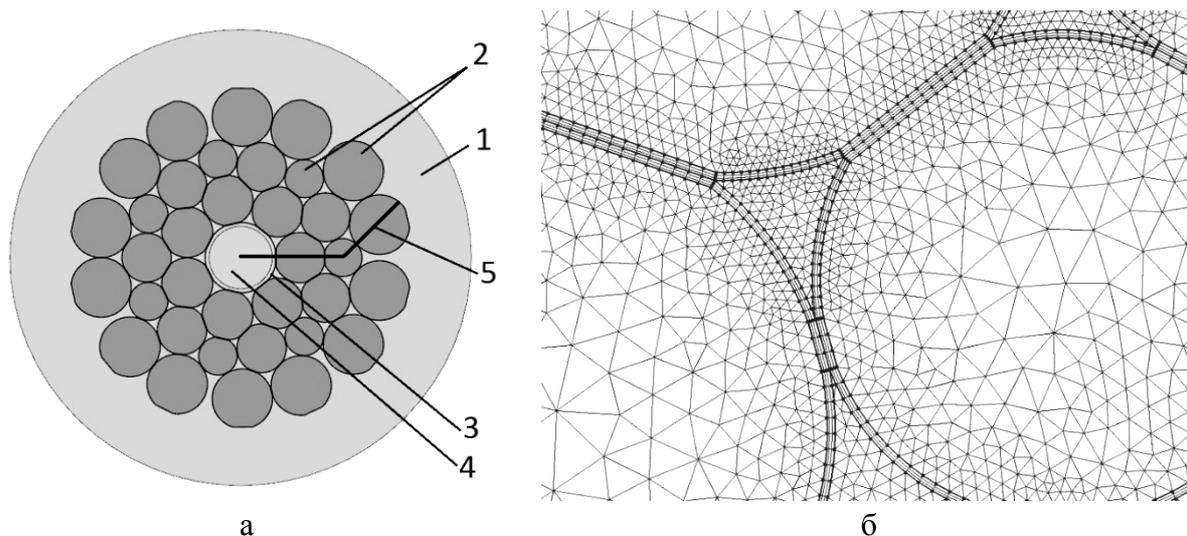


Рис. 1. Расчетная схема термической стойкости ОКГТ (а) и фрагмент конечно-элементной сетки модели, учитывающей наличие на проволоках покрытий: 1 - воздух; 2 – стальная проволока; 3 – центральная трубка; 4 – оптические волокна в гидрофобном геле; 5 – линия, вдоль которой приведены данные на рис. 2

В процессе термического анализа сравнивали четыре возможных варианта покрытия поверхности стальной проволоки:

стальные проволоки с цинковым покрытием группы ОЖ (соответствует реально выпускаемому ОКГТ по СТО 71915393-ТУ 113-2013);

стальные проволоки без покрытия;

стальные проволоки с алюминиевым покрытием, толщина которого соответствует цинковому покрытию группы ОЖ;

стальные проволоки с алюминиевым покрытием с объемным содержанием алюминия до 25%.

Для моделирования использовали лицензионный пакет программ COMSOL Multiphysics с модулями Magnetic Fields и Heat Transfer in Solids. В связи с тем, что дифференциал температур вдоль оси ОКГТ невелик, то теплопередачей вдоль оси пренебрегали и использовали плоскую схему 2D. Слои цинка и алюминия были заданы отдельными составляющими, покрытыми, как и другие элементы, конечно-элементной сеткой (рис. 1, б).

Результаты моделирования были верифицированы по экспериментальным данным натурных испытаний ОКГТ диаметром 11,0 мм в Испытательном центре высоковольтной аппаратуры ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС», показавшими, что при прохождении тока короткого замыкания 4,3 кА в течение 1с температура троса повышалась в среднем на 88 °С.

Расчет температурного поля проводили при времени протекания тока КЗ от 0 до 1 с (интервал в 0,1 с). Величину тока КЗ варьировали от 3,6 до 4,3 кА. В связи с тем, что центры проволок не лежат на одной прямой, распределение температуры (рис. 2) приведено вдоль ломаной директории, показанной на рис. 1.

Использование цинкового или алюминиевого) покрытия приводит к преимущественному протеканию тока в этих покрытиях, плотность тока в которых соответственно в 4 и 9 раз превышает плотность тока в сердечниках из углеродистой стали. Различие в плотности тока в покрытиях проволок наружного и внутренних повивов несущественно. Такое изменение распределения тока привело к снижению градиента температур в грозозащитных тросах из плакированных проволок до 2–4 °С

(рис. 2 а, б). При одной и той же величине тока КЗ ($J_{кз}=4,3$ кА, $t = 1$ с) использование цинкового покрытия позволило снизить температуру в районе оптического модуля на 35 °С, а в наружном повиве – на 83 °С. В грозозащитном тросе из стальных проволок без покрытия плотность тока в проводах повышается по мере удаления от оси троса, что и приводит к заметному росту температуры в проволоках наружного повива (рис. 2, б). Применение алюминиевого покрытия толщиной 20 мкм с повышенной электропроводностью позволяет дополнительно снизить температуру в районе оптического модуля на 15 °С, однако в случаях как цинкового, так и алюминиевого покрытия значения температур лежат в безопасном диапазоне и не приводят к ухудшению оптических свойств оптоволокна. Для сравнения, СТО 56947007-29.060.50.122-2012 ОАО «ФСК ЕЭС» [4] предусматривает повышение температуры ОКГТ на $+80$ °С при плавке гололеда в течение до 1 ч. Увеличение при моделировании толщины алюминиевого покрытия до значений, обеспечивающих объемное содержание 25 % (рис. 4,г), обеспечивало при выбранных значениях тока КЗ 4300 А повышение температуры только до 52 °С. Такое объемное содержание алюминия является избыточным с точки зрения обеспечения температурной стабильности при токе короткого замыкания $4,3$ кА и может быть целесообразным при необходимости токов короткого замыкания $6,2-6,3$ кА.

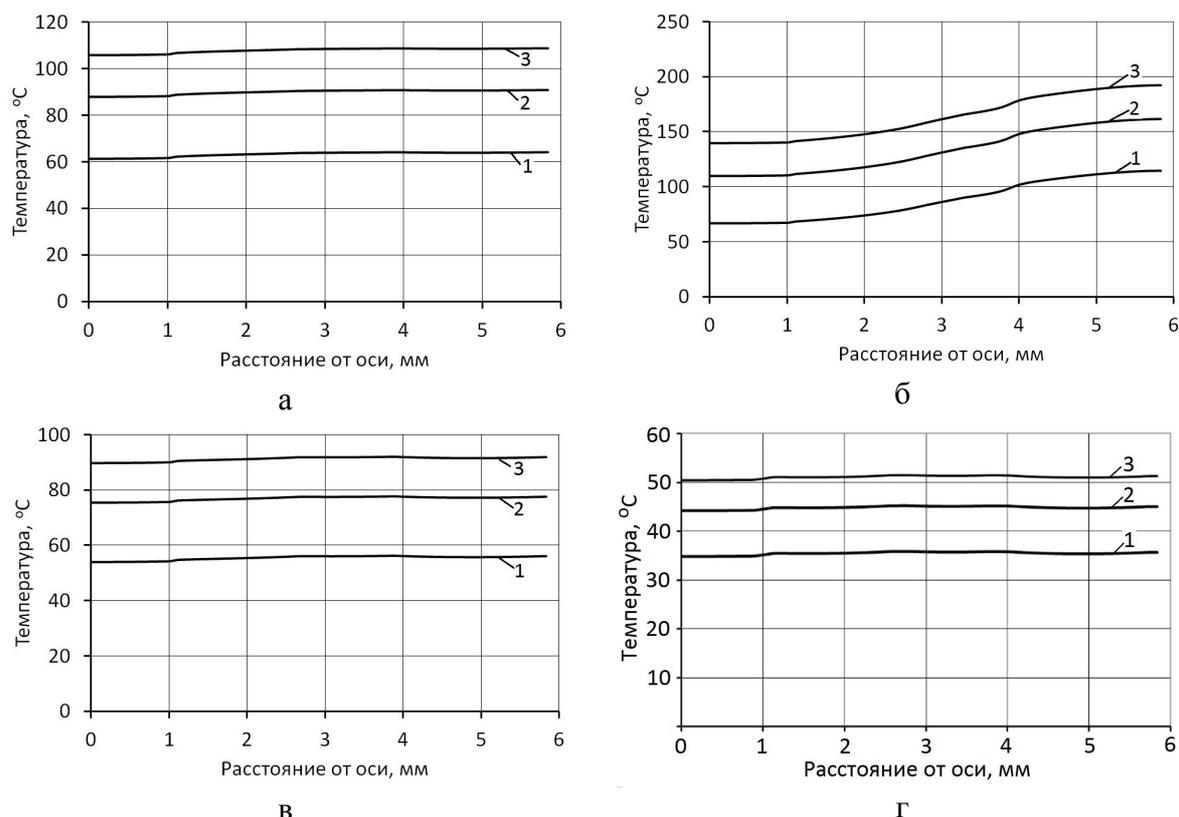


Рис. 2. Распределение температуры вдоль линии, проходящей через центры проводников при токе КЗ $J_{кз}=4,3$ кА: а – цинковое покрытие, б – стальные проволоки без покрытия, в и г – алюминиевое покрытие, толщиной соответственно 20 и 260 мкм; 1 – $t = 0,5$ с; 2 – $0,8$ с; 3 – $1,0$ с

Результаты моделирования показали, что использование в конструкции грозозащитных тросов проволок с хорошо освоенным отечественной промышленностью гальваническим цинковым покрытием обеспечивает при

прохождении токов КЗ в заявляемом изготовителем диапазоне снижение температуры на поверхности оптического модуля до безопасных значений, не приводящих к изменению оптических характеристик оптического волокна. Алюминиевое покрытие проволок позволяет дополнительно снизить температуру, но его применение сопряжено с рядом негативных факторов: низкая коррозионная стойкость алюминированного покрытия на границе с нержавеющей трубкой оптического модуля; низкая стойкость грозозащитных тросов с алюминиевым покрытием при ударах молнии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимов Б. Л., Инденбаум Д. М. Особенности выбора оптического кабеля для воздушных линий электропередачи // Энергетика и промышленность России. 2012. – № 12 (200). – С.29.
2. Грозозащитный трос с оптическим кабелем связи: патент 2441293 Рос. Федерация, 2010145083/07; заявл. 03.11.2010, опубл. 27.01.2012. Бюл. № 3. – 6 с.
3. СТО 71915393-ТУ 113-2013. Северсталь-Метиз. «Канаты стальные (грозотрос) для защиты воздушных линий электропередач от прямых ударов молнии. Технические условия». Волгоград, 2008. – 6 с.
4. СТО 56947007-29.060.50.122-2012 ОАО «ФСК ЕЭС» «Руководство по расчету режимов плавки гололеда на грозозащитном тросе со встроенным оптическим кабелем (ОКГТ) и применению распределенного контроля температуры ОКГТ в режиме плавки». ОАО «ФСК ЕЭС». 2012. – 119 с.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках базовой части государственного задания № 2015/16 проект 1183.

ОЦЕНКА НЕОБХОДИМОГО ОБЪЁМА ДИАГНОСТИКИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИХ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

Попова М. С., Грибанов А. А.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

При изготовлении и эксплуатации асинхронных двигателей (АД) возникают отклонения параметров двигателя от номинальных значений. Эти отклонения могут быть вызваны как технологическими погрешностями изготовления двигателя, неправильными режимами эксплуатации, так и износом во время эксплуатации. Выход из строя АД приводит к тяжёлым авариям и большому материальному ущербу, связанному с простоем технологического оборудования, устранением последствий аварий и ремонтом вышедшего из строя электродвигателя. Следовательно, эффективный контроль параметров АД в процессе производства и после их изготовления, своевременная их диагностика в процессе эксплуатации являются актуальными задачами.

В итоге возникает необходимость исследовать АД с целью получения диагностических признаков и сигналов для определения неисправностей.

Виды неисправностей и методы диагностики оценки состояния асинхронного двигателя представлены в [1].

Состояние асинхронного двигателя характеризуется большим количеством параметров состояния x_i , которые в работе представлены не только в цифровой форме,

с различной размерностью, но и в нечётких терминах (высокий (в), низкий (н), средний (с), ниже среднего (нс), выше среднего (вс)...) [2].

Для асинхронного двигателя составим иерархическую структуру древовидного типа (рис. 1).

В такой системе входной вектор x диагностических признаков, представлен в выражении (1):

$$x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, \quad (1)$$

где n – число признаков (факторов) [3].

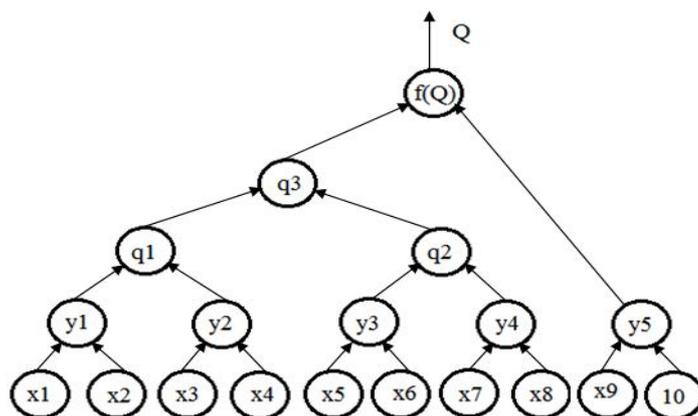


Рис. 1. Иерархическая структурная схема нечёткого логического вывода для асинхронного двигателя: x_1 – x_{10} – входные диагностические факторы системы; y, q – промежуточные параметры; Q – выход системы

В таблице 1 более подробно описаны влияющие факторы к рис. 1.

Таблица 1. Совокупность диагностических параметров

Обозначение	Диагностические параметры	Диапазоны измерений входных величин
x_1	Температура статора	От 60 °С до 150 °С
x_2	Измерение КПД	От 0,8 до 1
x_3	Измерение вибрационной скорости V , мм/с	От 0 мм/с до 40 мм/с
x_4	Измерение внешнего магнитного поля	От 0 до 0,4
x_5	Измерение сопротивления изоляции обмоток статора	От 1МОм до 1000МОм
x_6	Измерение коэффициента абсорбции изоляции обмотки статора	От 1 до 2
x_7	Измерение волновых затухающих колебаний в обмотке	От 0 до 1
x_8	Измерение с помощью ультразвука G – модуль сдвига	От 0 до 1
x_9	Сравнительный анализ спектров токов	От 0 до 0,4
x_{10}	Оценка состояния подшипников	Плохое, хорошее, отличное
$y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, q_1, q_2, q_3$	Укрупнённые влияющие факторы	
Q	Корень дерева	

Для асинхронного двигателя классификация повреждений элементов (факторов x) имеет следующие значения :

- низкий - отсутствуют признаки старения и износа, значения параметров соответствуют требованиям;
- ниже среднего - незначительные дефекты, которые не оказывают влияния на дальнейшую работу двигателя. Наличие повреждений регламентируются нормативно-технической документацией;
- средний - появление дефектов, не приводящих к повреждению двигателя. Требуется выполнение корректирующих режимных мероприятий;
- выше среднего - разрушение частей двигателя. Требуется реконструкция или ремонт, дальнейшая эксплуатация невозможна;
- высокий – отказ двигателя, приводящий к остановке технологического процесса.

На основании таблицы 1 и классификация повреждений элементов (факторов x) произведено обоснование необходимости учёта диагностических параметров для создания системы нечёткой логики, которое представлено в таблице 2.

Таблица 2. Обоснование необходимости учёта параметров

Влияющие параметры на работу двигателя	Описание влияния полученных параметров
Температура статора	Если $t < 80$ – уровень повреждения низкий, если $t > 80$ – уровень повреждения ниже среднего, если $t < 100$ – уровень повреждения средний, если $t > 100$ – уровень повреждения выше среднего, если $t > 120$ – уровень повреждения высокий
Измерение КПД	Если $\eta = 0,8$ – уровень повреждения высокий, $\eta = 0,9$ – уровень повреждения средний, $\eta = 1$ – уровень повреждения низкий
Измерение вибрационной скорости V , мм/с	Если $V < 5$ – уровень повреждения низкий, если $V > 5$ – уровень повреждения ниже среднего, если $V > 10$ – уровень повреждения средний, если $V > 20$ – уровень повреждения выше среднего, если $V > 30$ – уровень повреждения высокий
Измерение внешнего магнитного поля	Если 0 – уровень повреждения низкий, если 0,1 – уровень повреждения ниже среднего, если 0,2 – уровень повреждения средний, если 0,3 – уровень повреждения выше среднего, если 0,4 – уровень повреждения высокий
Измерение сопротивления изоляции обмоток статора	Чем выше сопротивление, тем больше остаточный ресурс изоляции.
Измерение коэффициента абсорбции изоляции обмотки статора	Если $K_{abc} < 1,25$ – уровень повреждения высокий, если $K_{abc} < 1,6$ – уровень повреждения ниже среднего, если $K_{abc} > 1,6$ – уровень низкий
Измерение волновых затухающих колебаний в обмотке	Если 0 – уровень повреждения высокий, 0,5 – уровень повреждения средний, 1 – уровень повреждения низкий

Продолжение табл. 2

Измерение с помощью ультразвука G –модуль сдвига	Если 0 – уровень повреждения высокий, 0,5 – уровень повреждения средний, 1 – уровень повреждения низкий
Сравнительный анализ спектров токов	Если 0 – уровень повреждения низкий, если 0,1 – уровень повреждения ниже среднего, если 0,2 – уровень повреждения средний, если 0,3 – уровень повреждения выше среднего, если 0,4 – уровень повреждения высокий
Оценка состояния подшипников	Плохое состояние – уровень повреждения высокий, хорошее – средний, отличное – низкий

В таблице 3 представлено влияние входного параметра x_i на промежуточный результат y_i , а также влияние промежуточного результата y_i на промежуточный результат q_i .

Таблица 3. Влияние параметров на остаточный ресурс двигателя

Входной параметр x_i	Промежуточный результат y_i от x_i	Промежуточный результат q_i от y_i
низкий	высокий	высокий
ниже среднего	выше среднего	выше среднего
средний	средний	средний
выше среднего	ниже среднего	ниже среднего
высокий	низкий	низкий

Промежуточные параметры $y_{(5,5)}$ и $y_{(5,3)}$ имеют пять термов, а промежуточный параметр $y_{(3,3)}$ имеет 3 термина.

Воспользуемся программной средой MatLab Fuzzy Logic Toolbox для определения остаточного ресурса АД с помощью нечёткой логики. Основным является разработка m – файла `conp.m` для управления `fis`-файлами и для работы всей системы нечёткой логики в целом (осуществляет иерархический вывод по логическому дереву). Каждая система нечёткого вывода имеет по 2 входных фактора, непосредственно влияющих на остаточный ресурс АД. Значения входных факторов изменяются в различных пределах, поэтому следует использовать дополнительный m –файл –нормализатор с диапазоном от -100 до 100 .

Для получения результатов нечёткого вывода по заданным факторам используются нечёткие базы знаний типа Mamdani. Для запуска смоделированной системы нечёткой логики в командной строке Matlab вводят, например, следующие данные: `conp(-10, 9, 57, 98, -100, 0, 12, 87, 54,-23)`. Ввод строки завершают командой «Enter». При этом в командном окне Matlab получают значения всех укрупненных влияющих факторов и максимальный результат вычисления остаточного ресурса Q (в часах) АД с помощью системы нечёткой логики.

Рассмотрим входные параметры x_1 – x_{10} в соответствии с таблицей 2, а именно $x_1=130$, $x_2=0,95$, $x_3=5$, $x_4=0,1$, $x_5=780$, $x_6=1,85$, $x_7=0,7$, $x_8=0,8$, $x_9=0,15$, $x_{10}=0,87$, что соответствует при переводе в диапазон от -100 до 100 с помощью нормализатора следующим значениям $(-55.5556, 50, -75, -50, 55.9560, 70, 40, 60, -25, 74)$.

Для перевода остаточного ресурса Q асинхронного двигателя из диапазона $[-100; 100]$ в диапазон от 0 до 20000 часов используем формулу (2):

$$Q' = \frac{Q - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \cdot 20000 = 5051,51 \quad (2)$$

где Q' – остаточный ресурс асинхронного двигателя;

X_{\min} – минимальное число из диапазона $[-100; 100]$;

X_{\max} – максимальное число из диапазона $[-100; 100]$.

Сравнивая в работе различное количество методов диагностики для выяснения остаточного ресурса асинхронного двигателя можно сделать вывод, что не целесообразно применять десять разных методик диагностики, т.к. эксперименты показали, что трёх методов достаточно для полного выявления остаточного ресурса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попова М.С., Грибанов А.А. Методика определения необходимого объёма выполнения диагностики асинхронных двигателей для прогнозирования остаточного ресурса с использованием нечёткой логики // Сборник трудов 12-ой Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь – 2015». – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2015. – С. 53-56.
2. Суханкин Г.В. Система нечеткой логики для определения остаточного ресурса асинхронного двигателя в условиях агропромышленного комплекса // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2/2. – С. 187–194
3. Алексеев А.Н. Обработка нечёткой информации в системах принятия решений. – М: Радио и связь, 1989. – 304 с.

МИКРО ГЭС В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН

Ялалетдинова Д. А., Кудаярова А. А., Хузина Л. Н.

Уфимский Государственный авиационный технический университет, г. Уфа

Башкортостан обладает огромным потенциалом гидроэнергии. Микро ГЭС Башкортостана — серия гидроэлектростанций мощностью менее 10 МВт. Сегодня у нас гидроэнергетические ресурсы используются не более чем на 3 процента. В нашей республике имеются более 300 рек и столько же водохранилищ технического назначения.

В республике работает уникальная сеть микро-ГЭС из восьми станций, расположенная в шести районах республики. Микро ГЭС «Кага», «Авзян» и «Узян» построены на одноименных реках, протекающих в Белорецком районе, Слакская и Давлекановская микро ГЭС – на реках Курсак и Дема в Альшеевском и Давлекановском районах. Абдулкаримовская МГЭС расположена на реке Сакмара в Баймакском районе, а Таналыкская – на одноименной реке, что протекает в Хайбуллинском районе. В Мечетлинском районе вырабатывает электроэнергию Мечетлинская микро ГЭС на реке Большой Ик. Все эти малые ГЭС экологичны и вырабатывают дешевую электроэнергию. [1]

Особенностью существующих микро ГЭС является то, что они используют имеющиеся водохранилища, пруды и другие водоемы, созданные в свое время для различных народнохозяйственных целей. Поскольку гидротурбины МГЭС установлены

на донных водовыпусках, они во время паводков вынуждены простаивать. Зато, когда схлынут мутные потоки, микро ГЭС вновь включаются в работу. [2]

Рассматривая производство электроэнергии на малых реках, следует иметь в виду, что этот процесс возможен в нескольких вариантах исполнения. Оптимальным может быть только тот вариант, который в наибольшей мере удовлетворяет требованиям всех без исключения участников водохозяйственных комплексов (ВХК). В наибольшей мере такой постановке вопроса отвечает схема использования каскадного регулирования стока малых рек посредством русловых водохранилищ, создаваемых водонапорными сооружениями облегченного типа, способными свободно пропускать в пределах русла паводковые воды и обеспечивать беспрепятственный проход рыб на нерест. Конструкции таких сооружений широко известны — крышевидные затворы, плотины с фермами Поаре, затворы из прорезиненных тканевых материалов и другие. Малые ГЭС и микро-ГЭС, являясь полноправными участниками водохозяйственного комплекса (ВХК), отличаются тем, что максимальный эффект выработки электроэнергии возможен лишь только при сработке верхнего бьефа в оптимальных параметрах, характеризующихся напором на турбинах. Из этих условий устанавливается и величина так называемого «мертвого» объема водохранилищ энергетического каскада малых рек. При этом эти огромные объемы воды в водохранилищах служат только для создания перепада уровней. Кроме того, чередование объемов водохранилищ каскада всегда выполняется произвольно. Основным требованием в этом случае является пропуск одного и того же расхода через максимально большее число гидроагрегатов при оптимальном напоре. В условиях Башкортостана этого достичь можно, если руководствоваться требованиями суточного регулирования. На малых и микро-ГЭС в Башкортостане в качестве привода используются: пропеллерные турбины (как горизонтальные — ПР15-Г-60, так и вертикальные — ПР592-ВВ160); поворотно-лопастные — ПЛ577-ВВ42,5 (Павловская ГЭС); радиально-осевые — РО123-ВВ160 (Нугушская ГЭС). Использование потенциала малой гидроэнергетики для Башкортостана не является чем-то новым. Так, еще в 1861 году суммарная мощность гидроустановок в регионе составляла 33026 кВт. В настоящее время освоение этого вида энергоресурсов следует проводить поэтапно. Первым этапом развития малой гидроэнергетики должна быть масштабная утилизация водной энергии на различных уже имеющихся гидротехнических сооружениях. Вторым этапом следует считать выявление на реках створов, где возможно строительство малых и микро-ГЭС. Третьим этапом освоения гидроэнергоресурсов малых рек является разработка методов управления выработки максимально возможного количества энергии на каждом отдельно взятом водотоке. [3]

Выбор места и схемы размещения микро ГЭС определяется природными условиями, возможностями и желаниями будущего потребителя. (Рис.1)

В состав микро ГЭС мощностью более 3кВт, располагаемой на реке, входят следующие основные гидротехнические сооружения: водозабор, регулятор, деривационный канал, напорный бассейн, напорный трубопровод, водосброс.

Микро ГЭС мощностью до 1кВт, низконапорные с вертикальным валом, могут состоять из следующих гидротехнических сооружений: водозабора, регулятора, деривационного канала, лотка, отсасывающей трубы, сбросного колодца и водосброса. В этих микро ГЭС вместо напорного трубопровода применяют отсасывающую конусную трубу. Все сооружения здесь значительно проще и меньших размеров, чем у микро ГЭС больших мощностей.

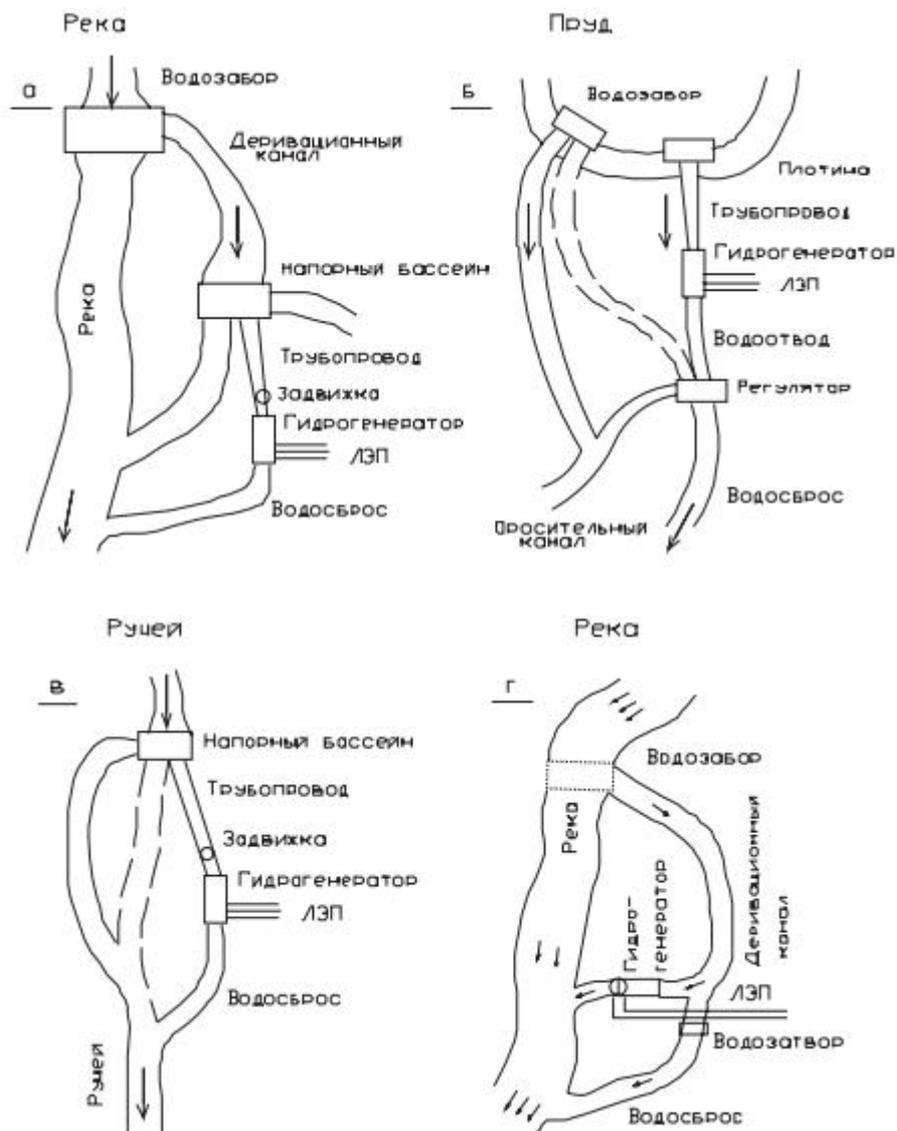


Рис. 1. Типовые схемы размещения микро ГЭС: а - мощностью более 3кВт и напором от 3 м, на реке; б – мощностью до 3кВт на низкой плотине пруда; в – на ручье с напорным трубопроводом, мощность – до 2кВт; г – с вертикальным валом и низким напором, мощностью до 1кВт

Микро ГЭС – надежные, компактные, экологически чистые, относительно недорогие источники электрической энергии. При правильном планировании и проектировании, микро ГЭС имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными источниками электроэнергии. После установки микро ГЭС энергия вырабатывается практически бесплатно.

Микро ГЭС может быть установлена и запущена в короткие сроки. Обычно, она оказывает минимальное негативное воздействие на окружающую среду и не вызывает таких социальных проблем, как большая энергетика. Прежде всего, это гораздо меньшие площади затопления и подтоплений, плотины микро ГЭС в значительной меньшей степени, чем другие виды энергообъектов нарушают нормальную естественную среду обитания человека и животного мира, особенно если они располагаются на горных реках с устойчивым к размыву и подтоплению каменистыми склонами долин.[4]

ЛИТЕРАТУРА

1. Энергострана. [Электронный ресурс]: электрон. текстовые дан. - Режим доступа: www.energostrana.ru
2. Башкирэнерго. [Электронный ресурс]: электрон. текстовые дан. - Режим доступа: be2.bashkirenergo.ru
3. Ватандаш. [Электронный ресурс]: электрон. текстовые дан. - Режим доступа: www.vatandash.ru
4. МикроГидроЭлектроСтанции. [Электронный ресурс]: электрон. текстовые дан. - Режим доступа: sgr.uz

О ПРИМЕНЕНИИ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ТРЁХФАЗНЫМ ИНВЕРТОРОМ С ДВУХКАНАЛЬНЫМ ПРЕОБРАЗУЮЩИМ ТРАКТОМ С ШИМ ПО КВАЗИТРАПЕЦЕИДАЛЬНОМУ ЗАКОНУ

Фрейдлин А. С.

Национальный исследовательский университет «Московский Энергетический
Университет», г. Москва

Инверторы напряжения получили широкое распространение в электротехнике. Они используются как в источниках вторичного питания как централизованного, так и в децентрализованного типов, причем, как независимо, так и в составе преобразователей частоты. Для обеспечения требуемых показателей качества спектрального состава выходного напряжения инвертора, в качестве алгоритмов управления используют различные модификации широтно-импульсной модуляции (ШИМ). При этом длительность импульсов, формирующих напряжение, изменяется таким образом, что их среднее значение изменяется по заданному закону: синусоидальному, трапецеидальному или прямоугольному [1]. Традиционно для получения на выходе инвертора синусоидального напряжения используется алгоритм ШИМ по синусоидальному закону. Одним из направлений улучшения энергетических показателей выходного напряжения трёхфазного инвертора напряжения (ТИН), наряду с применением при его построении перспективного принципа многоканального преобразования (МКП) энергетического потока, можно считать применение квазитрапецеидального закона управления. Такой закон может быть получен при увеличении значения глубины модуляции, определяемой параметром $\mu > 1$, что характеризует режим перемодуляции [2, 3]. С увеличением значения этого параметра уменьшается число переключений транзисторов инвертора. Однако, вместе с этим ухудшается спектральный состав выходного напряжения ТИН, что приводит к увеличению массы выходного фильтра. В связи с этими двумя противоречивыми тенденциями возникает задача поиска оптимального значения параметра μ . В процессе работы исследовался вариант структурно-алгоритмической организации ТИН-2, реализующий принцип МКП при числе каналов $L = 2$. Для суммирования выходных токов каналов ТИН-2 используются трансфильтры. Приводится методика их расчета и методика расчета их параметров, необходимых для построения компьютерной модели. Исследование подтвердило, что показатели качества ТИН- L улучшаются с увеличением числа каналов. Так же были получены сопоставительные оценки показателей качества ТИН-1 и ТИН-2 с применением в них двух законов модуляции: синусоидального и квазитрапецеидального. Приведены рекомендации по использованию рационального

значения параметра μ (в режиме перемодуляции). В качестве средства исследования использовано имитационно-компьютерное моделирование в среде *OrCAD*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мыщык Г.С., Бериллов А.В., Михеев В.В. Поисковое проектирование устройств силовой электроники (трансформаторно-полупроводниковые устройства). – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 284 с.
2. Бродников С.Н., Воронцов К.А., Мыщык Г.С. Трехфазный инвертор напряжения централизованного типа с промежуточным высокочастотным преобразованием // Практическая силовая электроника. – 2015. – Т. 3. – № 59. – С. 5-11.
3. Мыщык Г.С., Чесноков А.В., Михеев В.В. Синтез трехфазных преобразователей с улучшенным качеством преобразованной электроэнергии // Электротехника. – 1986. – № 12. – С.40-45.

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 0,4 кВ

Сидорова В. Т., Карчин В. В.

Марийский государственный университет, г. Йошкар-Ола

В работе приводятся результаты исследования сельских сетей 0,4 кВ при компенсации реактивной мощности непосредственно на линии. Приводятся результаты численного расчета уменьшения потерь напряжения, активной мощности и тока нулевого провода при такой компенсации.

В настоящее время в сельской местности РФ электроснабжение осуществляется преимущественно воздушными линиями (ВЛ), имеющими большой процент падения напряжения, связанный с их протяженностью. При этом ЛЭП, спроектированные по нормам электропотребления второй половины прошлого века, уже не обладают необходимыми требованиями, и качество электроэнергии (КЭ) у ее потребителей все чаще не соответствует ее нормам. Считается, что компенсация реактивной мощности (КРМ) и фильтрация высших гармоник в сетях 0,4 кВ экономически невыгодны из-за относительно коротких фидеров и небольшой присоединенной мощности. В других странах широко используются устройства компенсации и фильтрации высших гармоник в распределительных сетях 0,4 кВ [1]. В 2007 году в РФ [2] требование к минимальному значению коэффициента реактивной мощности для точек присоединения потребителя к электрической сети 10(6)–0,4 кВ было значительно ужесточено, и установлен $\cos \varphi = 0,944$ ($\operatorname{tg} \varphi = 0,35$) для сети 0,4 кВ и $\cos \varphi = 0,93$ ($\operatorname{tg} \varphi = 0,4$) для сети 6–20 кВ.

Одними из основных показателей КЭ для сетей 0,4 кВ являются установившееся отклонение напряжения δU и коэффициент несимметрии напряжений по обратной K_{2U} и по нулевой последовательности K_{0U} [3].

Изменение напряжения на участке сети зависит от параметров сети и передаваемой мощности. Передача электроэнергии по такой линии сопровождается неизбежным падением напряжения $\Delta \underline{U} = \underline{U}_1 - \underline{U}_2$, которое является комплексной величиной, где \underline{U}_1 – напряжение в начале линии, \underline{U}_2 – напряжение на ее конце. Арифметическую разность $\Delta U = U_1 - U_2$ называют потерей напряжения. Для ВЛ номинальным напряжением 110 кВ и ниже характерно примерное равенство сопротивлений R и X либо превышение R над

Х. Поэтому при расчете таких сетей поперечную составляющую (мнимую часть) падения напряжения можно не учитывать, тогда [4]:

$$\Delta U = (PR + QX)/U_1.$$

Установка конденсаторов с параллельным включением в сеть называется поперечной компенсацией. При этой компенсации конденсаторы, генерируя реактивную мощность, повышают коэффициент мощности и одновременно регулируют напряжение, т. к. уменьшают потери напряжения в сети [5]. Реактивная мощность (кВар), генерируемая конденсаторной батареей [5],

$$Q_C = U^2 2\pi f C.$$

При выборе конденсаторов исходят из необходимости повышения напряжения в линии при неизменной величине активной нагрузки, что определяется разностью между потерями напряжения в линии до и после включения конденсаторов:

$$\Delta U = \Delta U_1 - \Delta U_2 = [P_1 r_L + Q_1 x_L - (P_2 r_L + Q_2 x_L)] / U_{ном}^2,$$

где P_1 , P_2 и Q_1 , Q_2 – активная и реактивная мощности; r_L и x_L – сопротивления сети. Введением дополнительной реактивной мощности Q_C снижается реактивная нагрузка сети ($Q_2 = Q_1 - Q_C$). Так как $P_1 = P_2$, то относительное изменение напряжения регулирования

$$U_{рег} = Q_C x_L / U_{ном}^2.$$

Размещение устройств КРМ непосредственно у ТП не обеспечивает требуемого значения коэффициента мощности, и как следствие, уровня напряжения. Устройства КРМ необходимо размещать в узлах линии, где установившееся отклонение напряжения не удовлетворяет предельно допустимым значениям и коэффициент мощности меньше 0,9. Авторами работ [6] показано, что для сельских сетей значение мощности данных устройств не будет превышать 50 кВар, поэтому их можно будет размещать непосредственно на опорах ЛЭП. При распределении устройств КРМ на линии потери напряжения могут быть снижены на 3 % от номинального [7, 8].

При неравномерной нагрузке фаз линии потери мощности увеличиваются не только в самих фазных проводах, но и за счет протекания тока по нулевому проводу [9]:

$$I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 \geq 3I_{cp}^2,$$

где I_{cp} – средний ток трех фаз, протекающий по каждой из фаз при равномерной нагрузке.

Увеличение потерь мощности за счет неравномерности нагрузки фаз трёхпроводной линии происходит в N^2 раз, а четырехпроводной линии может быть учтено выражением [9]:

$$N^2 \left(1 + 1,5 \frac{R_H}{R_\phi}\right) - 1,5 \frac{R_H}{R_\phi},$$

где R_H и R_ϕ – соответственно сопротивление нулевого и фазного провода; N^2 – квадрат коэффициента неравномерности нагрузки фаз линии, определяемый выражением

$$N^2 = \frac{1}{3} \left[\left(\frac{I_A}{I_{cp}} \right)^2 + \left(\frac{I_B}{I_{cp}} \right)^2 + \left(\frac{I_C}{I_{cp}} \right)^2 \right].$$

Несимметрия напряжения обусловлена протеканием в системе электроснабжения токов обратной и нулевой последовательности, создаваемых несимметричными нагрузками, когда векторы токов и углы между ними различны. Известно, что такие токи могут быть представлены их симметричными составляющими прямой \underline{I}_1 , обратной \underline{I}_2 и нулевой последовательности \underline{I}_0 . В этом случае ток компенсирующего

устройства должен быть равен по значению и противоположен по фазе соответствующему току, создаваемому нагрузкой. При межфазной компенсации и симметрировании ток нулевой последовательности в линейных проводах симметрирующего устройства отсутствует, и, следовательно, при такой схеме соединения КБ симметрирующий эффект по нулевой последовательности достигнут быть не может [4]. При пофазной КРМ несимметричная система токов компенсирующего устройства \underline{I}_{ak} , \underline{I}_{bk} , \underline{I}_{ck} , может быть представлена в форме симметричных составляющих:

$$\begin{aligned} \underline{I}_{1k} &= \frac{1}{3}(\underline{I}_{ak} + a\underline{I}_{bk} + a^2\underline{I}_{ck}); \\ \underline{I}_{2k} &= \frac{1}{3}(\underline{I}_{ak} + a^2\underline{I}_{bk} + a\underline{I}_{ck}); \\ \underline{I}_{0k} &= \frac{1}{3}(\underline{I}_{ak} + \underline{I}_{bk} + \underline{I}_{ck}); \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$\underline{I}'_A = \underline{I}_a + \underline{I}_{ak}; \quad \underline{I}'_B = \underline{I}_b + \underline{I}_{bk}; \quad \underline{I}'_C = \underline{I}_c + \underline{I}_{ck}. \quad (2)$$

Здесь \underline{I}'_A , \underline{I}'_B , \underline{I}'_C - линейные токи после компенсации, \underline{I}_a , \underline{I}_b , \underline{I}_c - линейные токи до компенсации. Учтем, что линейные токи после компенсации должны быть симметричными, т.е. $\underline{I}'_A = I'_A$, $\underline{I}'_B = a^2 \cdot I'_B$, $\underline{I}'_C = a \cdot I'_C$, и $I'_A = \text{Re}(\underline{I}'_A)$, $I'_B = \text{Re}(\underline{I}'_B)$, $I'_C = \text{Re}(\underline{I}'_C)$.

После подстановки (2) в (1) получим:

$$\begin{aligned} \underline{I}_{1k} &= \frac{1}{3}j(I_a \sin \varphi_{iA} + I_b \sin \varphi_{iB} + I_c \sin \varphi_{iC}); \\ \underline{I}_{2k} &= \frac{1}{3}j(I_a \sin \varphi_{iA} + aI_b \sin \varphi_{iB} + a^2I_c \sin \varphi_{iC}); \\ \underline{I}_{0k} &= \frac{1}{3}j(I_a \sin \varphi_{iA} + a^2I_b \sin \varphi_{iB} + aI_c \sin \varphi_{iC}), \end{aligned} \quad (3)$$

где $\varphi_{iA} = \varphi_{uA} - \varphi_A$, φ_A - разность фаз между соответствующим фазным напряжением и током. Система (3) описывает симметрирующий эффект конденсаторной батареи. Решение этой системы позволяет сделать вывод, что при такой схеме включения конденсаторных батарей может быть достигнут симметрирующий эффект по нулевой последовательности. С помощью КРМ от $\cos \varphi = 0,85$ до $0,95$ можно уменьшить ток нулевого провода на 1 %.

Потери активной мощности в электрической сети можно определить [10]:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2(1 + \text{tg}^2 \varphi)}{U^2} R = \frac{P^2 R}{U^2} \cdot \frac{1}{\cos^2 \varphi}, \quad (4)$$

где P , Q , U - активная и реактивная мощности, передаваемые по линии, линейное напряжение, R - эквивалентное активное сопротивление линии ($R = rL$, r - удельное активное сопротивление линии, L - длина линии), $\cos \varphi$ - коэффициент мощности, $\text{tg} \varphi$ - коэффициент реактивной мощности в линии. Из выражения (4) следует, что при неизменной передаваемой мощности P и напряжения U в линии, потери мощности будут зависеть от коэффициента мощности и длины линии L . Примем $\cos \varphi = 0,85$ (характерный средневзвешенный коэффициент мощности в распределительных электрических сетях 10(6)-0,4 кВ). Тогда согласно (4) потери активной мощности после компенсации до $\cos \varphi = 1$ уменьшатся на величину:

$$\Delta P - \Delta P_k = \frac{P^2 R}{U^2} \cdot \left(\frac{1}{\cos^2 \varphi} - \frac{1}{\cos^2 \varphi'} \right) = \frac{P^2 R}{U^2} \cdot 0,38.$$

В этом случае потери в линии уменьшаться на $\frac{\Delta P - \Delta P_k}{\Delta P} \cdot 100\% = 27,5\%$.

Потери активной мощности в трансформаторах состоят из двух составляющих: потерь, идущих на нагревание обмоток трансформатора ΔP , зависящих от тока нагрузки, и потерь, идущих на нагревание стали $\Delta P_{ст}$, не зависящих от тока нагрузки [5]. Потери мощности, идущие на нагревание обмоток трансформатора,

$$\Delta P = 3I^2 R_T = \frac{S^2}{U^2} R_T = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R_T.$$

Тогда полные активные потери

$$\Delta P_T = \Delta P + \Delta P_{CT} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R_T + \Delta P_{CT},$$

где R_T – активное сопротивление (Ом) обмоток трансформатора.

Если даны потери короткого замыкания $\Delta P_{M.ном.}$, соответствующие потерям в меди при номинальной нагрузке трансформатора $S_{ном.}$, и известна его фактическая загрузка S , то активные потери

$$\Delta P_T = \Delta P_M + \Delta P_{CT} = \Delta P_{M.ном.} (S/S_{НОМ})^2 + \Delta P_{CT}.$$

При компенсации реактивной мощности на стороне 0,4 кВ потери активной мощности уменьшаться и станут равными:

$$\Delta P'_T = \Delta P_{M.ном.} (S'/S_{НОМ})^2 + \Delta P_{CT},$$

где $S' = \sqrt{P^2 + Q'^2} = P/\cos \varphi'$, $\cos \varphi'$ – коэффициент мощности после компенсации.

Потери мощности в трансформаторе после компенсации изменятся на:

$$\Delta P_T - \Delta P'_T = \frac{\Delta P_{M.ном.} P^2}{S_{НОМ}^2} \left(\frac{1}{\cos^2 \varphi} - \frac{1}{\cos^2 \varphi'} \right).$$

При повышении коэффициента мощности со значения $\cos \varphi = 0,85$ до $\cos \varphi = 0,95$:
 $\frac{\Delta P_T - \Delta P'_T}{\Delta P_T} \cdot 100\% = 20\%$.

Таким образом, при полной нагрузке трансформатора, потери мощности после компенсации будут на 20 % меньше потерь в меди до компенсации. Примем среднее значение потерь мощности в меди равными 1,5 % [5], тогда потери в трансформаторе за счет КРМ могут быть уменьшены на 0,3 %.

Согласно (3) даже при КРМ в одной из фаз линии от значения $\cos \varphi = 0,85$ до $\cos \varphi = 1$, ток нулевого провода уменьшится на 1 %, что приведет к уменьшению потерь активной мощности на 2 % по сравнению с режимом без КРМ.

Тогда для рассматриваемой линии суммарные потери (потери в линии, трансформаторах и потери, обусловленные несимметрией напряжения) будут уменьшены на $27,5\% + 0,3\% + 2\% = 29,8\%$ по сравнению с режимом без КРМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Phase Mod PFC Modules for Low-Voltage Power Factor Correction. Epcos AG. Corporate Communications. Editions 03/2005. Germany.
2. Приказ Минпромэнерго России от 22.02.2007 № 49.
3. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
4. Карташев И.И., Тульский В.Н. и др.; под ред. Шарова Ю.В. Управление качеством электроэнергии – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 354 с.
5. Каганов И.Л. Курсовое и дипломное проектирование. – 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с.

6. Карчин В.В., Сидорова В.Т. Локальная компенсация реактивной мощности в сельских распределительных сетях 0,4 кВ // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт – 2014. - №11. – 2014. – С. 21-24.
7. Карчин В.В., Сидорова В.Т., Леухин А.Н. Улучшение показателей качества электроэнергии в сельских распределительных сетях 0,4 кВ с помощью компенсации реактивной мощности // Известия вузов. Проблемы энергетике – 2015. - № 1-2. – С. 61-67.
8. Способ размещения конденсаторных устройств в сельских распределительных сетях 0,4 кВ: пат. Рос. Федерация. № 2563250; заявл. 29.05.2014; опубл. 20.09.2015, Бюл. №26. – 7с.
9. Шведов Г.В. Потери электроэнергии при ее транспортировке по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение: учебное пособие для вузов / Г.В. Шведов, О.В. Сипачева, О.В. Савченко; под ред. Ю.С. Железко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 424 с.
10. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОГО НАКОПИТЕЛЯ ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Ядутов В. В.

Казанский Государственный Энергетический Университет, г. Казань

Мероприятия по повышению энергетической эффективности являются реальными инструментами для повышения конкурентоспособности на рынке, таким образом за счет модернизации оборудования снижается вероятность возникновения аварий, выхода из строя оборудования и другие факторы.

На сегодняшний день провалы напряжения являются одним из наиболее дорогостоящих явлений в промышленности. Отказами системы электроснабжения являются не только длительные перерывы питания, но и кратковременные, поскольку такие возмущения могут приводить к нарушению их функционирования. Нарушение функционирования электроустановки в результате кратковременного возмущения с учетом последующей остановки и перезапуска может причинять ущерб, сопоставимый с ущербом от длительного перерыва питания. С целью повышения энергетической эффективности предприятия, хочу предложить свой вариант решения этой проблемы, а именно использования гибридного накопителя электроэнергии, состоящий из комплекта аккумуляторных батарей и суперконденсаторов, который повысит уровень качества энергоснабжения при всех существующих возмущающих воздействиях, даёт возможность снизить потери энергии и существенно повысить безопасность и устойчивость системы электроснабжения. Гибридный накопитель энергии (рисунок 1) представляет собой электротехнический комплекс, состоящий из подсистем накопления, согласования, потребления, генерирования электрической энергии и информационных связей между подсистемами. Подсистема накопления состоит из долговременного накопителя энергии - в данном проекте используются батареи литий-ионных аккумуляторов, и кратковременного накопителя энергии - батареи наборных суперконденсаторов. Подсистема согласования с сетью предназначена для преобразования постоянного тока накопителей энергии в переменный.



Рис.1. Общий вид ГНЭ-100 и его подсистем

Применение такого накопителя выполняет следующие функции:

- выравнивание графиков нагрузки в сети (накопление электрической энергии в периоды избыточной электроэнергии и выдача в сеть в периоды дефицита);
- обеспечение бесперебойного питания собственных электроприемников;

По данной гибридной уставке были проделаны испытания при работе с сетью и потребителем электрической энергии, проведена оценка влияния компенсационных режимов работы на эффективность системы накопления в целом. На основании проделанных испытаний можем сделать выводы, что данная установка позволяет скомпенсировать кратковременные возмущения сети и реализовать режим стабилизации обратной последовательности и реактивной составляющей тока нагрузки, в том числе, скомпенсировать гармоники, вносимые в сеть.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://electricalschool.info/spravochnik/eltehustr/1289-ustrojstva-zashhity-ot-provalov.html>
2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ионистор>
3. Тимофеев, А. С. Компенсация реактивной мощности [Текст] / А. С. Тимофеев, Г. З. Зайцев. – Новокузнецк, 2010.

УМЕНЬШЕНИЕ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕЛЬСКИХ НЕОДНОРОДНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 10(6) КВ

Сидорова В. Т., Карчин В. В.

Марийский государственный университет, г. Йошкар-Ола

В работе приводятся результаты исследования экономического потокораспределения при переносе точки деления сети в сельских сетях 10(6) кВ. Исследована неоднородная сельская сеть 10(6) кВ, имеющая значительный процент потерь электроэнергии.

Практически все замкнутые сети неоднородны из-за неодинаковости отношения реактивных сопротивлений к активным – X_i/R_i на каждом участке сети. В таких сетях наблюдаются дополнительные потери мощности по сравнению с однородными замкнутыми сетями ($X_i/R_i=const$) за счет несовпадения естественных и экономических потоков мощностей в сети. Для достижения минимальных потерь мощности в линии с

двусторонним питанием необходимо принудительно добиться экономического потокораспределения. Это можно сделать включением в контур сети уравнивающей ЭДС, или путем продольной компенсации индуктивного сопротивления участков сети, или размыканием контура электрической сети. Способ размыкания неоднородных контуров сети широко применяется как в распределительных сетях до напряжения 110 кВ, так и в местах более высокого напряжения. Надежность электроснабжения потребителей в случае аварийных отключений обеспечивается быстрым автоматическим включением отключенных выключателей. Определение рациональной точки размыкания воздушной кольцевой сети, соответствующей минимуму потерь активной мощности, является довольно трудоемкой задачей. Поэтому на практике эта точка берется произвольно, что ведет к значительным потерям активной мощности [1].

Наибольшая неоднородность наблюдается в замкнутых сетях разных номинальных напряжений, связанных между собой через обмотки трансформаторов. В сельских распределительных сетях наибольшее распространение получила петлевая схема сети – замкнутая сеть, разомкнутая в одном из ее узлов. Размыкание таких сетей осуществляется с целью обеспечения надежности и уменьшения потерь мощности. Петлевые сети обязательно эксплуатируются в разомкнутом режиме, выбор точки размыкания должен осуществляться по критерию минимизации потерь активной мощности и электроэнергии. Поэтому необходимо периодически анализировать потоки мощности в петлевых сетях, для выявления оптимальных точек раздела сети. Поскольку в сельских сетях часто используются различные марки проводов, они имеют значительную неоднородность.

В данной работе была исследована одна из неоднородных сельских сетей 10 кВ, имеющая значительные потери электроэнергии. Поскольку одним из основных показателей качества электроэнергии является установившееся отклонение напряжения, точку деления сети необходимо определять с учетом требований к отклонению напряжения [2]:

$$\Delta P \rightarrow \min;$$
$$-5 \leq \delta U \leq +5 \%$$

Для исследуемой сети определены потоки активной и реактивной мощностей и произведен расчет потерь активной мощности в ее нормальном режиме с учетом ее неоднородности и значений узловых напряжений.

Расчет уровня потерь мощности был произведен согласно принятой методике, учитывающей уровни узлового напряжения сети [3]:

$$\Delta P = \sum_{i,j=1}^n \frac{S_{i,j}^2}{U_i^2} R_{i,j}.$$

Суммарные потери мощности:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2,$$

где ΔP_1 – значение потерь мощности на первом участке, кВт; где ΔP_2 – значение потерь мощности на втором участке, кВт. Далее производится перенос точки деления сети в возможные узлы, расчет параметров режима работы и уровня потерь мощности.

При переносе точки деления сети происходит незначительное отклонение напряжения. Поэтому при размыкании сети следует выбирать точку, обеспечивающую минимальный уровень потерь мощности и отклонения напряжения. В результате расчетов потери активной мощности после переноса точки деления оказались на 15 % меньше, чем после до переноса.

Далее планируется исследование других неоднородных сельских сетей 10(6) кВ, исследование особенностей таких сетей и общего алгоритма определения точки

деления сети, обеспечивающей минимальные потери мощности, минимальные значения отклонения напряжения и необходимую надежность электроснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шведов Г.В. Потери электроэнергии при ее транспортировке по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение: учебное пособие для вузов / Г.В. Шведов, О.В. Сипачева, О.В. Савченко; под ред. Ю.С. Железко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 424 с.
2. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.
3. Карташев И.И., Тульский В.Н. и др.; под ред. Шарова Ю.В. Управление качеством электроэнергии – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 354 с.

СИСТЕМА АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ АКСИАЛЬНОГО ИНДУКТОРНОГО ГЕНЕРАТОРА

Нафигина Ю. А., Гарганеев А. Г.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Индукторные электрические машины используются на автономных объектах, в частности в авиационной технике, в качестве генераторов. В работе [1] отмечается, что в настоящее время традиционный критерий уровня бортового оборудования - его масса - отступает на второй план, поскольку его сокращение уже не дает существенного экономического эффекта. На первый план выступают необходимость повышения общей безопасности полетов и резкого сокращения эксплуатационных расходов. Для достижения этих целей требуется, в частности, расширение встроенного контроля и создание избыточных структур бортового оборудования.

Структура системы электроснабжения (СЭС) летательного аппарата (ЛА) определяется его назначением и, как следствие, режимами эксплуатации, составом бортового электрооборудования и т.п., и могут использовать принципы:

- 1) «переменная скорость – привод постоянной скорости (ППС) – постоянная частота (действующее значение напряжения);
- 2) «переменная скорость – переменная частота, постоянное действующее значение напряжения»;
- 3) «переменная скорость – постоянная частота, постоянное действующее значение напряжения» [2].

Независимо от структуры СЭС ЛА, ее центральным звеном является генератор, эксплуатационные характеристики которого должны рационально сочетаться с характеристиками преобразовательных устройств – автономных инверторов и выпрямителей, что является залогом успеха в решении вопросов управляемости, надежности и снижения массогабаритных показателей системы.

Среди генераторов автономных систем электроснабжения могут применяться машины как с радиальным, так и с аксиальным направлением магнитного потока [3,4].

Аксиальный индукторный генератор (АИГ) можно рассматривать как классический синхронный генератор с явнополюсным пассивным ротором, возбуждение которого осуществляется от независимой аксиальной обмотки. Аксиальная обмотка генератора обычно располагается между пакетами составного статора или рядом, если статор не составной [5]. Благодаря аксиальной обмотке возбуждения для регулирования

выходного напряжения АИГ независимо от частоты вращения ротора можно использовать относительно простой релейный регулятор [6].

Многофазные генераторные установки предназначены для электроснабжения отдельных объектов или группы объектов. Например, к многофазным генераторным установкам относится аксиальная двухходовая бесконтактная машина (АДБМ-Г) [7], электрическая схема которой представлена на рис. 1.

АДБМ-Г работает следующим образом. При вращении постоянного многополюсного магнита 2 индуктора подвозбудителя и внутреннего аксиального магнитопровода с многофазной обмоткой 8 якоря возбuditеля и однофазной обмоткой 9 возбуждения основного генератора магнитный поток многополюсного постоянного магнита 2 индуктора подвозбудителя взаимодействует с многофазной обмоткой 4 якоря подвозбудителя, уложенной в пазы бокового аксиального магнитопровода, жестко установленного в корпусе генератора, и наводит в ней многофазную систему ЭДС, которая выпрямляется многофазным двухполупериодным выпрямителем 17 и подается на однофазную обмотку 5 возбуждения возбuditеля, уложенную в пазы бокового аксиального магнитопровода. При этом в однофазной обмотке 5 возбуждения возбuditеля создается магнитный поток.

При подаче постоянного тока через контакты 19 по дополнительной обмотке 6 возбуждения возбuditеля протекает ток, при этом создается магнитный поток, направленный согласно с магнитным потоком, создаваемым однофазной обмоткой 5 возбуждения возбuditеля. По принципу суперпозиции магнитных полей магнитные потоки, создаваемые обмоткой 5 и дополнительной обмоткой 6 возбуждения возбuditеля, суммируются. Суммарный магнитный поток взаимодействует с многофазной обмоткой 8 якоря возбuditеля, уложенной в пазы внутреннего аксиального магнитопровода, и наводит в ней многофазную систему ЭДС, которая в свою очередь последовательно преобразуется, как описано выше для АДБМ-Г, и наводит в многофазной обмотке 11 якоря основного генератора многофазную систему ЭДС, которая подается в сеть.

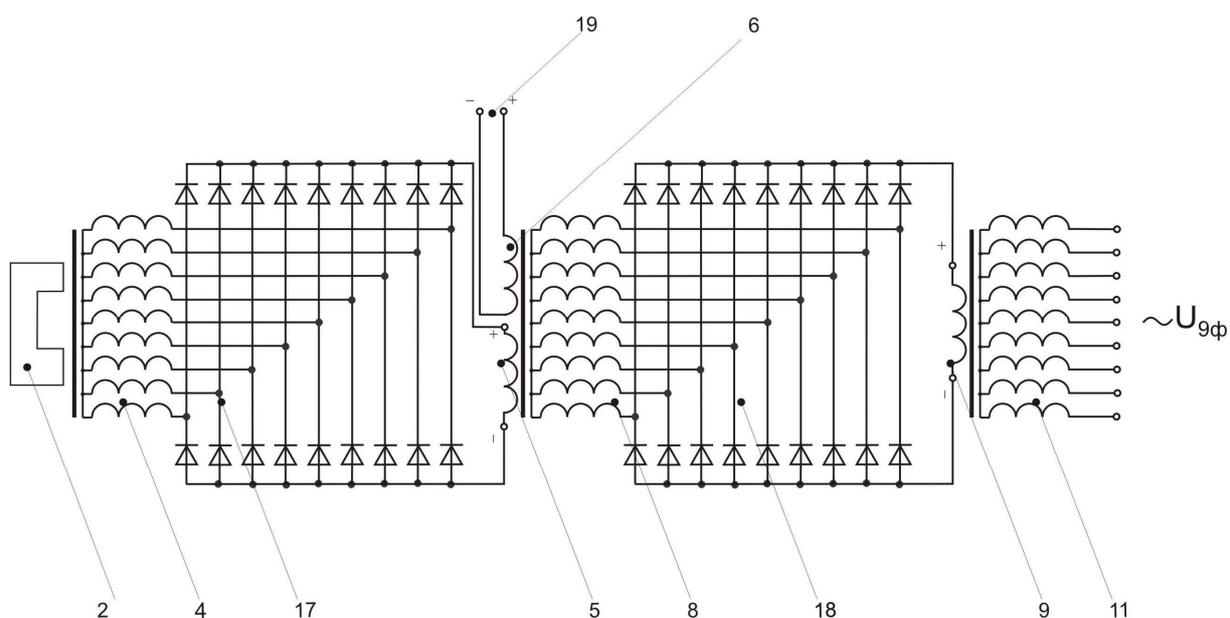


Рис. 1. Электрическая схема АДБМ-Г

В качестве математической модели АИГ для отработки алгоритмов регулирования выходного напряжения достаточно использовать обобщенную модель электрической машины в системе d-q – координат [6]. При таком подходе математическое описание АИГ получается таким же, как и у машины постоянного тока.

На рис.2 представлена упрощенная схема замещения АИГ в системе d – q – координат. По оси q условно располагается обмотка эквивалентная обмотке якоря машины постоянного тока, а по оси d располагаются две другие обмотки, создающие возбуждение машины. Обмотка с индексом d описывает суммарное эквивалентное подмагничивание, соответствующее подмагничиванию создаваемому фазами статорной обмотки, а обмотка с индексом f является реальной обмоткой возбуждения АИГ, которая располагается на оси d конструктивно.

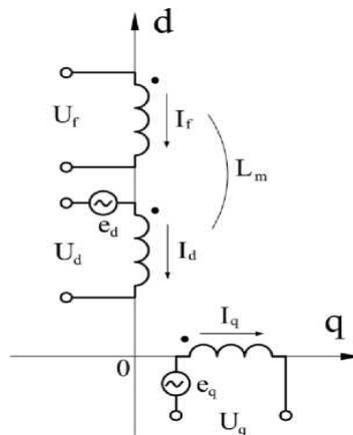


Рис. 2. Схема замещения АИГ в системе d - q координат

В соответствии с рис.2, уравнения, описывающие АИГ в системе d - q– координат, будут следующие:

- уравнения равновесия обмоток

$$\begin{cases} u_d = i_d R_s + \frac{d\psi_d}{dt} - e_q \\ u_q = i_q R_s + \frac{d\psi_q}{dt} + e_d \\ u_f = i_f R_f + \frac{d\psi_f}{dt} \end{cases}, \quad (1)$$

где u , i , ψ - мгновенные значения напряжения, тока и потокосцепления; R_s - приведенное сопротивление обмоток с индексами d, q; R_f - сопротивление обмотки возбуждения; e - мгновенное значение ЭДС, наводимой в обмотках,

$$\begin{cases} \psi_q = L_q \cdot i_q \\ \psi_d = L_d \cdot i_d + L_m \cdot i_f \\ \psi_f = L_f \cdot i_f + L_m \cdot i_d \end{cases}, \quad (2)$$

где L - индуктивность обмоток; L_m - взаимная индуктивность обмоток с индексами d и f;

- уравнение электромагнитного момента и уравнение динамики

$$\begin{cases} M_e = p_n \cdot (i_q \cdot \psi_d - i_d \cdot \psi_q) \\ M_e = M_c + J \frac{d\omega}{dt} \end{cases}, \quad (3)$$

где M_e - электромагнитный момент, M_c - момент сопротивления на валу машины, J - приведенный к валу ротора момент инерции, ω - угловая скорость вращения ротора, p_n - число пар полюсов.

Представленный АИГ интегрируется в структуры 1) и 2) (см. выше). При реализации структуры СЭС по типу 3) представляет интерес использования АИГ с постоянными магнитами в пазах основного индуктора [8,9]. При этом регулировочную функцию выполняет обмотка возбуждения аксиального магнитного потока. Дополнительно регулирование частоты и напряжения осуществляется автономным инвертором напряжения. Таким образом, регулировочные функции при широком диапазоне скоростей приводного двигателя распределяются между АИГ и инвертором. Математическая модель АИГ в данном случае принципиально не отличается от представленной выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серебряников А. Д. Индукторные электрические машины с улучшенными техническими характеристиками. 1999. РАУ, Рига. – 108 с.
2. Гарганеев А.Г. Функциональные системы летательных аппаратов. Электрическое и электронное оборудование/ А.Г. Гарганеев, Л.К. Бурулько, В.П. Петрович.–Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 251 с.
3. Электрооборудование летательных аппаратов: учебник для вузов. Т.1 / под ред. С. А. Грузкова. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. Т. 1: Системы электроснабжения летательных аппаратов. 2008. –558 с.
4. Бертинов А.И. и др. Специальные электрические машины. Источники и преобразователи энергии. Уч. пособие для вузов. – М., Энергоиздат, 1982.–552 с.
5. Домбур Л. Э. Аксиальные индукторные машины. – Рига: Зинатне; 1984.– 247 с.
6. Козаченко В.Ф. Вентильно-индукторный электропривод с независимым возбуждением для тягового применения // Электротехнические и компьютерные системы. – 2011. № 3. С. 138 – 139.
7. Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Гайтова Т.Б., Кашин А.Я., Пауков Д.В., Голощанов А.В. Аксиальная двухходовая бесконтактная электрическая машина-генератор. Решение о выдаче патента на изобретение № 2011101117/07(001374) от 14.10.2011г.
8. Домбур Л.Э., Пугачев В.А. Аксиальные индукторные машины с постоянными магнитами.– Изв. АН ЛатвССР. Сер. физ.и техн.наук, 1968, №3, с. 89–94.
9. Домбур Л.Э., Пугачев В.А., Сика З.К. Бесконтактная синхронная машина. А.с. СССР 213956. – Б.И.,1968, № 11, с.51.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Москалёв И. Л., Литвак В. В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В данной работе рассмотрены ключевые моменты 3 этапа разработанного алгоритма проведения технического диагностирования тепловых сетей (ТС), представленного в [1].

Большинство используемых в настоящее время геоинформационных систем [2] базируются на теории графов, поэтому в качестве модели для решения задачи используются ориентированные взвешенные графы. Перед решением задачи создается исходная модель-граф. В процессе решения строится и модифицируется результирующая модель-граф.

Исходной моделью является граф-участок, под которым понимают связную цепочку труб (подающий и обратный) между двумя соседними тепловыми камерами с весом, учитывающим протяженность и количество повреждений. Помимо протяженности и количества повреждений указывается информация о конкретном месте повреждения на участке и каким образом выявлено повреждение (гидравлические испытания, диагностика методами неразрушающего контроля, шурфовка и т.п.)

По итогам внесения вышеуказанной информации и ее последующей обработки формируется результирующая модель - граф отрезков. Под отрезком понимается часть тепловой сети, которая может состоять как из одного, так и из нескольких связанных между собой участков трубопроводов с общим приоритетом в очереди на замену. Отрезки разбиваются в пределах участка. Характерными факторами на начальном этапе разбивки на отрезки являются:

- Год прокладки трубопровода;
- Способ прокладки;
- Диаметр трубопровода.

Алгоритм предлагаемой методики

Рассмотрим принципы и основные положения анализа и обработки результатов диагностики, перечень критериев отбраковки, основные положения и подходы к оценке остаточного ресурса.

По методам формирования и обработки информации все отрезки можно разделить на четыре группы (таблица 1), причем отрезки формируются в пределах участков:

Таблица 1. Группы отрезков

№ группы	Классификация отрезков	Наименование группы
1	отрезки трубопроводов ТС на начальном этапе разбивки	группа, не обработанная алгоритмом
2	отрезки трубопроводов ТС с зафиксированными эксплуатационными повреждениями за рассматриваемый период	группа реальной повреждаемости
3	отрезки трубопроводов ТС на которых отсутствовали повреждения в период эксплуатации, но появились повреждения в процессе гидравлических испытаний в межотопительный период	группа вероятной повреждаемости
4	отрезки трубопроводов ТС на которых за период с момента ввода в эксплуатацию или последнего капитального ремонта не выявлены повреждения	группа прогноза

В течение последних 20 лет финансирование работ на устранение физического износа было ничтожно малым, отсутствовала государственная поддержка. Это все сказалось не лучшим образом и привело к снижению эффективности теплоснабжения, а также к ускорению деградации систем теплоснабжения и теплофикации. Реальная ситуация ТС связана с высоким числом повреждений вызванных «старением» элементов сетей. Более 50% сетей выработали установленный ресурс в 25 лет и с каждым годом процент сетей, находящихся в этой группе увеличивается в среднем на 5%. Интенсивность замены отработанных элементов тепловой сети на новые с 90-х годов является недостаточным. Этими факторами, по-видимому, объясняется нарастание количества повреждений в ТС во время эксплуатации. [3-4]

На основании выше изложенного при отсутствующем финансировании на полномасштабные капитальные ремонты ТС по статье «ветхие сети» актуальным становится именно планирование замены трубопроводов на основании анализа 2-й и 3-й группы отрезков ТС.

Стоит отметить, что приоритетность замены определяется по следующим данным:

- Плотность повреждаемости;
- Плотность нарастания повреждаемости во времени (динамика повреждаемости).

4-я группа служит для прогнозирования износа, а в совокупности с информацией по 2-й и 3-й группе позволяет провести анализ причин ускоренного износа.

Методика формирования развернутого плана

1. Формирование отрезков 2-й группы:

Просматривается перечень множества отрезков, относящихся к 1-й группе, из них выбирается участок с количеством эксплуатационных повреждений не менее 2-х шт., причем приоритетными являются участки с минимальным расстоянием между ними. Если такой участок обнаружен, то он выделяется в отдельный отрезок 2-й группы. Далее проверяются участки тепловой сети 1-й группы, граничащие с полученным отрезком. Если таких участков не обнаружено, то заканчивается формирование отрезка 2-й группы.

Второй этап методики заключается в «наращивание» выделенного отрезка. Если отрезок содержит в себе количество повреждений равное «N» (при первоначальном формировании отрезка $N=2$), то поиск производится в пределах граничащих участков 1-й группы находящихся за пределами границ повреждения найденного отрезка на расстоянии $\leq L$, причем L определяется по следующей формуле:

$$L = l_t / (n-1) * K_c + \Delta L, \quad (1)$$

где l_t - длина найденного отрезка (м), $(n-1)$ - количество уже присоединенных отрезков (шт.), где K_c - коэффициент, ограничивающий скорость нарастания L при увеличении отрезка (по умолчанию принимается равным 3, определяется эмпирически), ΔL - добавочное расстояние (м) (по умолчанию принимается равным 5 м, определяется эмпирически). Таким образом, наращивание участка происходит по линейному закону при увеличении шага поиска (L).

Найденное повреждение отмечается как выбранное, для исключения его в дальнейшем рассмотрении. Причем, отрезок увеличивается до обнаруженного повреждения, тем самым происходит увеличение длины найденного отрезка на величину расстояния от найденного повреждения до прежней границы отрезка, соответственно граничный отрезок 1-й группы сокращается. Количество повреждений увеличивается на величину $N=N+1$.

Если после проверки граничных отрезков 1-й группы расстояние до ближайшего повреждения больше L , т.е. исчерпаны граничные отрезки 1-й группы, в т.ч. конец участка, изменение диаметра, номинальной толщины стенки, года закладки, вида

прокладки, то отрезок считается сформированным и наращивание отрезка завершается. При окончательном формировании отрезка учитываются следующие факторы:

- расстояние от его границы до камеры или (если оно есть и является отрезком 2-й группы) - если это расстояние меньше, чем заданный процент (25%), то отрезок продлевается до камеры;
- заданный напуск (10% от длины отрезка, но не более 5 м) - на эту величину отрезок увеличивается в обе стороны, но не далее камеры или границы ближайшего отрезка 2-й группы. Для этого отрезка рассчитывается удельная аварийность A_u измеряемая в единицах (количество повреждений/100 м).

Затем происходит переход к формированию следующего отрезка данной группы.

1. Формирование отрезков 3-й группы:

Алгоритм полностью соответствует выше представленному в пункте 1, только рассматриваются повреждения, образовавшиеся при гидравлических испытаниях.

1. Формирование отрезков 4-й группы:

После отработки участков 1-й группы по алгоритмам п.2 и п.3, оставшиеся отрезки включаются в группу 4.

Формирование приоритетности заменяемых участков (присвоение веса отрезкам)

Упорядочивание отрезков присвоением приоритетов производится отдельно по каждой группе. Ниже рассмотрим ранжирование по каждой группе:

1. 2-я группа:

- Учет динамики повреждений.

Для каждого выявленного отрезка определяется коэффициент динамики нарастания повреждений (повреждений /в месяц за месяц) за базовый период времени.

При этом за базовый период времени и дискрету времени принимается текущий момент и выполненный расчет назад таким образом, чтобы получить явную тенденцию нарастания количества повреждений во времени, что наглядно представлено на рис. 1.

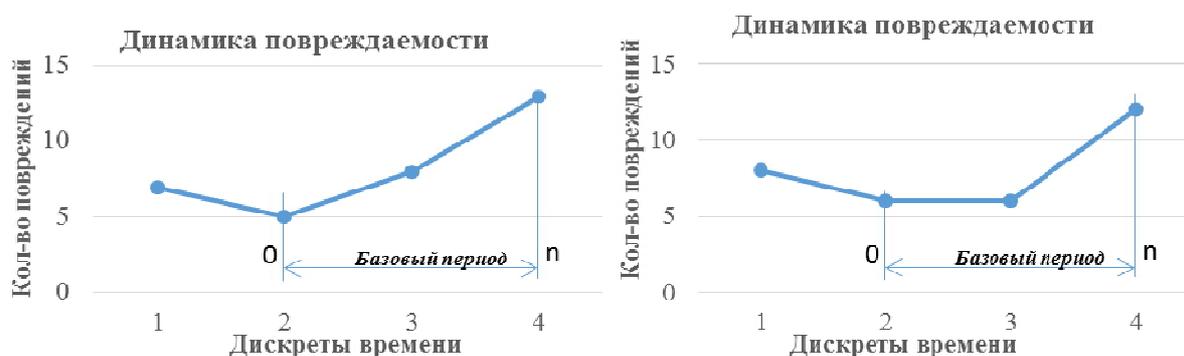


Рис. 1. Динамика повреждаемости

Определение базового периода начинается с дискреты месяц. Стоит отметить, что дискрета времени может быть представлена, как месяцем на начальном этапе анализа, так и укрупнена до квартала и года.

Согласно динамике повреждаемости (рис. 1) минимальный размер базового периода составляет 2, достаточный - 3, т.е. $3 \geq n \geq 2$. Допускаем возможность включения только одной дискреты без нарастания количества повреждений и только при $n = 2$. Включение дискреты с убыванием количества повреждений не допускается и если при этом $n \geq 2$, то имеем базовый период, если $n < 2$, то переходим к следующей по величине дискрете. Если при максимальной дискрете (год) базовый период не

определен, то коэффициент динамики нарастания повреждений $K_{дин}$ принимаем равным 0. Иначе рассчитываем $K_{дин}$ по формуле:

$$K_{дин} = \frac{\sum_n (K_{п\ i} - K_{п\ i+1})}{n * K_t} \quad (2),$$

где $K_{п\ i}$ - количество повреждений за период i -й дискреты, n - количество дискрет в базовом периоде, K_t - коэффициент приведения к месяцу, равный для перечисленных дискрет, соответственно 1, 3, 6, 12.

Учет повреждений, выявленных при гидравлических испытаниях, как усиливающего фактора.

Из числа невыбранных повреждений (повреждения, относящиеся к гидравлическим испытаниям) выбираются все, лежащие в пределах рассматриваемого отрезка. По ним отдельно рассчитывается удельная повреждаемость.

Пример применения методики при формировании отрезков 2-й группы:

Рассмотрим участок тепловой сети (рис. 2):

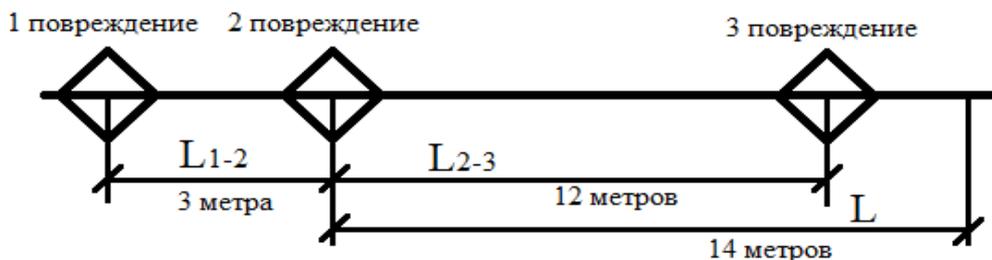


Рис. 2. Участок трубопровода с выявленными повреждениями

На участке трубопровода тепловой сети выбираем отрезок с парой эксплуатационных повреждений (повреждение 1 и 2). Расстояние между повреждениями равно 3 м. Определяем по формуле (1) шаг поиска следующего повреждения:

$$L = 3 / (2 - 1) * 3 + 5 = 14 \text{ м}$$

Если ближайшее эксплуатационное повреждение 3 находится на расстоянии не более 14 м от одной из границ повреждений, в данном случае 12 м от повреждения 2. Т.е. отрезок 2-3 удовлетворяет требуемым условиям и он присоединяется к отрезку 1-2. Таким образом, произошло «наращение» отрезка и уже отрезок 1-3 протяженностью 15 м относится к отрезку 2-й группы. Затем повторяется расчет по формуле (1):

$$L = (3 + 12) / (3 - 1) * 3 + 5 = 27,5 \text{ м}$$

Следующее эксплуатационное повреждение необходимо искать в пределах 27,5 м на данном расстоянии от границ участка 1-3 повреждения не обнаружены, т.е. отрезок сформирован и поиск закончен.

Далее находится следующий участок и повторяется алгоритм формирования отрезка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Москалёв И.Л., Литвак В.В. Разработка принципиально нового подхода к техническому диагностированию тепловых сетей // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи - Томск: СКАН, 2014. - С. 199-203.
2. Журкин И. Г., Шайтура С. В. Геоинформационные системы. - Москва: Кудиц-пресс, 2009. - 272 с

3. С. Кара-Мурза; С. Телегин. Царь-холод, или почему вымерзает Россия // Российский экономический журнал. – 2004. - № 1. – С. 88-93.
4. Зингер Н.М., Малафеев В.А. Технические проблемы развития теплофикации и централизованного теплоснабжения в работах ВТИ // Электрические станции. – 1996. – № 7. – С. 23–28.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СЛИТКОВ НА ОСНОВЕ РЕГУЛИРУЕМОГО КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА

Горшенин А. С., Раилова Р. Р.

Самарский государственный технический университет, г. Самара

В настоящее время все возрастающими темпами увеличивается ассортимент и объемы проката, получаемого из алюминиевых слитков. Анализ технологии производства цилиндрических слитков методом полунепрерывного литья в водоохлаждаемый кристаллизатор выявил главную проблему данного метода - образование неоднородной структуры слитка. Для ее устранения проводят термическую обработку слитков, одним из видов которой является гомогенизационный отжиг. Важным этапом термической обработки является охлаждение слитков после гомогенизации со скоростью, не превышающей критическую - 70 0С/ч для предотвращения закалки сплава.

Проведенный анализ способов охлаждения алюминиевых слитков показал, что наиболее целесообразно использовать специальную камеру, позволяющую обеспечить заданную технологией скорость охлаждения слитков и повысить выработку качественной продукции.

Применение существующих режимов охлаждения не обеспечивает одинаковой скорости снижения температуры во всех частях алюминиевых слитков, особенно на их торцах и на боковых поверхностях крайних слитков, что приводит к отклонению структуры и твердости металла от номинальной и появлению брака при изготовлении готовых изделий.

В настоящее время отсутствуют методы расчета и режимы проведения процессов охлаждения, учитывающие геометрию садки и камеры охлаждения и обеспечивающие одинаковую скорость снижения температуры во всех частях алюминиевых слитков, а также способствующие снижению энергетических затрат.

В связи с этим совершенствование процесса охлаждения алюминиевых слитков воздухом на основе моделирования регулируемого конвективного теплообмена, обеспечивающего одинаковую скорость снижения их температуры во всех точках садки, является актуальной научной задачей, решение которой позволит обеспечить качество выпускаемой продукции.

Для изучения процесса охлаждения слитков в камере охлаждения автором была разработана математическая модель регулируемого конвективного теплообмена в системе алюминиевые слитки – охлаждающий воздух [1].

При разработке математической модели регулируемого конвективного теплообмена в системе алюминиевые слитки – охлаждающий воздух были приняты следующие допущения: 1) задача теплообмена принималась двухмерной; 2) теплообмен рассматривался в половине высоты канала δ и при омывании половины слитка; 3) температура воздуха $t_{в}$ по высоте канала δ принималась одинаковой; 4) температура

охлаждающего воздуха при омывании каждого слитка принималась постоянной; 5) теплообмен рассматривался для каждого отдельного слитка.

Математическая модель конвективного теплообмена в системе ряд горизонтальных алюминиевых слитков – охлаждающий воздух включает в себя расчетную схему (рис. 1), описание процесса теплообмена, ограничение по скорости охлаждения слитков (1), систему уравнений (2) и (3) по изменению температур слитков и воздуха

Описание процесса теплообмена. Процесс нагрева воздуха при охлаждении горизонтального ряда слитков количеством N основывается на решении уравнения охлаждения одного слитка [2]. В соответствии с принятыми допущениями теплообмен между воздухом и слитками рассчитывается отдельно для каждого слитка. В соответствии с этим каждый слиток начинает охлаждаться с одной и той же температуры T_0 . В соответствии с допущением о постоянстве температуры воздуха при омывании одного слитка, считаем, что его температура увеличивается скачком после омывания слитка. Так как температура воздуха t_B от слитка к слитку увеличивается, то перепад температуры между слитками и воздухом в ряду будет уменьшаться, то есть, каждый последующий слиток будет более горячим, чем предыдущий.

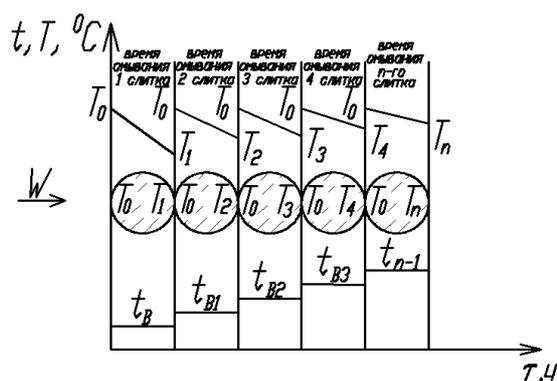


Рис. 1. Расчетная схема к математической модели

При разработке математической модели регулируемого конвективного теплообмена было принято ограничение по скорости охлаждения слитков $\frac{dT}{d\tau}$, которая в интервале температур $500 - 300^{\circ}C$ не должна превышать

$$\frac{dT}{d\tau} \leq 70 \frac{^{\circ}C}{ч}, \quad (1)$$

Система уравнений (2) и (3) по снижению температур T_N каждого из алюминиевых слитков количеством N , расположенных в горизонтальном ряду и по увеличению температур воздуха t_{B_N} выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} t_{B_N} = t_{B_{(N-1)}} + \frac{c_{Пал}}{c_{Pв}} \frac{m_{ал}}{G_B} [(T_{(N-1)} - t_{B_{(N-1)}}) - (T_0 - t_{B1}) \exp(-4 \cdot Bi \cdot Fo)] & (2) \\ T_N = t_{B_{N-1}} + (T_0 - t_{B_{N-1}}) \exp(-4 \cdot Bi \cdot Fo) & (3) \end{cases}$$

Полученная математическая модель регулируемого конвективного теплообмена позволила провести аналитическое исследование конвективного теплообмена в камере охлаждения с использованием уравнений (2) и (3) полученной математической модели. Результаты аналитического исследования конвективного теплообмена в камере охлаждения при поддержании постоянной в процессе охлаждения скорости воздуха W , м/с для слитка диаметром $d = 0,24$, м приведены на рис. 2.

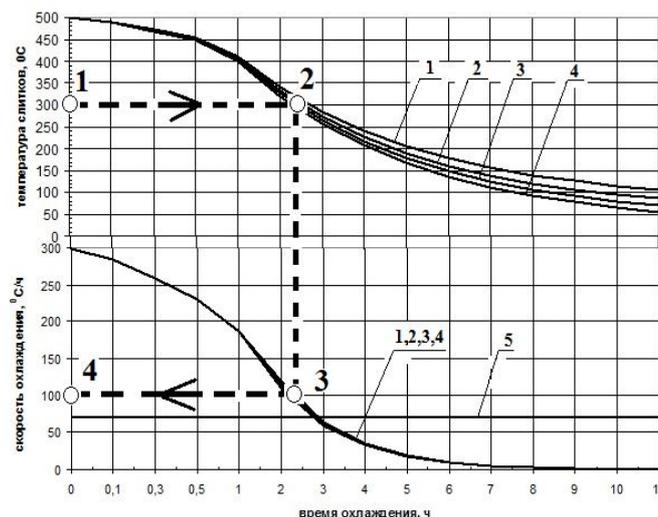


Рис. 2. Изменение температуры и скорости охлаждения слитков от продолжительности охлаждения при постоянной скорости охлаждения $W = 1,1 \text{ м/с}$ (1,2,...,4 – номера слитков, 5 – максимальная скорость охлаждения)

Представленные на рис. 2 зависимости показывают, что при поддержании постоянной скорости охлаждающего воздуха $w = \text{const}$ в процессе охлаждения не удастся обеспечить заданную технологией скорость охлаждения $T/\tau = 70 \text{ }^\circ\text{C/ч}$, что приводит к снижению качества продукции вследствие закалки слитков. Кроме этого сохранение постоянной скорости воздуха $w = \text{const}$ увеличивает продолжительность периода охлаждения.

В целях повышения качества продукции и предотвращения закалки алюминиевых слитков предложен алгоритм обеспечения номинальной скорости охлаждения каждого из алюминиевых слитков любого ряда во временной динамике процесса их охлаждения путем регулируемого конвективного теплообмена в горизонтальной камере охлаждения, учитывающий высоту канала между рядами слитков, их диаметр, изменение скорости воздуха в процессе охлаждения слитков в камере охлаждения.

Согласно уравнениям (2) и (3) математической модели температура воздуха при его течении от слитка к слитку увеличивается, а перепад температуры между слитками и воздухом в ряду наоборот уменьшаться. Тогда каждый последующий слиток будет иметь более высокую температуру, по сравнению с предыдущим. Это приводит к тому, что слитки будут недоохлаждаться, и для каждого последующего слитка величина недоохлаждения будет увеличиваться.

Учитывая это регулирование скорости охлаждения осуществляется путем регулирования скорости воздуха, сначала по температуре первого слитка до момента его охлаждения до 300°C , таким образом, чтобы она не превысила свое номинальное значение, то есть $T1/\tau \leq 70 \text{ }^\circ\text{C/ч}$. После этого предлагается переходить на регулирование скорости охлаждения по второму слитку, путем изменения скорости

воздуха, таким образом, чтобы она не превысила свое номинальное значение, то есть $T1/\tau \leq 70 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ и так до охлаждения последнего в ряду слитка до температуры 300°C . После этого скорость воздуха, а следовательно скорости охлаждения увеличиваются до максимально возможного значения, поскольку при достижении температуры последнего в ряду слитка до величины 300°C эффекта закаливания алюминия, а следовательно потери качества не наступает.

С целью проверки правильности предлагаемого метода было проведено аналитическое исследование регулируемого конвективного теплообмена в камере охлаждения при переменной скорости воздуха W , м/с для слитка диаметром $d = 0,24$, м с высотой канала $\delta = 0,1$ м, результаты которого приведены на рис. 3.

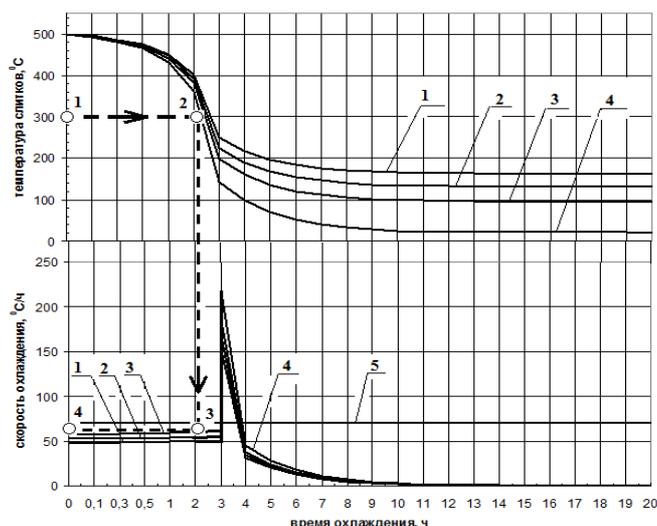


Рис. 3. Зависимость температуры и скорости охлаждения слитков от времени охлаждения, $d = 0,24$ м, $\delta = 0,1$ м при переменной скорости воздуха W (1,2,...,8 – номера слитков)

График изменения температур и скорости охлаждения слитков, представленные на рис. 3, подтверждает влияние переменной скорости охлаждающего воздуха W , м/с на скорость охлаждения слитков T/τ , $^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ и время охлаждения τ , ч. Поддержание расчетной скорости воздуха при охлаждении слитков до 300°C позволяет выдерживать скорость их охлаждения, не приводящую к их закалке и тем самым повышать выработку качественной продукции. Увеличение скорости воздуха до максимальной после охлаждения слитков ниже 300°C позволяет существенно ускорить процесс охлаждения. Общее время охлаждения определяется только заданной технологией конечной температурой слитков.

Для доказательства достоверности математической модели теплообмена было проведено экспериментальное исследование. Экспериментальная камера охлаждения (рис. 4) состояла из рабочего пространства, раздающего и собирающего газоходов, приборов для измерения температуры слитков (термопары ТХА, измеритель-регулятор 2ТРМ1) и скорости воздуха (трубка Прандтля-электронный манометр).

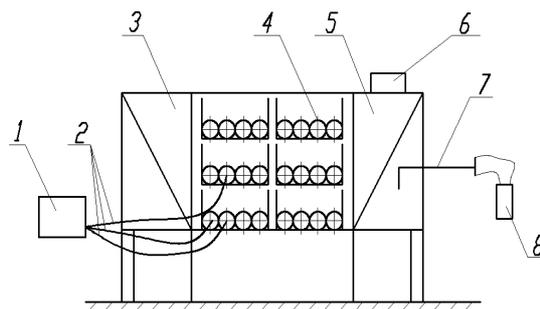


Рис. 4. Схема экспериментальной камеры охлаждения алюминиевых слитков (1- измеритель-регулятор 2TRM1, 2-термопары ТХА, 3-собирающий газоход, 4-алюминиевые слитки, 5-раздающий газоход, 6-вентиляторы, 7-труюка Прандтля, 8-электронный манометр Comarc C9557)

Сопоставление расчетной температуры слитков и полученных экспериментальных данных для одной точки измерения представлено на рис. 5.

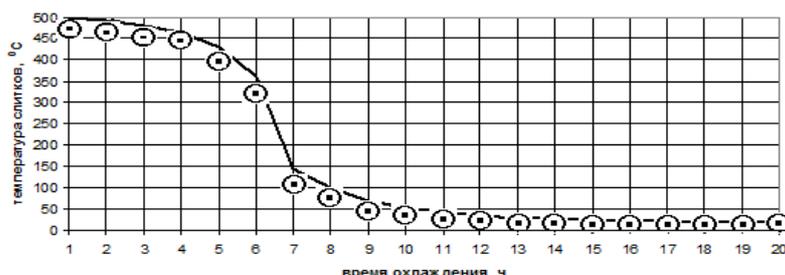


Рис. 5. Сравнение температур слитка.
(сплошная линия – расчетные значения, точки - экспериментальные данные)

Среднее расхождение между теоретическими и экспериментальными данными составляет 34%. Полученная погрешность позволяет рекомендовать полученную математическую модель для применения в проектной и эксплуатационной практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горшенин, А.С. Математическое моделирование теплообмена при охлаждении ряда алюминиевых слитков [Текст] / А.С. Горшенин // Вестник СГАУ. – 2012. - № 2(33). – С. 179 – 183. - ISSN 1998-6629.
2. Горшенин, А.С. Математическая модель охлаждения алюминиевого слитка после гомогенизационного отжига [Текст] / А.С. Горшенин // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании, 2011: Материалы международной научно-практической конференции // Одесский нац. морской ун-т. – Одесса, 2011. – С. 3 –5.

КРУГЛЫЙ СТОЛ 3. СТРАТЕГИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ НА ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕ ЗДАНИЯ И ВНУТРЕННИЙ МИКРОКЛИМАТ ПОМЕЩЕНИЙ

Степанова Т. А.

Томский государственный архитектурно–строительный университет, г.Томск

В новом жилищном строительстве широкое распространение получило крупнопанельное домостроение. В связи с этим первостепенное значение приобретает изучение микроклимата крупнопанельных жилых домов, поскольку именно микроклимату принадлежит важнейшая роль в создании оптимального режима труда, быта и отдыха людей в условиях жилища.

Среди многих факторов, оказывающих влияние на формирование микроклимата жилища, теплозащитным свойствам наружных ограждающих конструкций принадлежит ведущая роль.

Известно, что при неудовлетворительных теплозащитных свойствах ограждающих конструкций температура воздуха внутри помещения падает. Наиболее уязвимыми местами являются стыки панелей и примыкание конструктивных элементов друг к другу. Так, например, температура внутренней поверхности наружной стены в месте стыка зимой будет ниже, чем на простенке, а при повышенной влажности воздуха может оказаться ниже температуры точки росы.

В результате могут создаваться условия для конденсации водяных паров в месте стыка панелей, появление сырости и плесени.

Следует отметить, что высокая влажность воздуха в совокупности с низкой температурой ограждений вызывает не только конденсацию водяных паров и сырость в квартире, но и ведет к усиленным теплопотерям организма излучением, к нарушению наиболее благоприятного соотношения различных видов теплопотерь человека[1].

По данным исследования [2] можно сделать вывод, что микроклимат крупнопанельных жилых домов с ограждающими конструкциями стен – трехслойных бетонных панелей с утеплителем из полужестких минераловатных плит следует признать благоприятным во все сезоны года.

Однако, с точки зрения энергопотребления жилые здания такого конструктивного решения относятся к классу С с годовым потреблением тепла 120-300 кВтч/м².

Энерго – и ресурсосбережение является задачей мирового масштаба, решением которой ученые, проектировщики и эксплуатационщики занимаются на протяжении многих лет. Снижение энергопотребления эксплуатируемых зданий может быть достигнуто путем повышения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций, а также использованием отопительных систем с управляемыми тепловыми режимами. Не менее важны и архитектурные решения фасадов зданий.

В нашей стране уровень тепловой защиты здания наружными стенами оставался почти без изменений до 1994 года. Он определялся нормированием величины приведенного сопротивления теплопередаче, которое было основано на принципах обеспечения санитарно-гигиенических требований внутри помещения и ограничения теплопотерь в отопительный период при минимуме приведенных затрат на возведение ограждения и его эксплуатацию. Поэтому при проектировании наружного ограждения должны были соблюдаться два условия:

- сопротивление теплопередаче R_0 во всех случаях должно быть не менее требуемого по санитарно-гигиеническим условиям сопротивления теплопередаче $R_0^{тп}$;

- сопротивление теплопередаче ограждения R_0 принимается равным экономически целесообразному сопротивлению $R_0^{эК}$, определяемому из условия обеспечения наименьших приведенных затрат.

Следует отметить, что нормирование сопротивления теплопередаче стены по санитарно-гигиеническим требованиям основано на принципе обеспечения минимальных комфортных условий внутри помещений и осуществляется с учетом тепловой инерции ограждающих конструкций и расчетной зимней температурой наружного воздуха, принимаемой по СНиП 23-01-99.

В соответствии с принятым Федеральным законом от 23.11.2009 №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» был проведен ряд мероприятий по расчету и анализу применения энергоэффективных конструкций, способствующих снижению теплопотерь здания, а следовательно, и расхода энергии на отопление. Государственное регулирование в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности осуществляется путем установления: 1) требований к обороту отдельных товаров, функциональное назначение которых предполагает использование энергетических ресурсов; 2) обязанности по учету используемых энергетических ресурсов; 3) требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений; 4) обязанности проведения энергетического обследования.

Минимизировать потери тепла можно путем применения современных стеновых панелей, а также мелкоштучных материалов, с высоким показателем сопротивления теплопередаче. Однако, применение одних эффективных несветопрозрачных ограждающих конструкций недостаточно.



Рис. 1. Тепловые потери через ограждающие конструкции

Должное внимание следует уделять и светопрозрачным наружным ограждениям. Наиболее эффективными являются оконные блоки с двухслойным вакуумным стеклопакетом и нанесением на одно стекло теплоотражающего покрытия, а также трехкамерные стеклопакеты как с низкоэмиссионным покрытием, так и без него. При этом главное энергосберегающее качество новых энергосберегающих конструкций

окон заключается в их герметичности, что влияет на снижение тепловых затрат на подогрев холодного инфильтрующегося воздуха.

При создании весьма герметичной оболочки здания с минимальным поступлением инфильтрующегося воздуха важным моментом является поддержание нормального микроклимата помещения согласно строительным нормам и требованиям санитарных правил и норм [3-5], так как человек большую часть жизни проводит в замкнутом пространстве помещения и вынужден дышать внутренним воздухом.

Использование систем естественной приточной вентиляции не достаточно эффективно в настоящее время, потому, что воздушный режим помещения становится зависимым от температуры наружного воздуха и влияния ветра. Открытие форточек, как правило, приводит к охлаждению помещения, проникновению шума с улиц и ощущению дискомфорта. Поэтому целесообразно устройство регулируемой вентиляции с естественным притоком воздуха через специальные клапаны – приемники с рекуперацией тепла, что позволяет нормализовать воздушно – тепловой режим квартир, обеспечить требуемый воздухообмен, снизить затраты тепла на 10–15% [6].

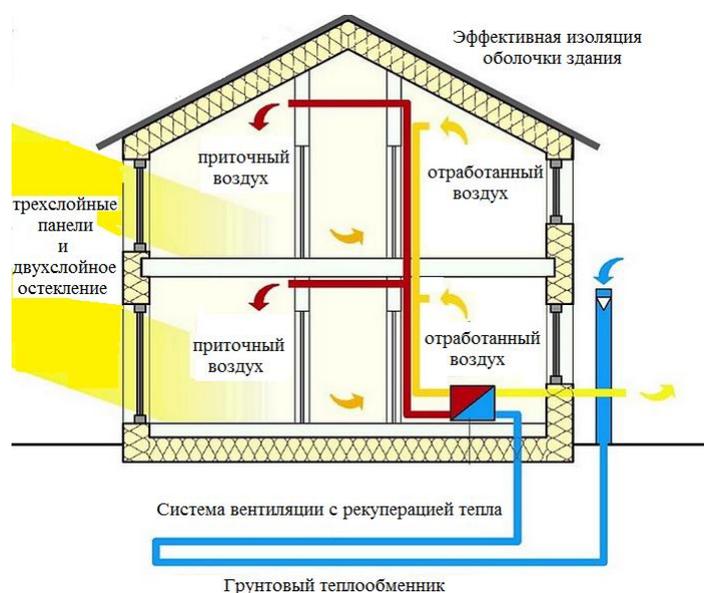


Рис. 2. Принцип устройства теплоизоляции по контуру и энергоэффективных устройств

Существенно снизить энергопотребление возможно с помощью энергосберегающих мероприятий в системе горячего водоснабжения (ГВС). В жилых зданиях расход тепла на системы ГВС может достигать 30 – 35% от общего энергопотребления.

В настоящее время используются мероприятия как установка индивидуальных теплосчетчиков, кранов с регулируемым напором горячей воды, а также использование теплоты грунта, канализационных стоков или вентиляционных выбросов для подогрева воды.

Таким образом при проектировании энерго- и ресурсосберегающих зданий необходимо просматривать все варианты применения конструкций и приборов существенно снижающих потери тепла, и выбирать оптимальные как с экономической, так и экологической точки зрения.

В рамках международного конкурса «Проектирование мультикомфортного дома Saint-Gobain ISOVER» был детально проработан и рассчитан на годовое потребление

тепловой энергии пятиэтажный дом проектируемого жилого комплекса для холодного климата к г. Астана, Казахстан.

Здание запроектировано монолитное, с утеплением наружных ограждающих конструкций способом «утеплителем наружу».

Использована система вентилируемого фасада (приведенное сопротивление передачи $9,1\text{ м}^{20}\text{С/Вт}$). Приведенное сопротивление теплопередаче конструкции окон составило $1,41\text{ м}^{20}\text{С/Вт}$, кровли $9,09\text{ м}^{20}\text{С/Вт}$, подвального перекрытия $6,25\text{ м}^{20}\text{С/Вт}$. Также в здании используется альтернативный источник тепла – система вентиляции с рекуперацией тепла и грунтовый теплообменник длиной 80м и эффективностью 33%.

В результате расчета годовое потребление пятиэтажного жилого дома составило $30,57\text{ кВтч/м}^2\text{ год}$. По классу энергоэффективности относится к А+.

Следовательно, можно сделать вывод, что теплозащитные свойства ограждающих конструкций оказывают большое влияние на теплопотребление зданий.

При этом не следует забывать, что чем герметичнее проектируется оболочка здания, тем детальнее необходимо продумывать устройство вентиляции.

Только комплексное использование энергоэффективных конструкций с высокими показателями приведенного сопротивления теплопередаче могут привести к положительным результатам в снижении теплопотерь здания и расхода тепловой энергии на отопление. Расчет и анализ применения таких конструкций должен проводиться на стадии проектирования с учетом технико-экономических показателей и рентабельности принятых мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы строительной теплофизики / под ред. Э.Х. Одельского. – Минск: Высшая школа, 1964 – 527 с.
2. Шпилевский Э.М. Особенности микроклимата жилых домов из трехслойных панелей // Труды межвузовской научной конференции совместно с работниками промышленности и проектных институтов. – 2006. – С. 106-115.
3. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 76с.
4. СанПиН 2.1.2.1002-00. Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям / Минздрав России. – М.: ГЭНРФ ГЭП, 2001. -20.с
5. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. М.: ГУП ЦПП, 2004.
6. ТР АВОК-4-2004. Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах многоэтажного жилого дома. – М.: Правительство Москвы, Комплекс архитектуры, строительства, развития и реконструкции города, 2004, 32с.
7. Монастырев П.В. Технология устройства дополнительной теплозащиты стен жилых зданий. – М.: АСВ, 2002. – 156 с.
8. Самарин О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность / Монография. – М.: Издательство АСВ, 2009. – 296с.
9. Савин В.К. Энергоперенос. Энергоэффективность. Энергосбережение. – М.: Лазурь, 2005. – 430 с.
10. Программа MultiComfortDesigner 3.5.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Лукин М. Г., Юрьев Д. В., Глухенько Е. Е.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В структуре промышленного энергопотребления асинхронный электропривод, ввиду своей простоты и надежности, составляет 50...70% общего потребления и в то же время является основным источником электрических потерь. Доля энергопотребления асинхронных двигателей в структуре потребления машиностроительного предприятия составляет 50%. Установок электрического освещения - 20%. Синхронных двигателей - 8%.

К.п.д. асинхронного привода невелико и составляет 0,7...0,85 в номинальном режиме работы, а при недогрузках в значительной степени снижается и достигает значений 0,1...0,2. Такая ситуация приводит к резкому росту энергопотребления, загрязнению электросетей реактивными токами, снижению срока службы и надежности электродвигателей и другим сопутствующим проблемам. На потребление электроэнергии электродвигателем влияет величина потерь электроэнергии во всей структурной цепочке. К сожалению, более 90% электродвигателей являются нерегулируемыми, что приводит к неэффективному расходованию электроэнергии, объем которой, по оценкам специалистов, достигает 30% от общего потребления и в 2,5...3 раза больше аналогичного показателя в индустриально развитых странах. Чем больше мощность используемого электродвигателя, тем выше требования к энергетическим характеристикам самого привода. Так, энергоэффективность приводов мощностью более 1 кВт зависит от принципа формирования питающего напряжения и алгоритма управления асинхронным трехфазным электродвигателем.

Основной целью, является рассмотрение возможностей проектирования асинхронных двигателей с повышенными энергетическими показателями, для обеспечения максимального энергосбережения всего электропривода.

Для достижения этой цели, должно быть выполнено следующее:

- подбор наиболее подходящего метода для повышения энергетических показателей асинхронного двигателя;
- проведение исследования на конкретном двигателе;
- анализ полученных результатов.

На сегодняшний день можно выделить четыре основных направления развития технологий повышения энергетических показателей, применяемых для минимизации потерь в асинхронном электроприводе в производстве.

Во-первых, это повышение эффективности использования электроэнергии посредством создания эффективных систем управления питанием электроустановок.

Во-вторых, это снижение потерь электрической энергии при ее преобразовании в механическую и передачу в зону обработки.

В-третьих, это рациональное распределение реактивной составляющей потребляемой электрической энергии.

В-четвертых, это подбор, на этапе подготовки производства, оборудования с минимальным запасом по мощности, т.е. с номинальной мощностью, соответствующей эквивалентной мощности реализуемых на нем технологических процессов.

Вместо всех этих четырех методов, можно отдать предпочтение еще одному наиболее приемлемому способу, т.е. снижению потерь электрической энергии на этапе проектирования, при модернизации асинхронного двигателя с повышенными энергетическими показателями.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЯ ОТ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Сурмагин Д. В.

Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва

Вопрос автономного электроснабжения для потребителя с установленной мощностью до 15 кВт, расположенных в районах, где прокладка сетей проблематична и затратна, а освоение районов необходимо с использованием современных энергетических технологий, становится все более популярным. Альтернативное энергоснабжения потребителя актуально во всем мире, во многих странах существуют программы поддержки альтернативной энергетики.

В различных регионах России, с учетом климатических условий, применения сочетания источников альтернативной энергии - световой, ветровой, биологической и традиционной малой мощности, решается использованием технологий smart-green.

Для примера, рассматривался объект электроснабжение индивидуального жилого дома, с координатами: широта 44,39 и долгота 33,77, одновременно являющийся южным и приморским регионом страны. Исследование альтернативных источников электроснабжения индивидуального жилого дома проводилось от солнечной и ветрогенераторной электроустановок.

Исследование метеорологических данных, показало преимущество совместной работы солнечной и ветровой установок. На рассматриваемой территории: высокая скорость ветра в зимний период и низкая в летний, солнечная инсоляция - мала в зимний период и велика в летний. Совместная выработка электроэнергии имеет сглаженный характер.

Преимуществом предложенной системы является- надежность электроснабжения и независимость от электроснабжающих организаций, тарифов на электроэнергию. Выбранные источники электроэнергии являются экологически чистыми - green energy, это несомненно их достоинство.

Результат исследования – проект «Smart-green level one» электроснабжения индивидуального жилого дома от солнечной электроустановки суммарной мощности 3,2 кВт и ветрогенератора мощностью 1 кВт. Проект выполнен в соответствии с действующими нормативными документами России и Евросоюза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архив исследовательского центра НАСА, свободный доступ: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>, 25.05.2015.
2. Дерюгина Г.В., Малинин Н.К., Пугачев Р.В. Основные характеристики ветра. Ресурсы ветра и методы их расчета. Учебное пособие – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 306 с.

УСТРОЙСТВО И СПОСОБ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОМ РЕЖИМЕ

Карпов Д. Ф., Павлов М. В., Серова М. С., Герасимовская А. Н.,
Капкина Е. С., Куликова А. В., Березина В. П.

Вологодский государственный университет, г. Вологда

В связи с огромной значимостью термических показателей различных композиционных материалов, широко применяемых в строительстве, существует большое количество классических способов определения теплопроводности твердых тел, построенных на методах стационарной и нестационарной теплопроводности [1–3]. К современным способам нахождения теплофизических параметров твердых тел предъявляют ряд технических требований: организация режима теплового возмущения физического тела источником бесконтактного нагрева; определение температурных полей исследуемого тела неразрушающим способом; использование приборно-измерительной базы, принцип работы которой основан на применении инфракрасного или ультразвукового сигнала; высокая точность и надежность измерений; простой математический вид расчетных уравнений [4–8].

Исходя из актуальности подобных исследований и практической ценности точных значений теплофизических свойств твердых композиционных материалов для строительства и энергетики, авторами статьи разработаны, теоретически обоснованы и экспериментально реализованы устройство и способ определения и контроля теплопроводности твердых композиционных строительных материалов активным методом теплового неразрушающего контроля (ТНК) при стационарном тепловом режиме (стадия нагрева). Разработанный способ относится к стационарным методам определения теплопроводности плоских однослойных строительных конструкций и их элементов. Может применяться в области ТНК, строительства, энергетики и теплоэнергетики, при проведении тепловых испытаний однородных и неоднородных конструкций строительных объектов, теплопроводных и теплоизоляционных материалов и изделий. Для реализации способа разработана и смонтирована лабораторно-экспериментальная установка (устройство) (рисунок 1), предназначенная для исследования твердых объектов при температуре окружающего воздуха от $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха $\varphi \leq 85\%$.

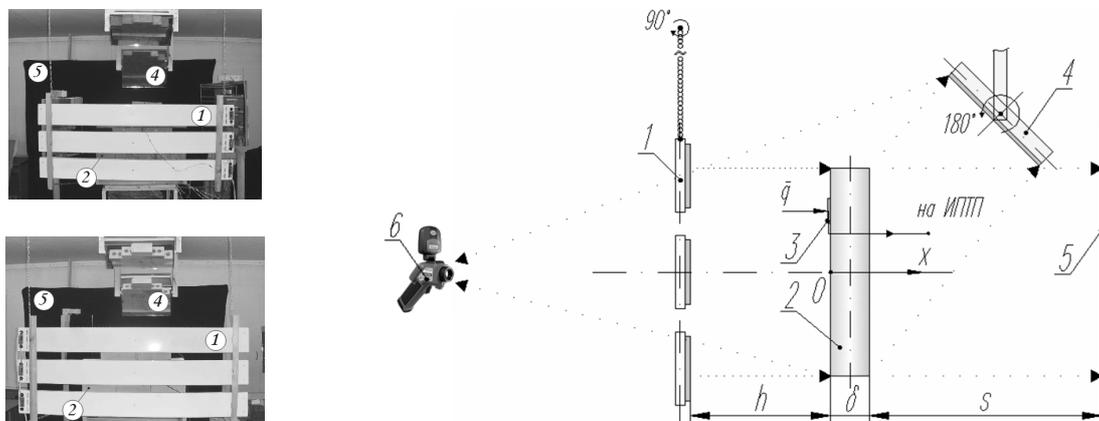


Рис. 1. Натурный вид устройства и принципиальная схема реализации способа:
1 – источник инфракрасного излучения; 2 – твердое тело; 3 – преобразователь плотности теплового потока; 4 – зеркальный отражатель; 5 – светопоглощающий экран; 6 – бесконтактный измеритель температуры

Краткое описание и принцип работы установки (устройства). Инфракрасный электрический излучатель ЭЛК 10R 1 проецирует на переднюю лицевую поверхность (ПЛП) твердого тела 2 при $x=0$ поток электромагнитного излучения, где он преобразуется во внутреннюю энергию. Последнее приводит к бесконтактному нагреву ПЛП твердого тела 2 во времени. Градиент температур, возникший по направлению вдоль оси Ox вследствие неравномерного распределения температур в твердом теле 2, формирует достаточное условие для движения потока теплоты теплопроводностью сквозь твердое тело 2 к его задней лицевой поверхности (ЗЛП) при $x=\delta$. Величину плотности теплового потока q регистрирует преобразователь плотности теплового потока ПТП-0,25 3, который передает сигнал на компьютер (условно не показан) через ИПТП ИПП-2. Зеркальный отражатель 4 с помощью отраженного теплового излучения отображает температурное поле ЗЛП твердого тела 2. Часть инфракрасного излучения от нагретого твердого тела 2 поступает на поверхность светопоглощающего экрана 5 без последующих отражений. При установлении стационарного теплового режима в твердом теле 2 благодаря вращательному механизму источник инфракрасного излучения 1 поворачивают на 90° в горизонтальное положение. С помощью бесконтактного измерителя температуры 6, установленного на штативе, производят одновременную съемку температурного поля ПЛП и ЗЛП твердого тела 2.

Краткое описание способа. Если начальный момент времени принять равным нулю, то время, за которое твердое тело 2 выйдет на стационарный тепловой режим, вычисляют по аналитическому выражению:

$$\tau = \frac{\delta^2}{a}, \text{ с}, \quad (1)$$

где δ - толщина твердого тела 2, м; a - температуропроводность твердого тела 2, $\text{м}^2/\text{с}$, которой предварительно задаются.

Пусть t_0 и t_δ - средние значения температур ПЛП и ЗЛП или отдельных участков твердого тела 2 соответственно в координатах $x=0$ и $x=\delta$ (таблица 1) при установившемся стационарном тепловом режиме с момента времени τ . Тогда для определения коэффициента теплопроводности твердого тела 2 применяют уравнение теплопроводности для плоской стенки при стационарном тепловом режиме:

$$\lambda_t = \frac{q\delta}{t_0 - t_\delta}, \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C}), \quad (2)$$

где q - плотность теплового потока на ПЛП твердого тела 2 при $x=0$ по данным ИПТП ИПП-2, $\text{Вт}/\text{м}^2$; δ - толщина твердого тела 2, м.

В таблице 1, согласно принципиальной схеме реализации способа (рисунок 1), приведены некоторые результаты измерения тепловизором марки SDS HotFind-D температурных полей ПЛП и ЗЛП твердого тела на примере керамического (полнотельный одинарный рядовой М150, $\rho=1800 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\varphi=2\ldots5 \%$) и силикатного кирпичей (строительный 3-х пустотный М150, $\rho=1800 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\varphi=2\ldots5 \%$).

В таблице 2 представлены результаты определения коэффициентов теплопроводности керамического и силикатного кирпичей, рассчитанные по аналитическому выражению (2).

Относительные отклонения экспериментальных значений коэффициента теплопроводности от нормативной величины для обоих твердых композиционных строительных материалов ($\lambda_{req}=0,56 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ для керамического кирпича,

$\lambda_{req} = 0,82 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ для силикатного кирпича) находятся в допустимом интервале значений и не превышают 24 % [3].

Таблица 1. Некоторые результаты тепловизионной съемки фрагментов строительных конструкций из керамического и силикатного кирпичей

х	Термограмма	Гистограммный анализ температурного поля	Температура поверхности тела
керамический кирпич			
0			$t_{max} = 103,9 \text{ °C}$; $t_{min} = 38,7 \text{ °C}$; $t_{av} = 95,8 \text{ °C}$
δ			$t_{max} = 48,9 \text{ °C}$; $t_{min} = 39,5 \text{ °C}$; $t_{av} = 43,7 \text{ °C}$
силикатный кирпич			
0			$t_{max} = 98,8 \text{ °C}$; $t_{min} = 95,2 \text{ °C}$; $t_{av} = 97,5 \text{ °C}$
δ			$t_{max} = 40,4 \text{ °C}$; $t_{min} = 39,8 \text{ °C}$; $t_{av} = 40,2 \text{ °C}$

Таблица 2. Результаты аналитического определения коэффициентов теплопроводности фрагментов строительных конструкций из керамического и силикатного кирпичей

№ п/п	q , Вт/м ²	δ , м	t_0 , °C	t_δ , °C	λ_t , Вт/(м·°C)
керамический кирпич					
1	274	0,120	95,8	43,7	0,631
2			81,5	37,5	0,747
3			89,4	42,9	0,707
Среднеарифметическое значение λ_{av} , Вт/(м·°C)					0,695
силикатный кирпич					
1	387	0,120	98,8	39,9	0,788
2			97,5	40,2	0,810
3			94,1	41,1	0,876
Среднеарифметическое значение λ_{av} , Вт/(м·°C)					0,825

Полученные в рамках исследования коэффициента теплопроводности керамического и силикатного кирпичей результаты согласуются с нормативными данными, результатами исследований других авторов, данными заводов-изготовителей соответствующей строительной продукции, а также с результатами, опубликованными в справочной и научно-технической литературе [3, 6–8].

Следует отметить, что разработанный способ и устройство для его реализации в сравнении с классическими способами определения и контроля теплофизических свойств твердых строительных материалов и изделий при стационарном и нестационарном тепловых режимах отвечают современным научно-техническим требованиям: использование внешнего источника теплоты; определение температурных полей исследуемого объекта методом ТНК; применение современных измерительно-вычислительных приборов, действие которых основано на генерации и получении инфракрасного или ультразвукового сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аметистов Е.В., Белосельский Б.С., Емцев Б.Т. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: справочник; под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – В 4-х т. – Т. 2. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 560 с.
2. Юренев В.Н., Лебедев П.Д. Теплотехнический справочник: справочник; под ред. В.Н. Юренева, П.Д. Лебедева. – В 2-х т. – Т. 2. – М.: Энергия, 1976. – 896 с.
3. Сеницын А.А., Карпов Д.Ф., Павлов М.В. и др. Исследование теплопроводности и температуропроводности твердого тела при стационарном и нестационарном тепловых режимах: учебное пособие. – Вологда: ВоГУ, 2014. – 176 с.
4. Способ определения теплопроводности твердого тела активным методом теплового неразрушающего контроля / Карпов Д.Ф., Павлов М.В., Сеницын А.А. и др.: пат. 2488102 Российская Федерация, (51) МПК G01N 25/18 (2006.01); заявл. 21.02.2012 г.; опубл. 20.07.2013 г.; Бюл. № 20. – 8 с.
5. Карпов Д.Ф., Павлов М.В., Сеницын А.А. и др. Экспериментально-расчетное определение коэффициента теплопроводности твердого тела на примере силикатного кирпича активным методом теплового неразрушающего контроля // Научно-технический журнал «Вестник ТГАСУ». Научное издание. – Томск: ТГАСУ. – 2014. – №2 (43). – С. 118 – 126.
6. Фокин В.М., Чернышов В.Н. Неразрушающий контроль теплофизических характеристик строительных материалов. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2004. – 212 с.
7. Кауфман Б.Н. Теплопроводность строительных материалов. – М.: Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1955. – 161 с.
8. Свод правил по проектированию и строительству: Проектирование тепловой защиты зданий: СП 23-101-04: введ. 01.06.04. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 141 с.

КРУГЛЫЙ СТОЛ 4. ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ЭФФЕКТИВНОГО РАДИАТОРА ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ ТРАНЗИСТОРОВ MOSFET

Вавилов В. Е., Фаррахов Д. Р., Меднов А. А., Минияров А. Х.
Уфимский государственный авиационный технический университет, г.Уфа

В современных конструкциях электронной техники немаловажную роль отводят полупроводниковым ключам – транзисторам. На них приходится большая токовая нагрузка, что неизбежно приводит к росту тепловыделения. Традиционно данная проблема решается увеличением площади охлаждения радиатора и установкой принудительного обдува. Это приводит к повышению массогабаритных показателей, а в случае с установкой принудительного охлаждения возрастает не только масса и габариты, но и энергопотребление оборудования. Энергетические и массогабаритные показатели приобретают первостепенное значение в особо ответственных узлах авиационной техники.

С целью решения проблемы подбора эффективного радиатора авторами было проведено исследование, результаты которого позволяют с высокой точностью рассчитать площадь его охлаждающей поверхности.

Тепловое сопротивление — это отношение толщины радиатора к произведению коэффициента теплопроводности материала и площади его поверхности. Из этого следует, что возможно выполнить обратное преобразование и произвести расчёт оптимальной площади поверхности охлаждения. [1] Расчет данным методом не учитывает изменение параметров теплопроводности при повышении температуры материалов, что приводит к большим погрешностям. Радиатор, выбранный без учёта температурных параметров оказывается громоздким и имеет завышенный запас по перегреву. С целью повышения эффективности и снижения массогабаритных показателей были проведены исследования, позволившие выявить температурную зависимость и построить новую тепловую модель системы радиатор-транзистор.

Для решения данной проблемы построена модель с параллельным теплоотводом с поверхностей корпуса транзистора и радиатора в окружающую среду. В связи с этим схема термических сопротивлений приводится к следующему виду:

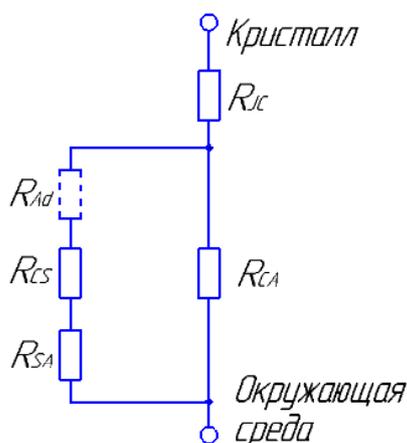


Рис. 1. Эквивалентная схема тепловых сопротивлений системы транзистор-радиатор

На рис.1 изображены следующие тепловые сопротивления: R_{CA} (*case to ambient*) отражает передачу тепла в окружающую среду параллельно теплоотводу радиатора; R_{Ad} (*Additional*) добавляется в цепь при наличии дополнительных прокладок между радиатором и электронным компонентом, а также учитывает нанесение термопасты на контактную поверхность.

Ввиду малого тепловыделения от прокладки в окружающую среду предлагается считать её тепловое сопротивление включенным в последовательную цепь с тепловыми сопротивлениями R_{SA} (*sink to ambient*) и R_{CS} (*case to sink*).

Стоит отметить, что R_{CA} изменяется по двум причинам: уменьшение площади контакта корпус-окружающая среда и влияние температуры на теплопроводность материала. Учитывать данные параметры при расчёте радиатора предлагается путём подбора соответствующего коэффициента.

Расчёт значения R_{SA} осуществляется по известной формуле [2], но с учётом необходимых коэффициентов коррекции температуры.

На рис. 2 представлены алюминиевые радиаторы, рассчитанные по существующей и разработанной методикам для отвода одинакового количества теплоты. Так радиатор, расположенный справа, имеет размеры 50x57x27 и массу – 143 г, а слева размеры 90x90x30 и массу 180 г., то есть расчёт по предложенной методике позволяет снизить массу до 21%.

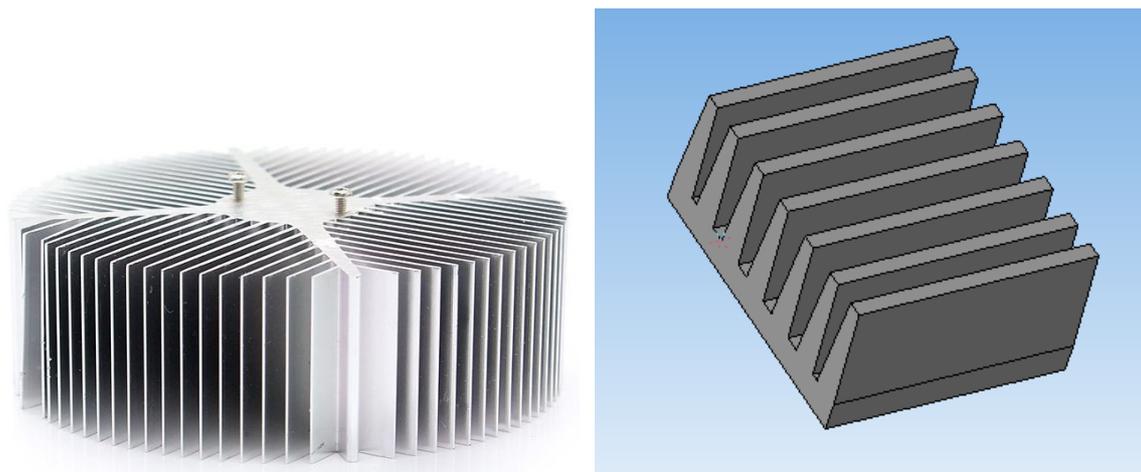


Рис. 2. Сравнение радиаторов, рассчитанных на 10 Вт по существующей (слева) и предлагаемой (справа) методикам

Таким образом, выбор эффективного радиатора по предлагаемой методике позволяет сократить массогабаритные показатели и увеличить полезный объем внутри приборов, что является крайне важным для авиакосмической техники. Всё это позволяет сделать вывод о том, что повышение энергетической эффективности возможно за счёт оптимального проектирования элементов охлаждения силовой электроники летательных аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сипайлов Г. А., Санников Д. И., Жадан В. А./ Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах: Учеб. Для вузов по спец. «Электромеханика». – М.: Высш. Шк., 1989.-239 с.: ил.
2. Thermal Considerations in the Application of Silicon Rectifier. IR Designer's Manual, 1991.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ МАЛЫХ СЕРИЙ

Шенделев М. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Заводы электротехнической промышленности выпускают различные электрические двигатели разной мощности. Все эти двигатели отличаются по конструкции, технологии изготовления, мощности. Однако наиболее массовой продукцией большинства заводов являются электрические машины средней и малой мощностей. Т.к. данные двигатели нашли широкое применение в быту, промышленности, в научных исследованиях и во многих других областях.

Активная часть электродвигателей изготавливается из листов электротехнической стали, которые, в свою очередь, требуют определённой обработки. Необходимо придать форму зубцам стали методом последовательной пробивки пазов до периферии заготовки листа. Для данной обработки основное внимание уделяют следующим качествам:

- точность расположения пробитых пазов;
- быстродействие;
- время переналадки оборудования;
- долговечность оборудования.

Для такой обработки листов стали применяется пазовырубной пресс А0920Ф3М (рис. 1), отвечающий всем требованиям технологии производства электродвигателей малых серий.



Рис. 1. Общий вид пазовырубного станка

Отличительные особенности пресса модели A0920Ф3М

Усилие пресса увеличено до 150 кН, по сравнению с предыдущей моделью, что положительно сказывается на долговечности пресса. Наибольшее число ходов ползуна до 300 в минуту, а точность расположения пробитых пазов при этом находится в пределах 0,5'. Узел перемещения делительного механизма оснащен датчиком линейных перемещений, что позволяет осуществлять точную и быструю координацию оси шпинделя относительно середины пазов. Это новшество существенно сокращает время переналадки пресса на новую деталь. Общее время переналадки пресса на новую деталь складывается из времени: замены штампа, деталей крепления заготовки на шпинделе и изменения расстояния от центра шпинделя до середины паза. Как показывает опыт, это время не превышает 30 мин.

Управление прессом при помощи ЧПУ модели NC-200

На прессе A0920Ф3М поворот заготовки на требуемый угол производится от ЧПУ модели NC-200(рис.2).

ЧПУ NC-200-это малогабаритное, моноблочное устройство, в котором соединены в единое целое и блок управления, и пульт оператора, и станочный пульт, предназначено для управления станками простой конфигурации с количеством осей не более 4-х и дискретными входами-выходами не более 64/48. Заложенный в конструкции принцип компактности сделал возможным совмещение в одном устройстве высокой надежности, удобства в работе, хороших возможностей и низкой цены.



Рис. 2. Общий вид ЧПУ NC-200

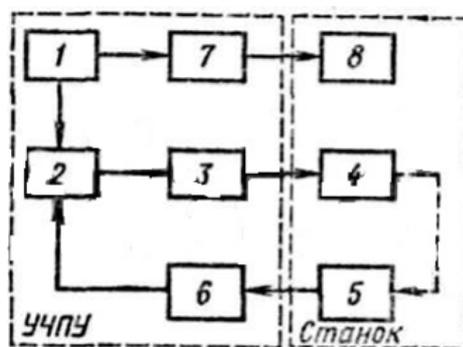


Рис. 3. Общая структура системы ЧПУ

Система числового программного управления (ЧПУ) – это совокупность специализированных устройств, методов и средств, необходимых для осуществления ЧПУ станками. Устройство ЧПУ станками – часть системы ЧПУ (рис.3), связанная конструктивным единством, осуществляющая выдачу управляющих воздействий по заданной программе. С устройства ввода программы 1 технологическая информация поступает в блок технологических команд 7, а затем на исполнительные механизмы 8, отрабатывающие технологическую информацию. Геометрическая информация с устройства ввода программы 1 поступает в устройство обработки программ 2, а затем в устройство управления приводом 3 и на привод 4. Привод 4 приводит в движение какой-либо исполнительный механизм пресса, например, ползунок. Датчик 5 контролирует положение исполнительного механизма и корректирует его перемещение через блок связи 6.

Для программируемого поворота заготовки на заданный угол используется одна координата. Оператор с пульта УЧПУ задает нужное количество пазов, далее ЧПУ автоматически рассчитывает соответствующий угол поворота для вырубки одного паза и происходит вырубка заданного числа пазов. В предыдущих моделях прессов использовался делительный механизм типа «Фергюсон». Применение такого механизма в пазовырубных прессах потребовало создать трехступенчатую коробку передач, в которой для каждого числа вырубаемых пазов в заготовке, а их количество колеблется от 20 до 250, необходимо устанавливать определенное передаточное отношение, путем смены трех пар шестерен. Шестерни, как и детали делительного механизма «Фергюсон» должны быть изготовлены с высокой степенью точности, так как от них также зависит точность взаимного расположения пазов. Другим фактором, влияющим на точность позиционирования заготовки, являются зазоры в сопрягаемых парах делительного механизма. Этот фактор носит личностный характер и зависит от квалификации работника, так как настройщик пазовырубного прессы при смене выпускаемой продукции, осуществляет замену шестерен и сводит зазоры между ними к «0», что требует большого опыта.

Опыт работы с данным делительным механизмом показал, что при 600 х/мин точность позиционирования заготовки снижается и составляет $\approx \pm 0,2$ мм на радиусе 500 мм при паспортных характеристиках $\pm 0,1$ мм.

При высокой производительности (до 600 пазов в минуту) точность позиционирования заготовки снижается до 50% от паспортной, что можно объяснить колебаниями системы.

Паспортная точность позиционирования равная $\pm 0,1$ мм достигается при 300...400 об/мин и отсутствии зазоров в шестернях и механизме «Фергюсон». Необходимо длительное время переналадки прессы (1,5...2 часа) при переходе на изготовление новой детали, что существенно снижает производительность.

Требуется склад сменных высокоточных шестерен (нередко до 500 наименований), стоимость которых соизмерима со стоимостью самого пазовырубного прессы

Выводы

В процессе изучения технологии пробивки пазов в листах электротехнической стали было доказано, что применение пазикового прессы с ЧПУ для регулирования угла поворота имеет ряд преимуществ: точность позиционирования при высокой производительности; уменьшенное время переналадки; отсутствие необходимости в привлечении высококвалифицированных работников с большим опытом работы; более простая конструкция по сравнению с механизмом типа «Фергюсон».

Данный тип управления прессом применяется в г. Томске в ООО «Сибирская электротехническая компания».

ЛИТЕРАТУРА

1. Пресс пазовырубной А0920.Ф3: [Электронный ресурс] – режим доступа http://www.equipnet.ru/equip/equip_28658.html, свободный, дата обращения 14.08.2015.
2. Пресс пазовырубной А0920.Ф3: [Электронный ресурс] – режим доступа <http://altinfoyg.ru/index.php/nit/otex/ppp.html> свободный, дата обращения 15.08.2015.
3. ЧПУ NC-200: [Электронный ресурс] – режим доступа http://www.elmis.by/index.php?option=com_content&task=view&id=77 свободный, дата обращения 10.10.2015.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ожанов М. А., Зубков А. А., Ключев А. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Актуальность настоящей работы обусловлена важнейшим значением систем электропитания для любого государства и значительными изменениями этой области в мире. Так как системы электропитания прямо или косвенно используются во всех сферах человеческой деятельности.

Цель работы – создание математической модели кабельно-проводниковой продукции с использованием программного продукта ELCUT.

Данная цель обусловила необходимость решения следующих задач:

- 1) Проведение испытаний в лаборатории;
- 2) Сравнение с нормативами;
- 3) Моделирование в среде ELCUT.

При формировании магистральных цеховых сетей, а также питания мощных сварочных машин и электропечей применяются кабели большого сечения, рассчитанные на высокие токи. Такие кабели применяются на напряжениях до 1000 В, расстояния между токоведущими частями весьма малы, что приводит к резкому проявлению эффекта близости, увеличивающему активное сопротивление кабеля.

В данной работе использованы данные при проектировании цеха по производству кабельной продукции до 10 кВ ООО «Томсккабель». Анализ оборудования показал преобладание асинхронных двигателей с частотным приводом, причем большее количество электрического оборудования работает в продолжительном режиме S1 (71%), кратковременном режиме S2 (17%) и повторно-кратковременном режиме S3 (12%) (рис.1). Это говорит о том, что силовые кабели, запитывающие оборудование цеха, подвержены нагреву разных степеней, что может негативно влиять на эксплуатационные характеристики оборудования.

С целью оптимизации режимов работы электротехнического оборудования и, соответственно, кабельной продукции, проводится математическое моделирование системы электропитания с использованием программного продукта ELCUT. В качестве объекта модернизации выбран кабель марки ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF 1x50мк-1, наиболее подходящий для нагрузок, характерных для ООО «Томсккабель».

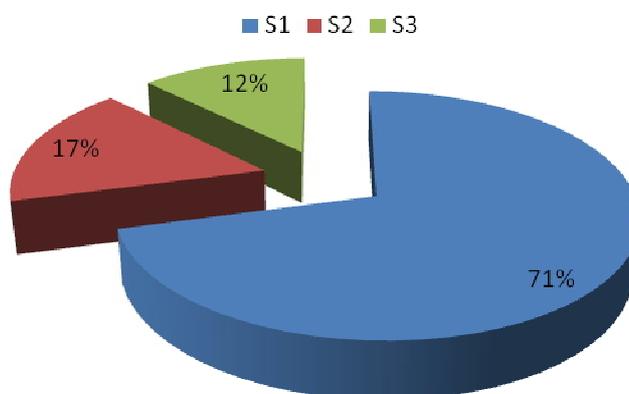


Рис. 1. Диаграмма распределения оборудования по режимам работы

ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF – кабель с медными жилами, с термическим барьером по токопроводящим жилам, с изоляцией из этиленпропиленовой резины, в оболочке из полимерных композиций не содержащих галогенов (рис. 2).

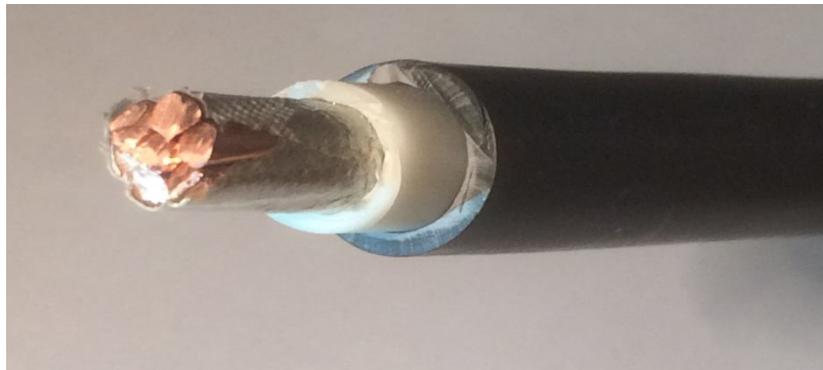


Рис. 2. ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF 1x50мк-1

Создание математической модели на программе ELCUT начинается с проектирования геометрических параметров, представленных на рис. 3, и ввода данных по конкретной кабельной продукции. Ниже представлено продольное сечение кабеля в месте разделки наружной оболочки. Линия синего цвета представляет собой след плоскости разделки. Она прерывает наружную оболочку кабеля и экран, нанесенный поверх изоляции токопроводящей жилы. Жила представлена красным цветом.

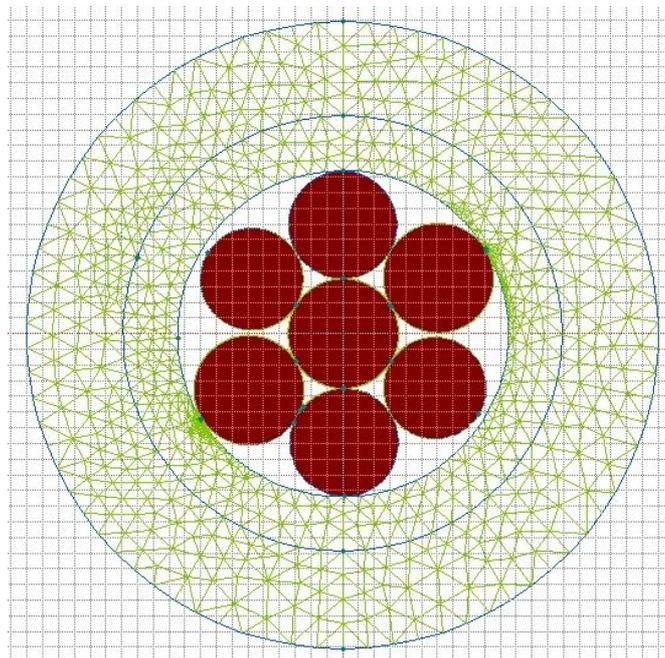


Рис. 3. Конструкция исследуемого кабеля

Картина электрического поля при потенциале внешнего проводника $U = 1$ кВ частоты 50 Гц представлена на рис. 4, причем цветной заливкой показано распределение электрического потенциала.

Система дифференциальных уравнений, описывающая электромагнитное поле, имеет следующий вид:

Уравнения векторного магнитного потенциала и плотности тока для проводника:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu_0} \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu_0} \frac{\partial A_z}{\partial y} \right) - j\omega\sigma_c A_z + J_{iz}^s = 0, \quad (1)$$

$$-j\omega\sigma_c A_z + J_{iz}^s = J_{iz}, \quad (2)$$

$$\iint_{S_c} J_{iz} = I_i, i = a, b, c. \quad (3)$$

Уравнения векторного магнитного потенциала и плотности тока для экранов кабеля:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu_0} \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu_0} \frac{\partial A_z}{\partial y} \right) - j\omega\sigma_s A_z + J_{sz}^s = 0, \quad (4)$$

$$-j\omega\sigma_s A_z + J_{sz}^s = J_{sz}, \quad (5)$$

$$\iint_{S_s} J_{sz} ds = I_s. \quad (6)$$

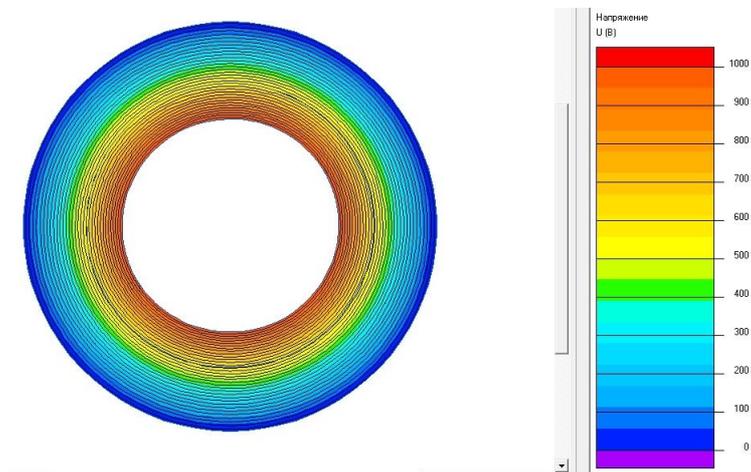


Рис. 4. Картина электрического поля

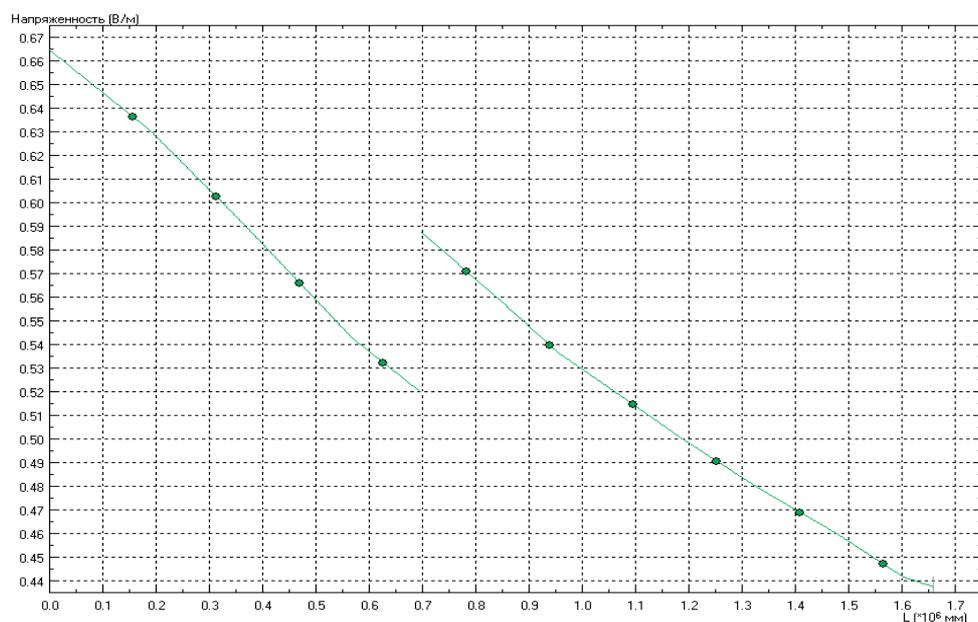


Рис. 5. Электрическое поле E (В/м)

В таблице 1 приведены результаты расчетов электрического поля при изменении толщины изоляции.

Таблица 1. Расчет электрического поля

L (мм)*10⁻⁶	x (мм)	y (мм)	U (В)	E (В/м)
0.00000	148112.	2074570.	1000.00	0.664721
82982.2	147340.	2157550.	945.656	0.649673
165964.	146569.	2240530.	891.340	0.634597
248946.	145797.	2323510.	840.058	0.616902
331929.	145026.	2406490.	789.858	0.598287
414911.	144255.	2489470.	741.273	0.578653
497893.	143483.	2572450.	694.977	0.559046
580875.	142712.	2655420.	648.892	0.540299
663857.	141940.	2738400.	603.850	0.525744
746839.	141169.	2821380.	558.210	0.577876
829822.	140397.	2904360.	512.150	0.561773
912804.	139626.	2987340.	465.854	0.545118
995786.	138854.	3070320.	421.174	0.530164
1078770.	138083.	3153300.	378.321	0.517175
1161750.	137312.	3236270.	336.049	0.504149
1244730.	136540.	3319250.	294.705	0.491691
1327340.	135772.	3401860.	253.773	0.479496
1410700.	134997.	3485210.	215.277	0.468521
1493680.	134226.	3568190.	176.923	0.457428
1576660.	133454.	3651170.	138.418	0.445492
1659640.	132683.	3734150.	102.524	0.437633

Далее рассматривалось тепловое поле, распределение температуры показано на рис.6. Были произведены аналогичные расчеты теплового поля.

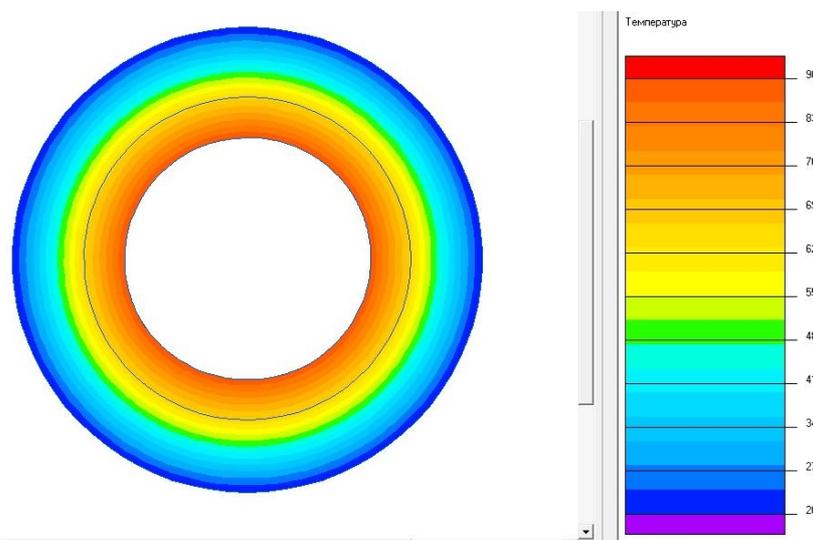


Рис. 6. Распределение температуры

На рис. 6 видно, что запас температуры изоляции составляет приблизительно 10 °С для данной конструкции кабельной линии, что говорит о возможности снижения толщины изоляции, приводящей к улучшению технологичности изоляции, улучшению массо-габаритных показателей и уменьшению финансовой компоненты, что является практической ценностью данной работы. Расчеты допустимы при температуре окружающей среды, равной (20±2) °С. Естественно было бы предположить, что при понижении температуры окружающей среды появляется возможность увеличить номинальную токовую нагрузку кабельных линий.

С целью изучения влияния асинхронных двигателей на свойства кабелей создана математическая модель кабеля в среде ELCUT. В ходе математического моделирования получена картина электрического и теплового полей кабеля марки ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF 1x50мк-1. Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Предложена математическая модель, учитывающая электростатические и тепловые процессы, происходящие в кабельных линиях, для определения токовых нагрузок, способствующих выбору оборудования с определенными режимами работы.

2. Необходимо исследовать процессы электростатики и теплопереноса, возникающих в кабельных линиях, для конкретных геометрических параметров кабелей, условий прокладки и эксплуатации.

3. Изменение климатических условий окружающей среды влияет на реализующееся температурное поле в кабельной продукции, что в свою очередь, позволяет увеличивать или уменьшать нагрузочную способность силовых кабелей, которое напрямую зависит от режимов работы электрических аппаратов.

4. Предложена методика моделирования системы электропитания, выполненной на основе кабеля с изоляцией из этиленпропиленовой резины (ЭПР). Математическое моделирование систем электропитания, выполненных на основе ЭПР кабелей, показало применимость предложенной методики моделирования для решения практических задач, возникающих при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Соколов В.Ю. Моделирование режимов систем электроснабжения с мощными токопроводами // Перспективы развития транспорта в XXI веке. Иркутск: ИрГУПС, 2007.
2. Дубицкий С. Д. Elcut 5.1 — платформа разработки приложений анализа полей // Exponenta Pro. 2004. № 1.
3. <http://www.tomskcable.ru>
4. Навалихина Е.Ю., Труфанова Н.М. Компьютерная модель процессов тепломассопереноса в кабельном канале при различных режимах работы кабельных линий // Фундаментальные исследования. –2014.
5. Навалихина Е.Ю., Труфанова Н.М. Численное исследование температурного поля в кабельных линиях для анализа возможности уплотнения кабельного канала // Электротехника. –2014.
6. Чиркин В. С. Теплофизические свойства материалов. Справочник. М.: ФИЗМАТГИЗ. 1959. 356 с.
7. Технические свойства полимерных материалов: Учеб. -Справ. пособие // В.К. Крыжановский [и др.] –2-е изд., испр. и доп. –СПб.: Профессия, 2005.
8. Методическое пособие «Расчет электрических полей в программе ELCUT» // Программа Лидер-ЭнергоПроект-2
9. Кабельные линии URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2014/87/07.php>

10. Математическое моделирование электрического поля в муфтах силовых кабелей. URL: http://www.power-e.ru/2010_3_88.php
11. Асинхронные электродвигатели для частотного регулирования АДЧР URL: <http://privodavtomatika.ru/produkcija/adchr/>
12. Режимы работы электрических машин. URL: <http://elektrikam.com/rezhimy-raboty-elektricheskix-mashin/>

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ И УПРАВЛЕНИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ОСВЕЩЕНИЕМ

Королев В. Е.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Светотехническая часть. Освещение является одним из важнейших факторов, характеризующих комфортность жилища. Электрическое освещение обеспечивает возможность нормальной жизни и деятельности людей в быту при отсутствии или недостаточности естественного освещения [2].

Роль электрического освещения в создании экстерьера здания и интерьера помещений может в корне менять всю концепцию дизайна помещений по рисунку, архитектурному стилю, размещению мебели, типу и цветовому решению материалов. В настоящее время разнообразие типов источников света, которые можно использовать для освещения индивидуальных домов и квартир (функционального и декоративного), достаточно велико. Во внутренних помещениях кроме ламп накаливания для люстр и бра, а также широко распространенных галогенных ламп накаливания низкого напряжения могут использоваться компактные люминесцентные лампы. Для установки и подключения источников света, а также для перераспределения их светового потока с целью освещения объекта используются различные светильники.

Многие фирмы-производители разработали светильники с такими лампами, которые по дизайну не уступают светильникам с традиционными источниками света. К тому же компактные люминесцентные лампы могут давать свет от холодного белого до теплого желтого спектра, который может имитировать свет ламп накаливания. Применение линейных люминесцентных ламп оправдано в декоративных карнизах интерьеров, а также на кухне и других хозяйственных помещениях. В настоящее время популярны светодиоды, миниатюрные лампы накаливания и неоновая подсветка, которые незаменимы в праздничном и декоративном освещении.

В осветительных установках применяются системы общего и комбинированного освещения. Система общего освещения предназначена для обеспечения нормированной освещенности, т.е. необходимой в соответствии с нормами охраны здоровья. В системе комбинированного освещения кроме общего имеется местное, создающее необходимую повышенную освещенность в тех местах, где это требуется. Это могут быть рабочие поверхности кухни, письменный стол, общее освещение гостиной, подсветка картин или других предметов и пр.

Освещенность рабочих поверхностей в квартирах жилых домов при комбинированной системе освещения от любых источников света рекомендуется принимать: письменного стола, рабочей поверхности для шитья и прочих ручных работ – 300 лк; кухонного стола и мойки посуды – 200 лк.

Декоративное освещение относится к дизайнерским решениям и может функционировать как в системе общего освещения, так и в качестве самостоятельно

решающего вопросы интерьера. Исходя из пожеланий заказчика, по освещению каждого помещения могут быть решены вопросы их практической реализации. Здесь решающими могут быть форма и цвет светильников, тип кривой светораспределения, мощность ламп, а также их расположение.

Для архитектурной подсветки коттеджа могут быть использованы прожектора с галогенными лампами накаливания, лампами PAR. Для освещения территории – торшеры с лампами накаливания и газоразрядными лампами малой мощности [1].

Степень защиты светильника должна соответствовать среде, в которой он применяется. В помещениях с нормальной средой степень защиты может быть IP20, во влажных помещениях и на улице – не менее IP44, в сауне и бассейне светильники должны быть специальные, выполненные именно для этих помещений. Так, в сауне светильники должны быть полугерметическими, с завинчивающимися стеклами и располагаться на недоступной высоте.

Зачастую по требованию заказчика в проекте электрического освещения ставится задача плавного регулирования света. Однако не все источники света позволяют это осуществить. Плавное регулирование света можно осуществить при использовании ламп накаливания 220В, ламп накаливания низкого напряжения с применением специального трансформатора, люминесцентных ламп с применением специальной электронной пускорегулирующей аппаратуры (ПРА). Это должно учитываться при выборе источников света.

Основным преимуществом люминесцентных ламп перед лампами накаливания является более высокая световая отдача, приводящая к существенной экономии электроэнергии, и более длительный срок службы. В качестве недостатков можно назвать необходимость использования ПРА, неустойчивость работы при низких температурах, коэффициент мощности меньше 1.

Спектральный состав люминесцентного освещения близок к спектру дневного света и потому люминесцентное освещение требует большего уровня освещенности, чем освещение лампами накаливания.

Нормы освещенности выбираются на основании СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования», СП31-110-2003, МГСН 2.06-99.

Управление электрическим освещением. Наряду с традиционными схемами управления освещением из одного или нескольких мест с помощью обычных выключателей, аппаратура фирмы Schneider Electric позволяет реализовывать более сложные схемы с учетом особенностей отдельных помещений или объектов [3].

На рис. 1 и 2 приведены схемы управления электрическим освещением лестничных пролетов, переходов, вестибюлей, столовой. На этих рисунках: DPN – выключатель автоматический; MIN – регулятор выдержки времени (размыкание цепи через заданное время); TL – импульсное реле; K1– K4 – кнопки дистанционного управления.

На рис. 1 включение освещения осуществляется кнопками дистанционного управления через реле времени MIN. Включение автоматическое с выдержкой времени на отключение.

На рис. 2 управление освещением осуществляется через импульсное реле TL кнопками для зон: переход и лестничная площадка; столовая.

Управление освещением рассматриваемых помещений удобно осуществлять с нескольких мест. Включение в схему управления импульсного реле позволяет производить включение-выключение одним нажатием клавиши. При достаточно большой протяженности переходов рационально использовать такие приборы, как реле времени с возможностью задания нужной выдержки времени.

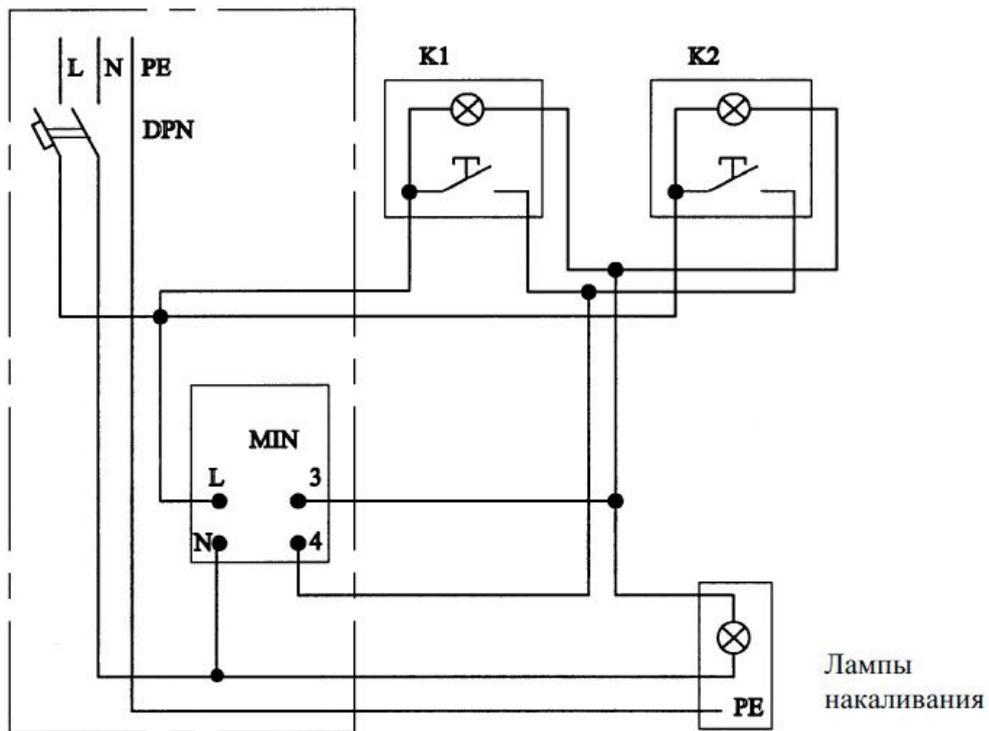


Рис. 1. Схема управления электрическим освещением лестничных пролетов и вестибюля

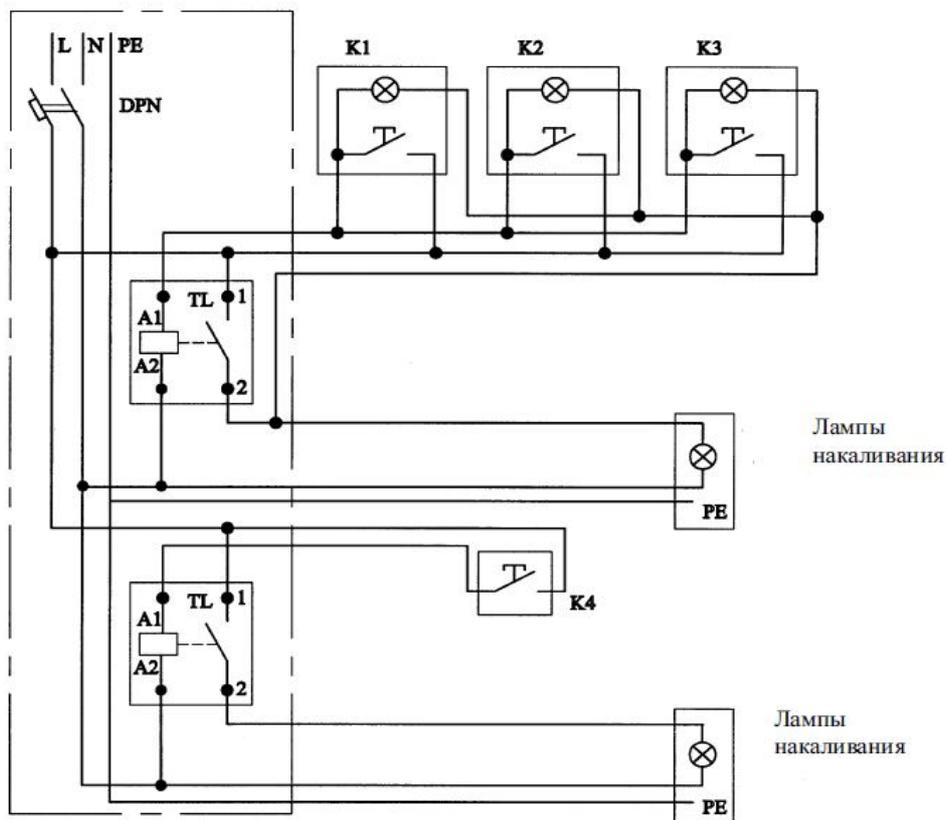


Рис. 2. Схема управления электрическим освещением перехода, лестничной площадки, столовой

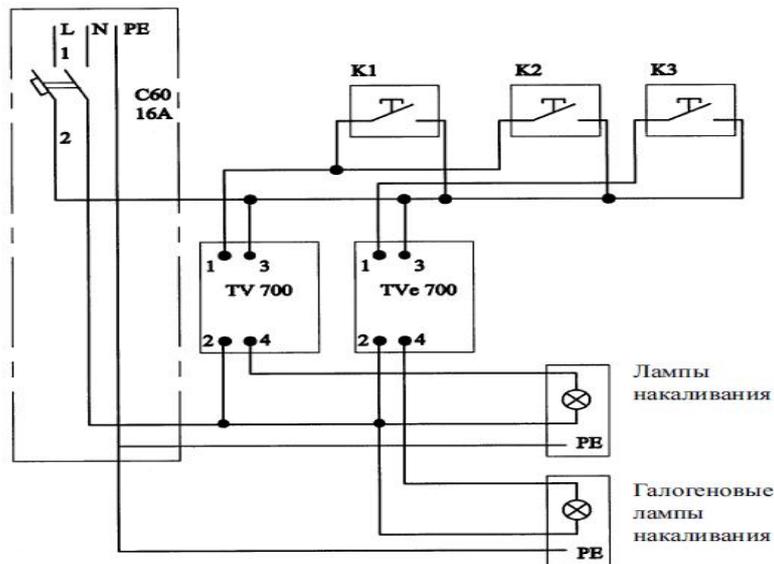


Рис. 3. Схема управления электрическим освещением гостиной

На рис. 3 приведена схема управления электрическим освещением гостиной. В таких помещениях также удобно иметь возможность управлять освещением с нескольких мест (кнопки K1–K3). Для создания разных режимов освещения – от полумрака до яркой обстановки во время праздников применяются светорегуляторы (TV700, TVe700, диммеры, выключатель *Unica U5.552.xxZ* и переключатель *U5.553.xxZ*, устанавливаемые вместо обычных клавишных выключателей).

Эта аппаратура позволяет снижать световой поток источников света.

Для управления электрическим освещением подземной автостоянки (рис. 4) рационально использовать детектор движения CDM в сочетании с контактором СТ. При появлении движущегося объекта (машины или человека) автоматически включается освещение, а при его отсутствии освещение автоматически выключается.

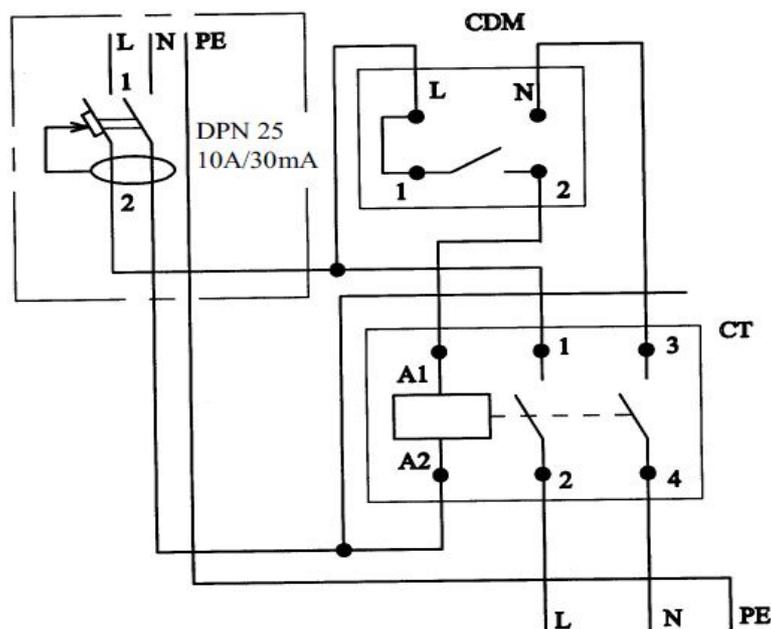


Рис. 4. Схема управления электрическим освещением подземной автостоянки

Выводы. При проектировании системы освещения необходимо обращать внимание на энергосбережение. Энергосбережение обеспечивается, например:

- выбором экономичных источников света;
- регулированием освещенности;
- автоматическим управлением освещения в зависимости от перемещающихся объектов.

Таким образом, выбор типа светильников производится с учетом характера их:

- светораспределения;
- экономичности;
- условий окружающей среды.

При выполнении проекта освещения индивидуальных домов (квартир) принимаются во внимание существующие нормы, но большое значение в выборе осветительных приборов и их расположений имеет также задание на проектирование или дизайн-проект.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. М. Кнорринг, И. М. Фадин, В. Н. Сидоров Справочная книга для проектирования электрического освещения / – 2-е изд. – СПб.: Энергоатомиздат. 1992 г.
2. Варфоломеев Л.П. Элементарная светотехника.– М. 2008 г.
3. Проектирование системы освещения [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.schneider-electric.com>, свободный, дата обращения 02.10.2015 г.

СИСТЕМА ОСВЕЩЕНИЯ «УМНЫЙ ДОМ»

Чулашов В. В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск

Умный дом – дом нового поколения, оснащенный высокотехнологичным оборудованием для комфортного проживания людей. Все инженерные системы, телекоммуникационные системы, системы безопасности и вся бытовая техника, объединены в домашнюю Universal Plug'n'Play – сеть с возможностью выхода в сети общего пользования.

Понятие «умный дом» было сформулировано Институтом интеллектуального здания в Вашингтоне в 1970-х годах: «Здание, обеспечивающее продуктивное и эффективное использование рабочего пространства...» [3].

В состав умного дома входит система, объединяющая все осветительные приборы в помещении и на прилегающей территории в единую сеть. Это обеспечивает контроль над процессом их взаимодействия и гарантирует значительную экономию энергоресурсов. Для регулирования системы управления освещением используются:

- различные выключатели,
- сенсорные или кнопочные панели,
- дистанционные пульты,
- устройства Apple (iPad/ iPod touch/ iPhone) и Android,
- автоматические датчики освещенности и присутствия.

В основу управления источниками света положена идеология световых сцен. Суть заключается в том, что нажатием всего лишь несколько клавиш, вы полностью управляете всей техникой и освещением в доме. Допустим, вы пришли домой, и нажимаете только одну кнопку "Вечер" (или система сама среагирует на появление

человека в комнате) и верхний свет включится на 10% яркости, бра - на 30%, торшеры - на 40%, а жалюзи или шторы закроют окна.

Включение и отключение всех осветительных приборов в системе Умный дом может осуществляться по сигналу, отправляемому с одного автоматизированного устройства. С этой целью используется автоматическое и дистанционное управление освещением. Для обеспечения контроля над осветительными приборами применяются пульты и встроенные панели. В умном доме автоматизированные осветительные приборы, устанавливаемые в загородном коттедже или квартире, как правило, оснащаются диммерами, которые позволяют делать свет более ярким, когда это необходимо, или приглушенным, когда не требуется, чтобы лампы работали на полную мощность [4].

Регулирование световых сценариев и приборов может осуществляться в автоматическом режиме. С этой целью задаются схемы работы систем освещения. Умный дом исходит из тех данных, которые поступают с датчиков присутствия, движения и освещенности, или в зависимости от времени суток. Автоматическая система управления освещением представляет собой несколько устройств, регулирующих работу осветительных приборов без участия человека. К таким приборам относятся датчики движения, фотозащиты, таймеры.

Наилучшим источником света, используемым в доме, будут светодиодные светильники (Рис.1) – это новейшая технология, набирающая обороты по всему миру. Они лишены всех недостатков существующих источников освещения: ламп накаливания, ламп дневного света и галогеновых ламп. Использование светодиодного освещения позволяет в несколько раз (а иногда и десятков раз) сократить расходы на потребляемую электроэнергию.

Кроме того, срок службы светодиодных светильников чрезвычайно велик, во время работы они не греются, не мерцают, не выгорают и не разбиваются, не вредят окружающей среде.



Рис. 1. Светодиодный светильник

Но и сам умный дом, благодаря интеллектуальному автоматическому управлению освещением позволяет значительно увеличить срок службы ламп и снизить использование электроэнергии до 40 %. Достижение такой экономии возможно благодаря настройке функционирования осветительных приборов в оптимальном режиме энергопотребления и их отключения в случаях, когда свет не требуется.

Так же в виде источника электроэнергии можно использовать солнечную батарею (Рис.2) , которая сократит затраты на энергию к минимуму, позволит вашему дому

быть независимым от проблем, связанных с пропажей основного питания, а также снимет необходимость покупки генератора.

Использование солнечной энергии даёт следующие преимущества:

- Полная автономность вашего дома и независимость от внешней сети.
- Очень большой срок службы.
- Полная экологическая чистота системы.
- Резервирование основного электропитания без дизель-генератора.
- Не требуют обслуживания.
- Увеличение мощности и емкости системы происходит легко — путем добавления дополнительных батарей и аккумуляторов.
- Установка на любую поверхность: стену, крышу, землю.



Рис. 2. Солнечная батарея

Управление энергопотреблением и контроль максимальной потребляемой мощности. Это одна из возможностей «Умного Дома» – интеллектуальная система, которая следит за потребляемой домом или квартирой мощностью по всем фазам, предотвращая возможные аварии (Например, перекроет воду в доме при возникновении протечки и пришлет СМС уведомление хозяину). При этом пользователь в программе на Windows, iPhone или Android сможет в реальном времени видеть потребление в ваттах по каждой фазе. Если потребление дома превысит максимально допустимый уровень, контроллер в порядке уменьшения приоритета будет отключать мощные нагрузки, пока потребление не станет в пределах допустимого [1].

Удаленное управление розетками – одна из самых простых и недорогих возможностей системы «Умный дом». Достаточно установить специальную розетку, имеющую антенну, и мы получаем возможность управлять включенным в нее электроприбором на расстоянии с миниатюрного радиобрелка. Включая в такую розетку определенный прибор и программируя систему, можно, например, автоматически включать кофеварку или тостер за несколько минут до вашего пробуждения [2].

Выводы:

В умном доме вся техника и домашняя аппаратура – кондиционеров до телефонов – управляется очень сложными компьютерными программами. «Умный дом» включает свет и музыку, когда кто-то входит в дом и проходит по комнатам в доме. При этом свет и музыка в доме меняется по необходимому настроению и времени, которые были внесены в базу компьютера, хозяином дома. Человеку не нужно настраивать свет или температуру в доме – «интеллектуальная» система по состоянию хозяина распознает, какое освещение или как температура необходима хозяину дома в данный момент

времени. Для обеспечения комфорта и удобства в доме или квартире могут использоваться разнообразные устройства, начиная от самодельных и заканчивая высокоинтеллектуальными гаджетами АСУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Housecontrol Умный дом: без проводов и компьютеров [Электронный ресурс] – режим доступа <http://www.housecontrol.ru/material/32.php>, свободный дата обращения 01.10.2015
2. Международный научно-исследовательский журнал «Умный дом»: идеология и технология» [Электронный ресурс] – режим доступа <http://research-journal.org/arch/umnyj-dom-ideologiya-ili-texnologiya/>, свободный дата обращения 05.10.2015
3. Байгозин Д. В. Первухин Д. Н. Захарова Г. Б. «Разработка принципов интеллектуального управления инженерным оборудованием в системе «умный дом» Томск 2008г
4. Соловьев М.М. Интеллектуальное здание. Понятия и принципы // Строительная инженерия. – 2005.

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ ТЕПЛОвого СОСТОЯНИЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Кондаков Д. О.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящее время достаточно остро стоит вопрос тепловых перегрузок тягового оборудования электроподвижного состава. Данное обстоятельство является следствием эксплуатации тягового электропривода электровозов в постоянно тяжелых условиях работы. Другим фактором тепловых перегрузок электродвигателей являются перегрузки оборудования, возникающие в результате превышения весовых норм эксплуатируемого подвижного состава. При этом основными типами отказов тяговых электродвигателей (ТЭД), работающих в таких условиях, становятся пробой изоляции обмоток (до 40 %) [1], возникающие в результате ускоренного старения изоляции. Как известно, превышение температуры на 10 °С снижает ресурс изоляции в два раза [2]. Следовательно, для предотвращения преждевременного выхода тяговых электродвигателей из строя и определения остаточного ресурса ТЭД необходимо иметь полную и верную информацию о температурах всех его элементов.

Решением данной задачи является применение устройств для контроля и оценки теплового состояния тягового двигателя электровозов и тепловозов в процессе их эксплуатации. Такие устройства помогают выявить наиболее нагретые узлы ТЭД, в целях управления мотор-вентиляторами, подающими охлаждение на ТЭД, изменения режима работы машины, а также оценить остаточный ресурс электродвигателя. Оценить тепловые нагрузки на двигатель можно с помощью разработанных полезных моделей, которые позволяют получить интересующие данные и контролировать температурные нагрузки ТЭД. Существует ряд отечественных и зарубежных систем контроля теплового состояния тягового электродвигателя. Чаще всего, в имеющихся системах защиты и контроля используются встроенные датчики температуры обмоток. Обычно, в промышленных двигателях для этого используют резистивные датчики температуры, вмонтированные в статорные обмотки для тщательного контроля

температуры в статорной обмотке [3]. Более сложное оборудование – аналоговое реле с конструкцией, основанной на знании тепловой схемы вращающейся машины, и содержащей обратную связь от встроенного датчика температуры [4]. Известна тепловая модель, которая позволяет прогнозировать температуры вращающегося ротора [5]. В ней по известной температуре статора и токи статорной обмотки происходит вычисление температуры двигателя. Данная система обеспечивает сигнал отключения, при превышении предельных условий, установленных изначально.

Исторически в отличие от промышленных двигателей, тяговые двигатели не были защищены от тепловых перегрузок. Расположение двигателей, само по себе изначально подвергает кабели температурных датчиков ударам и вредному воздействию окружающей среды. Возможность ложных показаний или повреждений датчиков обычно влияют на надежность системы, которая мешает использовать встроенные датчики.

Для тяговых электродвигателей существует ряд патентных разработок. Так, патент США №5298842 [6] описывает тепловую защиту двигателя локомотива, основанную на измерении трех переменных: температуру воздуха на входе системы охлаждения, температуру статорной обмотки, измеренную встроенным датчиком, и ток статорной обмотки двигателя. Так же, известна система тепловой защиты, содержащая электронное моделирующее устройство [7], по величине выходного сигнала с помощью которого автоматически ступенями изменяется подача воздуха мотор-вентиляторов в системе охлаждения тяговых электродвигателей электровозов. В основе: аналогия между динамическими процессами нагревания и остывания якорных обмоток электрических машин и процессами заряда и разряда конденсатора в R-C цепи. Необходимо отметить, что данная система имеет недостаток: вследствие ее разомкнутости система имеет большую статическую неравномерность и повышенные затраты электроэнергии на функционирование.

Также известна математическая модель системы охлаждения тяговых электрических машин локомотивов как объекта регулирования температуры [8]. Данная система охлаждения рассматривается здесь теоритически автоматического регулирования как элемент автоматической системы регулирования температуры. Математическая модель представляет собой систему дифференциальных уравнений, составленную на основании уравнений теплового баланса, описывающую процессы изменения средней температуры обмотки одного добавочного полюса в зависимости от регулирующего и возмущающих (напряжение, ток электрической машины, температура охлаждающей среды) воздействий.

Наиболее близким к заявляемой полезной модели является устройство для автоматического регулирования температуры обмоток электрической машины постоянного тока (РФ №2177669) [9]. Данная полезная модель содержит математическую модель электрической машины как объекта подачи тепла. На входы блока, содержащего математическую модель, подаются сигналы с выходов датчиков тока и напряжения электрической машины, частоты вращения вала электрической машины, частоты вращения вала вентилятора, температуры охлаждающей среды, а также воздействие, корректирующее процесс вычисления значений максимальной локальной температуры якорной обмотки, обмоток главных и добавочных полюсов. Устройство выполняет вычисление максимальной локальной температуры якорной обмотки, обмоток главных и добавочных полюсов. К недостаткам данной системы можно отнести сложность устройства, заключающееся в том, что для его функционирования необходимо знать падения напряжения на обмотках главных и добавочных полюсов электрической машины. В тяговом двигателе это является большой проблемой из-за

невозможности размещения кабелей в пространстве двигателя. Проблемой также является измерение скорости вращения вала двигателя. Кроме того, данное устройство производит вычисление температуры якорной обмотки, обмоток главных и добавочных полюсов, которая может не соответствовать локальным температурам наиболее нагретых областей, а соответственно, и перегревам.

Более точную информацию о температурном поле машины можно получить теоретическим путем на основе уравнения теплопроводности (Богаенко И.Н. Контроль температуры электрических машин. - Киев:Техника, 1975. - 176 с.; Попов А.А., Логинова Е.Ю. Результаты экспериментального и расчетного определения температур обмоток тягового электродвигателя. Вестник ВНИИЖТ, 1999, №6, с.34-39) [10]. Математическая модель обеспечивает полную картину поля, при условии получения надежных сведений о распределении потерь, свойствах материалов и течении охлаждающих агентов. Для этого в вычислительный блок закладывается математическая модель теплового состояния двигателя, построенная на основании тепловых схем замещения и позволяющая по нескольким информационным значениям температуры конкретных частей машины определять общую картину температурных полей двигателя, и, соответственно, температуру наиболее нагретых точек. Используя тепловую модель ТЭД, можно контролировать температуру таких частей машины, как коллектор или якорная обмотка при вращении машины, имея информацию с ограниченного числа нескольких неподвижных точек (например, корпуса, охлаждающего воздуха).

Все представленные патентные решения дают погрешность результатов расчета с результатами испытаний не превышающую 10%, а с результатами литературы 5% [1]. Таким образом, можно сделать вывод о том, что нет оптимального решения, каждая из моделей имеет свои положительные и отрицательные черты и свою область применения, однако их применение позволит предупредить перегрев и преждевременный выход из строя ТЭД.

ЛИТЕРАТУРА

1. ПолезнаяМОДЕЛЬ.RU [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://poleznayamodel.ru/model/7/79840.html> (дата обращения 9.10.2015 г.).
2. NTPO [Электронный ресурс]. Режим доступа http://www.ntpo.com/patents_electronics/electronics_6/electronics_443.shtml (дата обращения 9.10.2015 г.).
3. Bankpatentov [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://bankpatentov.ru/node/344886> (дата обращения 19.10.2015 г.).
4. Freepatent [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.freepatent.ru/patents/2177669> (дата обращения 11.10.2015 г.).
5. Findpatent [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.findpatent.ru/patent/225/2251779.html> (дата обращения 18.10.2015 г.).
6. Freepm [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.freepm.ru/Models/79840> (дата обращения 10.10.2015 г.).
7. Cyberleninka [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-teplovogo-sostoyaniya-tyagovogo-elektrodvigatelya-dlya-prognozirovaniya-resursa> (дата обращения 12.10.2015 г.).
8. Пат. 2256996 Российская Федерация, МПК7 Н02К9/04. Автоматическая система регулирования температуры обмоток тяговых электрических машин с электрическим на переменном токе приводом вентилятора / Луков Н. М., Ромашкова О. Н., Космодамианский А. С., Алейников И. А., Попов Ю. В. ; заявитель

- и патентообладатель: Российский государственный открытый технический университет путей сообщения Министерства путей сообщения Российской Федерации (РГОТУПС) (RU) – № 2003132783/11 ; заявлен 11.11.2003 ; опубл. в БИ № 20, 20.07.2005.
9. Пат. 2256996 Российская Федерация МПК7 H02K9/04. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБМОТОК ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ ПРИВОДОМ ВЕНТИЛЯТОРА. Луков Н.М. (RU); Ромашкова О.Н. (RU); Космодамианский А.С. (RU); Алейников И.А. (RU); Попов Ю.В. (RU) ; заявитель и патентообладатель: Российский государственный открытый технический университет путей сообщения Министерства путей сообщения Российской Федерации (РГОТУПС)– № 2003132783/11; заявлен 11.11.2003 ; опубл. в БИ № 20, 20.07.2005.
10. Пат. 2177669 Российская Федерация МПК7 H02K9/04. УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА / Космодамианский А.С.; Луков Н.М.; Попов В.М. ; заявитель и патентообладатель: Российский государственный открытый технический университет путей сообщения (РГОТУПС)– № 2000105953/09; заявлен 14.03.2000 ; опубл. в БИ № 20, 27.12.2001

БЕСКОНТАКТНАЯ ДИАГНОСТИКА И КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Ибрагим Абдулла Хайдар Абдо

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань

Любое преобразование энергии, ее передача и потребление связаны с определенными потерями: ток, протекающий по проводнику, нагревает его джоулевые потери; магнитный поток в стальных сердечниках трансформаторов и электрических машин вызывает потери на перемагничивание и вихревые; электрические потери в изоляции - на переменную поляризацию молекул диэлектрика и токи утечки; механические потери возникают во вращающихся машинах от трения в подшипниках и трения вращающихся частей об охлаждающую среду.

В конечном счете, все потери превращаются в тепло и нагревают работающее оборудование. В первую очередь нагреваются органическая изоляция и переходные контакты электрических цепей. Изоляция из бумаги, пропитанной маслом, от нагрева стареет, и тем быстрее, чем выше ее температура. Повышенный нагрев электрических аппаратов приводит к искривлению их, заклиниванию подвижных частей и как следствие - к отказу в работе.

Температура оборудования:- это первое, на что обращает внимание дежурный персонал в процессе обслуживания. К измерению температуры оборудования в энергетике предъявляются два основных требования: точность и надежность. Разработано несколько методов термо контроля, основными из которых являются: метод терморезистора, метод термопары, инфракрасный метод, методы, использующие изменение физического или химического

состояния вещества при изменении его температуры. Каждый из перечисленных способов имеет свои преимущества и недостатки.

К недостаткам метода термопары относят невысокую точность и большие шумы. а при методе терморезистора возникают некоторые проблемы, связанные с нелинейностью температурных характеристик, взаимозаменяемостью и стабильностью датчиков. При контроле температуры электрооборудования с помощью телевизионного метода необходимо учитывать систему охлаждения материал изготовления исследуемого объекта, наиболее нагретые точки электрооборудования и влияние окружающей среды.

Среди всех методов самым точным, надежным и высокоэффективным является телевизионный метод, преимущество данного метода позволяет быстро и надежно выявить точки аномального нагрева и потенциально проблемные участки при проведении технического обслуживания в энергетике.

В тех случаях, когда перечисленные классические способы невозможны, то применяется бесконтактное измерение температуры. Например, при измерении сопротивления обмотки ротора генератора с выпрямительной системой возбуждения на ходу возникают заметные трудности связанные с наличием на обмотке возбуждения большой переменной составляющей напряжения.

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ТИРИСТОРНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ НАГРУЗКИ МИКРОГЭС

Номоконова Ю. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В последние годы бурный рост исследований в области автономных источников энергии предъявляет все больше требований к качеству электрической энергии. Целью данного исследований является создание нового аппаратно-программного средства и оптимизация комплекса характеристик и свойств аппаратного исполнения микроГЭС.

Актуальность проведения исследований определяется невозможностью выполнения данной насущной инженерной разработки без использования результатов таких исследований. Объектом исследований является микропроцессорное устройство управления тиристорным регулятором нагрузки микроГЭС. Предметом исследований являются методы и средства поддержания стандартных параметров качества выходной электрической энергии. Практическая значимость работы выражена в использовании микропроцессора и вносит положительный вклад в управление микроГЭС за счет введения системы обратной связи. Это значительно расширяет функциональные возможности и улучшает характеристики энергосистемы.

Научная новизна состоит в разработке алгоритма работы микропроцессора, реализованного на примере имитационной модели, позволяющего внедрить прогрессивный способ управления автономным объектом энергообеспечения.

Принцип работы микроГЭС балластного типа заключается в параллельном подключении к полезной нагрузке станции одинаковой по величине дополнительной (балластной) нагрузки (БН) через регулятор (рис. 1). Изменение величины полезной нагрузки (ПН) влечет за собой изменение величины балластной за счет регулятора и суммарная нагрузка генератора остается неизменной. Балластной нагрузкой обычно служит теплонагревательный элемент. Как показали исследования, в качестве общей рекомендации для обеспечения необходимого запаса устойчивости системы – работа

микроГЭС должна осуществляться при $\cos\varphi$ в диапазоне от 0,8 до 1. Система будет устойчиво работать практически с любым типом гидротурбин [1].

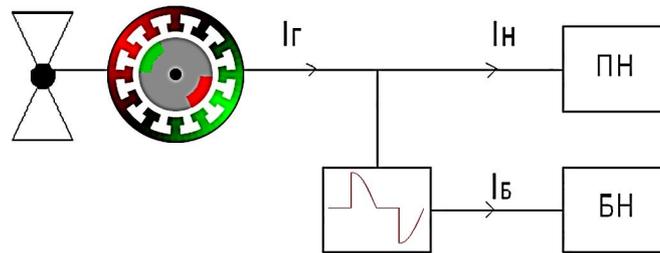


Рис. 1. Регулирование балластной нагрузки автономной микроГЭС

Так как методика расчета энергетических характеристик силовых полупроводниковых преобразователей на примере устройств с биполярной тиристорной ячейкой в фазе базируется на положениях теоремы Фурье, т.е. представления кривой выходного напряжения и тока в виде гармонического спектра. Наиболее оптимальным вариантом для решения поставленной задачи является метод гармонического анализа, который также реализован в программе Matlab Simulink. Метод состоит в том, что решение отыскивается в форме полных рядов Фурье, коэффициенты которых определяются в процессе расчета. Ток и напряжение тиристора представляются рядами Фурье в комплексной (или тригонометрической) форме.

Рассмотрев разнообразие схем и их классификацию, для исследований была выбрана четырехпроводная схема тиристорного регулятора (рис. 2).

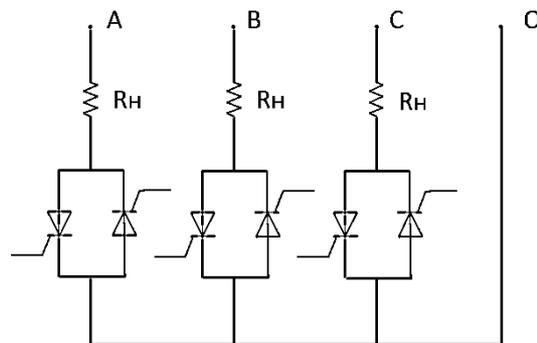


Рис. 2. Четырехпроводная схема силовой части тиристорного регулятора

При гармоническом анализе данной схемы получены зависимости амплитуд основных гармоник (рис. 3) и коэффициента искажения (рис. 4) от угла управления.

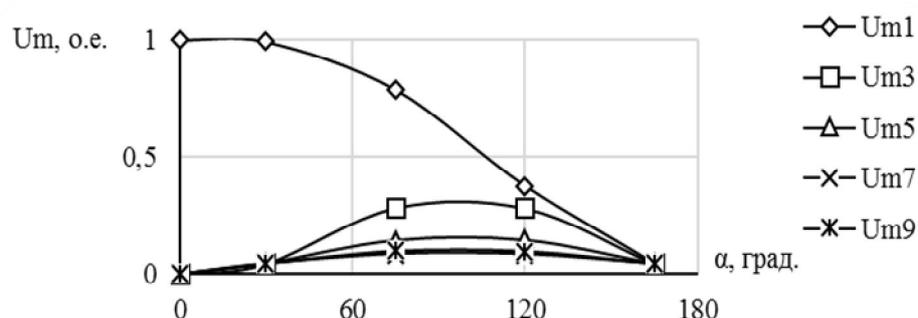


Рис. 3. Зависимость амплитуд основных гармоник от угла управления

Амплитудные значения основной гармонической составляющей с ростом угла управления уменьшается. Экстремум третьей, пятой, седьмой и девятой гармоник наблюдается при 90 градусах, с ростом угла управления все амплитудные значения стремятся к нулю.

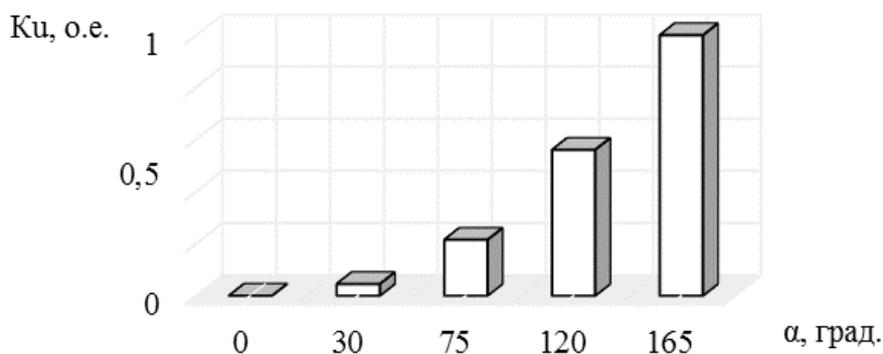


Рис. 4. Зависимость коэффициента искажения от угла управления

Искажение выходных электрических параметров увеличивается с увеличением угла управления тиристорами. При оценке соответствия электрической энергии нормам ГОСТ 32144-2013 [2] значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_u , усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значения 12%, в течение 100% времени интервала в одну неделю. Таким образом, оптимальное регулирование выходных параметров рекомендуется производить в диапазоне от 0 до 55 градусов. Целесообразно не допускать регулирования выходных параметров в широких пределах для предотвращения достижения коэффициентом искажений больших значений.

При анализе переходных процессов в работе микроГЭС, вызванных внезапным изменением нагрузки сделан вывод: при проектировании следует обеспечить только требуемые статические показатели и выполнить условия статической и динамической устойчивости. Хорошие динамические показатели электромеханической системы обеспечивает балластное регулирование. Важно также отметить, то обстоятельство, что из параметров электрической машины оказывают влияние на динамику микроГЭС только сверхпереходные параметры якоря и переходная постоянная времени обмотки возбуждения. Сверхпереходные параметры электрической машины определяют начальный провал (всплеск) напряжения генератора при коммутации нагрузки, а переходная постоянная времени обмотки возбуждения влияет на длительность электромеханического переходного процесса. Изменять параметры обмотки возбуждения с целью сокращения длительности электромеханического переходного процесса нецелесообразно, так как практической выгоды из этого не получить.

Для исследования регулятора сигнала управления тиристорной ячейки была создана имитационная модель регулирования напряжения полезной нагрузки (рис.5). Для управления тиристорным регулятором балластной нагрузки используется регулятор (рис. 6), основанный на обратной связи по напряжению полезной нагрузки. Для улучшения процесса регулирования использовалась передаточная функция, которая стабилизировала показание сигнала обратной связи. Принцип регулирования заключается в разности заданного и выходного значений.

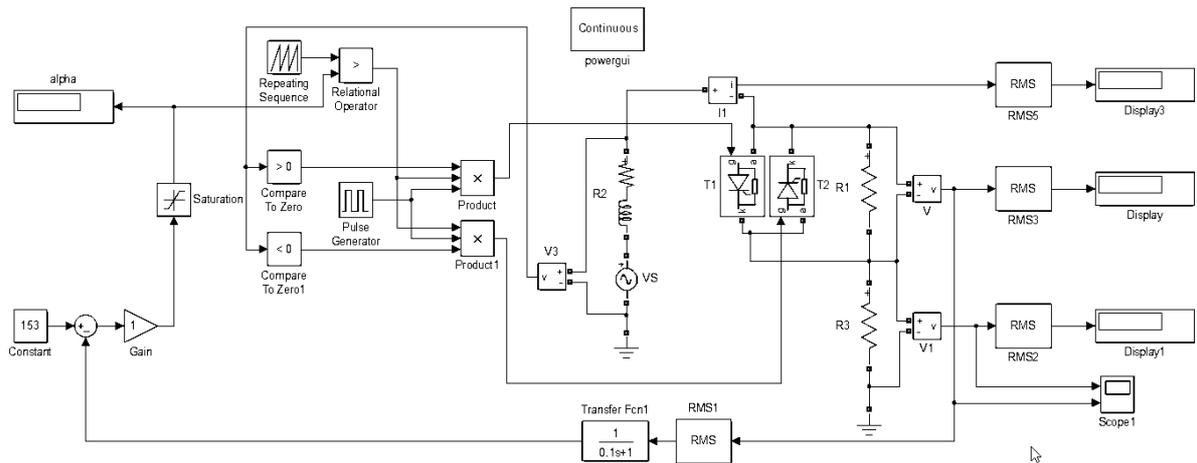


Рис. 5. Модель регулирования напряжения полезной нагрузки

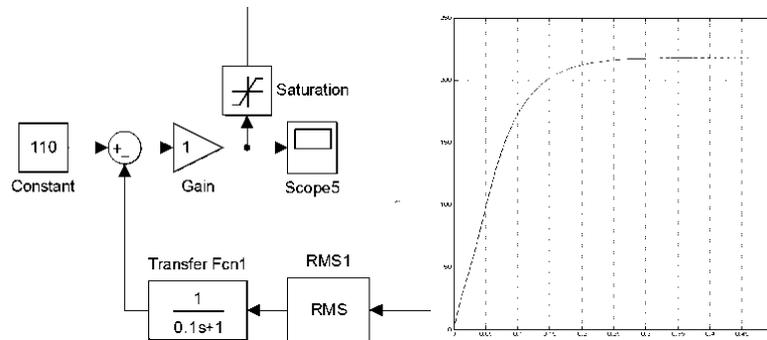


Рис. 6. Модель регулятора и вид сигнала, приходящего с полезной нагрузки

На рис. 7 приведены полученные результаты исследования работы регулятора по напряжению имитационной модели микроГЭС.

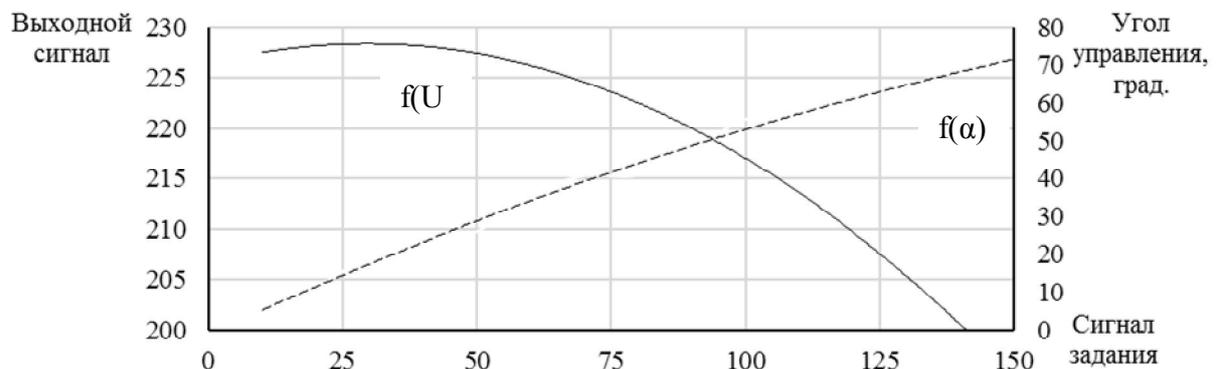


Рис. 7. Зависимости выходного сигнала и угла открытия от сигнала задания

Характеристики регулирования были построены опытным путем. В результате видно, что при увеличении сигнала задания выходной сигнал уменьшается, а угол управления тиристорами растет.

С помощью Simulink и SimPowerSystems выполнен гармонический анализ напряжения с помощью блока Powergui функции FFT Analysis Tool. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Зависимость суммарных гармонических искажений от сигнала задания

Сигнал задания	Суммарные гармонические искажения, %	Сигнал задания	Суммарные гармонические искажения, %
10	3,6	60	9,9
20	3,6	70	13,7
30	3,7	80	16,0
40	6,6	90	17,5
50	9,3	100	20,2

Искажение выходных электрических параметров растет с увеличением угла управления тиристорами. При изменении сигнала задания получается угол управления в диапазоне от 0 до 50 градусов. Значения соответствуют нормам ГОСТ 32144-2013. В результате получены эксплуатационные значения выходных параметров (коэффициент искажений напряжения) не превышающий стандартизованных значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе комплексных исследований выходных электрических параметров схемы тиристорного регулятора микроГЭС проведены сопоставления результатов теоретического исследования и виртуального моделирования. При этом полученные данные подтверждают правильность выбора методик исследований и дают хорошую сходимость их результатов. Даны рекомендации по выбору диапазонов регулирования тиристорного регулятора автономного источника электропитания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукутин Б. В., Обухов С. Г., Шандарова Е. Б. Автономное электроснабжение от микрогидроэлектростанций/ - Томск: СТТ, 2001. - 120 с.
2. ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». – Москва. 2014 с. 20

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ ПРИВОДЕ

Котов В. В., Чарков Д. И., Щербакова Ю. М.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Частотно-регулируемый электропривод, построенный на базе асинхронного двигателя, применяется достаточно широко во многих сферах деятельности: в конвейерных системах, в двигателях для нефтедобывающей промышленности (центробежные насосы), в системах вентиляции, кондиционирования и водоснабжения. Основными преимуществами ЧРП являются: высокая точность регулирования, экономия электрической энергии в случае переменной нагрузки, повышенный ресурс оборудования, стабилизация скорости вращения при изменении нагрузки, плавный пуск двигателя, значительно уменьшающий его износ и многое другое.

Несмотря на все положительные стороны использование системы частотного управления на базе широтно-импульсной модуляции (ШИМ) сопровождаются существенным рядом недостатков:

1) Гармонические искажения питающей электрической сети. Причинами появления высших гармоник являются имеющие в составе ЧРП нелинейные входные цепи (выпрямительный мост), потребляющие импульсный ток.

2) Электромагнитные помехи. На выходе устройство ЧРП выдает широтно-модулированные прямоугольные импульсы напряжения, получаемые с помощью сверхбыстрых полупроводниковых ключей (IGBT). Эти импульсы создают широкий спектр высокочастотных помех. Происходит излучение помех, а также их распространение по всем контурам. Чтобы ограничить уровень помех в соответствии с нормами IEEE и ГОСТ, необходима установка дополнительных фильтров.

3) Скачки напряжения, возникающие в результате переотражения. Высокие рабочие частоты и крайне быстрое переключение напряжения накладывают дополнительные требования на длину соединительного кабеля. Импульсы напряжения, генерируемые ЧРП, поступают на клеммы двигателя в виде отраженных волн. Отражение волн от концов кабеля может привести к двукратному повышению выходного напряжения электропривода.

Подобные процессы крайне отрицательно воздействуют на электрическую изоляцию. Всё это приводит к резкому снижению срока службы изоляции кабеля и обмотки.

Для оценки волновых электрических нагрузок была построена имитационная модель в графической среде Matlab Simulink.

Модель состоит из последовательно подсоединённого преобразователя частоты, кабельной линии и асинхронного двигателя.

Преобразователь частоты состоит из источника постоянного напряжения (DC Voltage Source), генератора широтно-импульсных сигналов (PWM Generator) и универсального моста (Universal Bridge). К преобразователю частоты последовательно соединяется секция кабельной линии, состоящие из ёмкости C , волнового сопротивления R и индуктивности L , а в качестве нагрузки была выбран асинхронный двигатель. Для измерения амплитуды напряжения используется измерителя напряжения (Voltage Measurement), а для визуализации полученных данных - осциллограф (Scope).

Результаты моделирования показали, что при применении ЧРП с ШИМ возникают перенапряжения, амплитуда которых увеличивается более чем в 2 раза по сравнению с рабочим номинальным напряжением. Генератор широтно-импульсных сигналов выдает широтно-модулированные прямоугольные импульсы напряжения. Данные импульсы, выходящие с генератора широтно-импульсных сигналов с крутым фронтом, возбуждают волновые процессы в кабеле, приводящие к перенапряжениям, которые усиливаются на дальнейших участках кабельной линии. В результате на зажимах двигателя, которые возрастают из-за несимметрии напряжений, вызванных частым переключением полупроводниковых ключей. Это справедливо, как для модели с высоковольтным синхронным, так и с низковольтным асинхронным двигателем. Результаты так же показали: амплитуда напряжения в обмотке превышает рабочее номинальное напряжение более чем в 2 раза.

Для уменьшения крутизны фронта импульсов выходного напряжения ЧРП и ограничения уровня помех устанавливаются RLC фильтр на выходе инвертера, тем самым ограничивая электрические перенапряжения на зажимах электрической машины.

Применение RLC фильтра уменьшает амплитуду напряжения, а также обеспечивает синусоидальную форму сигнала. Это связано с тем, что в конструкцию фильтра входит установленные дроссели и конденсаторы большего номинала, образующие LC-фильтр

с частотой резонанса менее 50% от частоты коммутации (несущей частоты ШИМ-инвертора). Таким образом, следует отметить: обязательным условием исключения перенапряжений в изоляции обмотки и в кабельной линии ЧРП, обусловленной работой ШИМ, является применение синусоидальных фильтров. Предложенная в работе модель позволяет оценить уровень электрических напряжений при работе частотно-регулируемого привода.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Пашковский В. В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В данной статье предложена математическая модель и алгоритм мониторинга асинхронного двигателя с фазным ротором (АД с ФЗР). Мониторинг подразумевает непрерывное наблюдение за параметрами АД. При возникновении аварийных режимов работы параметры двигателя фиксируются, и загорается светодиод в блоке индикации, соответствующий аварии.

На рис. 1 представлена блок-схема микропроцессорного устройства для мониторинга АД с ФЗР.



Рис. 1. Блок-схема микропроцессорного устройства для мониторинга АД с ФЗР

В блок-схеме имеются 3 блока, а именно:

1. АД с ФЗР – исследуемый асинхронный двигатель;
2. МП – микропроцессор, предназначен для реализации устройства;
3. БИ – блок индикации, предназначен для индикации аварийных режимов работы электродвигателя.

На вход микропроцессора подается информация о мгновенных значениях тока статора (i_A, i_B, i_C) и ротора (i_a, i_b, i_c). Эти токи снимаются при помощи датчиков тока в цепи статора и ротора.

В микропроцессоре происходит расчет действующего значения тока по выражению (1) для каждой фазы статора и ротора. В дальнейшем по действующему значению тока и производится мониторинг.

$$I_D = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} , \quad (1)$$

где T – период сигнала тока; i – мгновенное значение тока.

В свою очередь период тока для статора и ротора находится по выражению (2).

$$T = \frac{1}{f} , \quad (2)$$

где f – частота сигнала.

Частота тока статора находится путем дискретного преобразования Фурье одного из токов статора, с последующим выделением частотной f_c составляющей с наибольшей амплитудой.

Для определения частоты тока ротора f_p (выражение 3) необходимо произвести дискретное преобразование Фурье для результирующего вектора тока статора, находящегося по выражению (4), и процедуры выделения основной частотной составляющей f_{s0} модуля результирующего вектора тока статора в диапазоне частот от 0 до 50 Гц.[1]

$$f_p = f_c - 2 \cdot f_{s0} \quad (3)$$

$$I_s = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot (i_A^2 + i_B^2 + i_C^2)} \quad (4)$$

На рис.2 представлен алгоритм мониторинга АД с ФЗР.

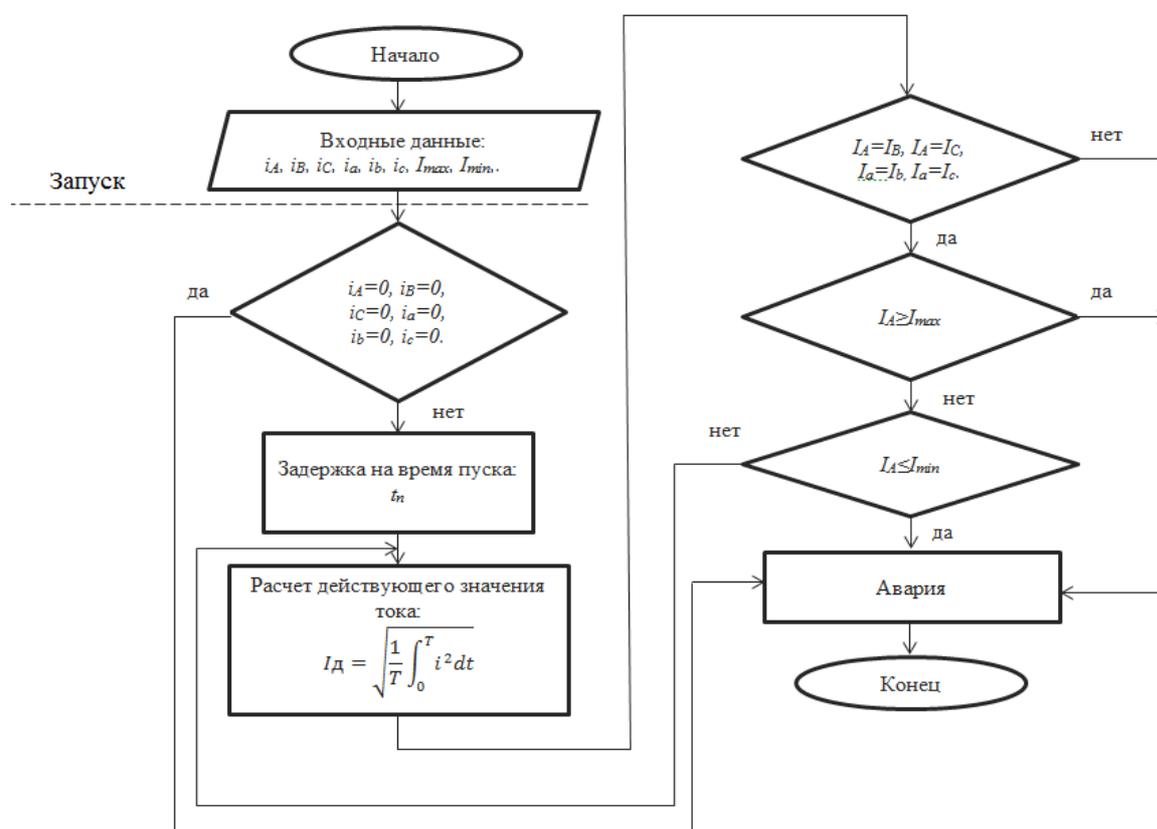


Рис. 2. Алгоритм мониторинга АД с ФЗР

Описание алгоритма:

1. Входными данными для алгоритма являются токи статора (i_A, i_B, i_C), токи ротора (i_a, i_b, i_c), предельно допустимые значения перегрузки (I_{max}) и недогрузки (I_{min}) по току;
2. В начальный момент пуска АД происходит сравнение мгновенных значений токов статора и ротора с нулем. Данная процедура позволяет оценить состояние АД в начальный момент пуска на предмет обрыва фаз статора и ротора или отсутствия питания каждой фазы статора в отдельности или всех целиком. Если какой либо из токов равен нулю, то система переходит в режим аварии. В свою очередь, если равенство не выполняется, система переходит на следующую ступень;
3. Задержка на время пуска. Данная процедура необходима для предотвращения ложного срабатывания аварийного режима. Определение времени пуска АД

осуществляется путем подключения устройства к двигателю и реализации алгоритма представленного на рис.25;

4. Далее происходит расчет действующего значения тока для статора и ротора. Это необходимо для дальнейшего мониторинга;

5. Сравнение действующих значений токов фаз статора и ротора между собой. Это позволяет произвести мониторинг на предмет междуфазного и междувиткового замыкания. При несовпадении токов в пределах допуска $\pm 5\%$ система переходит в режим аварии. Если токи равны, то система переходит на следующую ступень;

6. На следующей ступени осуществляется мониторинг перегрузки по току. Действующее значение тока одной фазы статора сравнивается с предельно допустимым значением перегрузки по току. Переход системы в аварийный режим осуществляется, если ток статора достигает значения уставки перегрузки по току. При невыполнении условий сравнения система переходит на следующую ступень;

7. В заключении происходит мониторинг недогрузки по току. В данном блоке происходит сравнение действующего значения тока одной фазы статора со значением уставки недогрузки по току. Если ток статора достигает предельно допустимого значения недогрузки по току, то система переходит в режим аварии. Если условие сравнения не выполняется, то цикл замыкается на пункт 4 до возникновения аварийного режима работы АД.

Вывод: В статье приведен алгоритм мониторинга АД с ФЗР для микропроцессорного устройства МД-2. В данном устройстве алгоритм такого типа еще не применялся.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.findpatent.ru/patent/240/2405162.html>

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРЕВОСТОЙКОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ЗАНГ315

Ринчино Ж. С.

Национальный томский политехнический университет, г. Томск

Задачами работы является исследования прямого пуска, от устройства плавного пуска и частотно-регулируемого пуска спроектированного двигателя. Для решения поставленных задач использована программа компьютерного моделирования [1], разработанная на кафедре ЭКМ в среде Delphi. Программа позволяет моделировать прямые, частотно-регулируемые пуски и остановки асинхронных двигателей, а также пуск асинхронных двигателей от устройства плавного пуска.

В программе используется математическая модель асинхронного двигателя в синхронной системе координат uv

$$\left. \begin{aligned}
 u_{su} &= i_{su} \cdot r_s + \frac{d\psi_{su}}{dt} - \omega_c \cdot \psi_{sv}, \\
 u_{sv} &= i_{sv} \cdot r_s + \frac{d\psi_{sv}}{dt} + \omega_c \cdot \psi_{su}, \\
 0 &= i_{ru} \cdot r_r + \frac{d\psi_{ru}}{dt} - (\omega_c - \omega_p) \cdot \psi_{rv}, \\
 0 &= i_{rv} \cdot r_r + \frac{d\psi_{rv}}{dt} + (\omega_c - \omega_p) \cdot \psi_{ru}, \\
 M_{эм} &= \frac{3}{2} \cdot p \cdot \text{mod}(\psi_{su} \cdot i_{sv} - \psi_{sv} \cdot i_{su}), \\
 \frac{d\omega_p}{dt} &= \frac{p}{J_\Sigma} \cdot (M_{эм} - M_c(t)),
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где: u_{su}, u_{sv} – напряжения, $i_{su}, i_{sv}, i_{ru}, i_{rv}$ – токи, r_s, r_r – сопротивления, $\psi_{su}, \psi_{sv}, \psi_{ru}, \psi_{rv}$ – потокосцепления обмоток статора и ротора обобщенной машины; $M_{эм}$ и $M_c(t)$ – электромагнитный момент и нагрузочный момент; J_Σ – суммарный момент инерции, p – число пар полюсов двигателя; ω_c и ω_p – угловая частота вращения системы координат uv и ротора.

Математическая модель (1) дополняется уравнениями потокосцеплений обмоток и приводится к виду удобному для численного решения относительно потокосцепления обмоток

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{d\psi_{su}}{dt} &= [u_{su} + \omega_c \cdot \psi_{sv} - r_s \cdot (\psi_{su} \cdot k_{rs} - \psi_{ru} \cdot k_m)]; \\
 \frac{d\psi_{sv}}{dt} &= [u_{sv} + \omega_c \cdot \psi_{su} - r_s \cdot (\psi_{sv} \cdot k_{rs} - \psi_{rv} \cdot k_m)]; \\
 \frac{d\psi_{ru}}{dt} &= [(\omega_c - \omega_p) \cdot \psi_{rv} - r_r \cdot (\psi_{ru} \cdot k_{sr} - \psi_{su} \cdot k_m)]; \\
 \frac{d\psi_{rv}}{dt} &= [(\omega_p - \omega_c) \cdot \psi_{ru} - r_r \cdot (\psi_{rv} \cdot k_{sr} - \psi_{sv} \cdot k_m)]; \\
 M_{эм} &= \frac{3}{2} \cdot p \cdot k_m \cdot (\psi_{sv} \cdot \psi_{ru} - \psi_{su} \cdot \psi_{rv}); \\
 \frac{d\omega_p}{dt} &= \frac{p}{J_\Sigma} \cdot (M_{эм} - M_c(t)).
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Подробное описание математической модели компьютерного моделирования частотно-регулируемого асинхронного двигателя представлено в [1].

Исходные данные к моделированию – номинальные данные и параметры двигателя.

Номинальные данные: мощность двигателя $P_{2н}$, фазное напряжение $U_{нф}$, частота сети f_1 , число пар полюсов p , КПД η_n , коэффициент мощности $\cos \varphi_n$,

скольжение s_n , кратность пускового тока I_{pi} , кратность пускового момента k_{pm} , кратность критического момента k_{max} , суммарный момент инерции ротора и приведенного к валу двигателя вентилятора J_Σ .

Параметры двигателя: индуктивные и активные сопротивления, соответствующие номинальному режиму (без учета насыщения железа и вытеснения тока) и пусковому режиму работы двигателя (с учетом насыщения железа и вытеснения тока при скольжении $s=1$). Данные для номинального режима работы: индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора $x_{\sigma 1}$ и обмотки ротора $x_{\sigma 2}$, активное сопротивление обмотки статора r_s и обмотки ротора r_r , индуктивное сопротивление взаимной индукции x_m , коэффициент насыщения магнитной цепи в режиме холостого хода k_{nas} . Параметры для пускового режима: индуктивные сопротивления рассеяния $x_{\sigma 1p}$ и $x_{\sigma 2p}$ – обмотки статора и ротора, активные сопротивления обмотки ротора r_{2p} .

В математической модели предусмотрена возможность регулирования частоты f_{1x} и напряжения U_{1x} ПЧ по линейному закону рис. 1 с компенсацией падения напряжения.

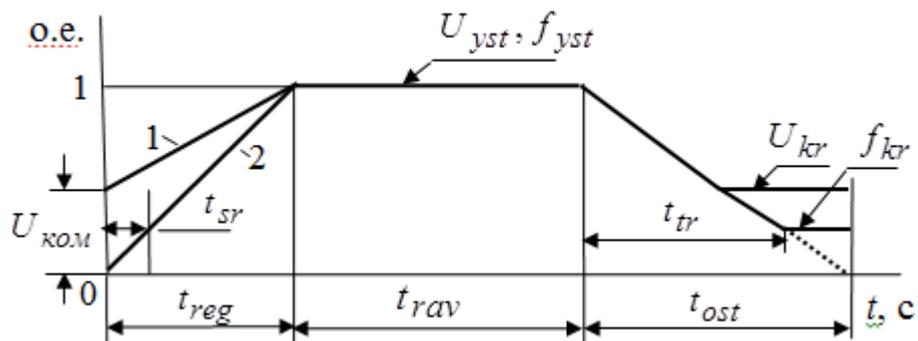


Рис. 1. Диаграммы напряжения и частоты ПЧ: 1 – напряжение U_{1x} , 2 – частота f_{1x}

Напряжение и частота ПЧ представлены на рис. 2.2 в относительных единицах. За основные значения напряжения и частоты приняты установившиеся значения напряжения и частоты 220 В и 50 Гц.

В окне исходных данных программы: t_{reg} – время регулирования по линейному закону частоты и напряжения ПЧ при разгоне двигателя; t_{rav} – время работы двигателя при установившихся значениях частоты f_{yst} и напряжения U_{yst} ПЧ; t_{ost} – время останова двигателя, за которое частота и напряжение ПЧ изменяются по линейному закону до своих критических значений $f_{кр}$ и $U_{кр}$.

При активном характере нагрузочного момента задается t_{sr} – время, в течение которого двигатель находится в заторможенном состоянии и после которого происходит растормаживание двигателя. При критических значениях частоты $f_{кр}$ и

напряжения U_{kr} устанавливается минимальная частота вращения ротора, при которой двигатель с автоматическим срабатыванием тормозного устройства обесточивается.

Математическая модель, предполагает возможность задания начальных U_0, f_0 (при $t = 0$) и установившихся U_{yst}, f_{yst} значений напряжения и частоты ПЧ. За время регулирования t_{reg} частота и напряжение изменяются от начальных до установившихся значений по линейному закону.

Имеется возможность задания только начальной и установившейся частоты ПЧ. В этом случае за время t_{reg} частота изменяется по линейному закону

$$f_x = \frac{f_{yst} - f_0}{t_{reg}} \cdot t + f_0. \quad (3)$$

Если выполняется условие $(t_{reg} + t_{rav}) \geq t \geq t_{reg}$, то принимается $f_x = f_{yst}$. За время $t > (t_{reg} + t_{rav})$ частота изменяется также по линейному закону

$$f_x = f_{yst} - \frac{f_{yst}}{t_{ost}} \cdot (t - t_{reg} - t_{rav}). \quad (4)$$

Напряжение ПЧ является функцией частоты $U_{1x} = f(f_{1x})$ и с учетом напряжения компенсации $U_{ком}$ рассчитывается по формуле

$$U_{1x} = \sqrt{2} \cdot \left(U_{ком} + \frac{U_{нф} - U_{ком}}{f_1} \cdot f_{1x} \right). \quad (5)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Баклин В. С. Математическая модель частотно-регулируемого асинхронного двигателя [Электронный ресурс] / В. С. Баклин, А. С. Гимпельс // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ] / Томский политехнический университет (ТПУ). — 2005. — Т. 308, № 7. — [С. 148-153]. — Заглавие с титульного листа. — Электронная версия печатной публикации. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader. http://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Bulletin_TPU/2005/v308/i7/35.pdf (Дата запроса 10.06.15)

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАБЕЛЕЙ В ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ ПРИВОДЕ

Горбатенко А. А., Щербакова Ю. М.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Частотно-регулируемый привод имеет различные функциональные возможности, что обеспечивает его применение в разных областях.

Значительная экономия электроэнергии обеспечивается за счет регулирования какого-либо технологического параметра. Если это транспортер или конвейер, то можно регулировать скорость его движения. Если это насос или вентилятор – можно

поддерживать давление или регулировать производительность. Если это станок, то можно плавно регулировать скорость подачи или главного движения.

Особый экономический эффект от использования преобразователей частоты дает применение частотного регулирования на объектах, обеспечивающих транспортировку жидкостей. До сих пор самым распространенным способом регулирования производительности таких объектов является использование задвижек или регулирующих клапанов, но сегодня доступным становится частотное регулирование асинхронного двигателя, приводящего в движение, например, рабочее колесо насосного агрегата или вентилятора.

При всем при этом, частотно-регулируемый привод имеет существенный недостаток. Большинство моделей является источником помех, обусловленных влиянием высокочастотных составляющих напряжения, на изоляцию кабеля, обмотки двигателя и т.д. Во многих случаях это становится причиной резкого снижения срока службы питающих кабелей и приводит к возникновению аварийных ситуаций. В настоящее время в РФ работы по созданию кабелей для частотно-регулируемого привода находятся на начальной стадии. Не достаточно информации об эксплуатации самих систем частотно-регулируемого привода, о методах и критериях оценки стойкости питающих кабелей к перегрузкам, способах и средствах защиты от перенапряжений.

В последнее время рядом ведущих зарубежных кабельных компаний ("LAPPKABEL", "The Okonite company", "AlphaWire", "HELUKABEL" и др.) уже разработаны и выпускаются специальные кабели для частотно-регулируемого привода с широтно-импульсной модуляцией, называемые "VFD cables".

Для конструкции данных кабелей можно отметить наличие общих элементов:

1) В качестве изоляции используется сшитый полиэтилен, который обладает отличными диэлектрическими свойствами, а также короностойкостью, что дает ему преимущество по сравнению со стандартным полиэтиленом или ПВХ.

2) В кабелях применяется экранирование алюминиевой или медной оболочкой, которая обеспечивает для низкого частотного диапазона от 1 до 30 МГц высокую помехозащищенность.

3) Применяется симметричная конструкция кабелей, в качестве заземления в которых используются оголенные многожильные медные проводники, расположенные в наружных слоях конструкции кабеля.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИКЕ

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ Калимбаев Р. Н.	4
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП С ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ ЛЕНТОЧНОЙ СТРУКТУРЫ Гинтинг Рутта, Иванов А. В., Семенов С. М., Чертов С. А.	7
ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ Карпов А. С., Косенков Д. И., Буда В. С.	12
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННО ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО И ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВНЕДРЕНИЯ АЛГОРИТМОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ, РЕАЛИЗАЦИЯ НА ПРИМЕРЕ БЫТОВОГО ЧАЙНИКА Куценко В. Н.	15
ЭЛЕКТРОПРИВОД МОТОР-КОЛЕСА БОЛЬШЕГРУЗНОГО САМОСВАЛА ПРОИЗВОДСТВА БЕЛАЗ Сотников Н. В., Кутеев В. И.	16
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ РЕДУКЦИЕЙ СКОРОСТИ В ANSYS MAXWELL Кремлёв И. А.	22
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИЙ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ОБМОТКАМИ ИЗ АЛЮМИНИЯ Елшибек А. А.	25
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ МУФТ Савельева М. В., Колтунова Е. А.	28
ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ Гуков М. И., Шаненков И. И., Циммерман А. И.	32
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ С АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ Серебряков Н. А.	35
ВЫБОР ПРИВОДА ДЛЯ ЭЛЕКТРОВЕЛОСИПЕДА Сильвестров А. Ю., Харитонов В. В., Алюханов А. А.	39

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОВЫШАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ Федюк Р. С., Мочалов А. В., Тимохин А. М., Муталибов З. А., Ильинский Ю. Ю.	43
ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРА КАЛМАНА В ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ Бегеза М. В., Цеван А. Н., Жарский С. Е.	47
СПОСОБ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ И ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ ЕМКОСТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ НА ЕГО ОСНОВЕ Хайруллин И. Х., Султанова Р. А.	50
РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛООВОГО АККУМУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ ФАЗОПЕРЕХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ Щегольков А. В., Щегольков А. В.	52
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПОВЫШЕННЫМ ПУСКОВЫМ МОМЕНТОМ Бурцев Л. Ю., Серов А. Б., Асатурян Д. Э.	56
ФАЗАСДВИГАЮЩИЙ ШИМ-КОНТРОЛЛЕР ДЛЯ АКТИВНО ИНДУКТИВНОЙ НАГРУЗКИ Кульченко С. А.	59
ОЦЕНКА НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ ВОЗДУШНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ РАСХОДА ВОЗДУХА Морозова М. П., Гречная Т. В., Сарока В. В.	63
МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫЙ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД Брусов А. В.	66
ОБ ОДНОМ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕНТИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ Комлев И. В.	70
ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В РОБОТОТЕХНИКЕ Саттаров Р. Р., Шакиров Т. И.	74
ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ДИНАМИКИ ВПИТЫВАНИЯ Астапенко А. С., Олиферович Н. М., Чернышева А. Е.	76
ОПТИМИЗАЦИЯ ПОГРУЖНОГО ТРАНСФОРМАТОРА Динь Конг Кюи.	79
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ВЫСОКООБОРОТНЫЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИНТЕГРАЦИИ В АВИАЦИОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА Вавилов В. Е., Бекузин В. И., Айгузина В. В.	83

ПОСТРОЕНИЕ СХЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЕ Олиферович Н. М., Кашкан М. А., Кадлубович П. П.	86
ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДЛИТЕЛЬНУЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ПРОВОДОВ С ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ Мараткызы М., Баданова А. А.	89
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЛЕЧИВАНИЯ ПРОПИТКОЙ СКВОЗНЫХ ДЕФЕКТОВ В МЕЖВИТКОВОЙ Выгузов Д. О., Кодочигов А. В., Супуева А. С.	92
ВЛИЯНИЯ КВАНТОВАНИЯ МОДУЛЕЙ ПЛК НА СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ Белецкий Е. А., Широков А. М., Сухорукова И. Г.	94
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ИСКРЕНИЯ В КОЛЛЕКТОРНЫХ МАШИНАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА Бурец А. С.	98
ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО ХАРАКТЕРИСТИКЕ ДОБАВОЧНОГО ТОКА КОММУТАЦИИ Феоктистов К. А.	100
МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК Кормилин Ю. А.	102
МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ТРОЛЛЕЙБУСА Коробков А. А.	106
РАЗРАБОТКА МЕТОДА СОЗДАНИЯ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ (Н) ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ОПТИКО-ЭМИССИОННЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ Прямушко Т. С., Кудияров В. Н., Лаптев Р. С., Бабихина М. Н.	111
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЬНЫХ И АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ Сафонов В. В.	114
СРАВНЕНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С РАЗНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ОБМОТОК РОТОРА Виноградов Д. С.	119
АСУ ТП УСТАНОВКИ ПОДГОТОВКИ И ПЕРЕКАЧКИ НЕФТИ Корепанов С. Ю.	122
ЛЕГКОВОЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ С МОТОР-КОЛЕСНОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ Мереккызы А.	125

**СЕКЦИЯ 2.
ЭФФЕКТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

THE PROBLEM OF PIPELINE VALVES REPLACEMENT Bazykin Y. V., Abramovskikh A. A.	128
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТРУДНОДОСТУПНЫХ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ Воеводин И. Г.	131
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ПЛАВЛЕНИЯ ТВЭЛ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РАСПЛАВА В РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВКАХ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ НА ЭТАПЕ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ Калашникова А. А. , Усов Э. В.	135
АДАПТИРУЕМАЯ СИСТЕМА ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ Падалко Д. А.	138
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В КАНАЛАХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ Слесарева Е. Ю., Елистратов С. Л., Овчинников В. В.	142
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТОЛКНОВЕНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ДВИЖУЩИХСЯ КАПЕЛЬ ВОДЫ В ПОТОКЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗОВ Антонов Д. В., Волков Р. С., Стрижак П. А.	146
ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КАМПУСА ДВФУ И О. РУССКИЙ Горте О. И., Хмелик М. С., Маркин В. А.	149
ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ТОПЛИВ ТЭС И КОТЕЛЬНЫХ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ЗОНЕ ИХ РАЗМЕЩЕНИЯ Махсутбек Ф. Т., Ожикенова Ж. Ф.	153
ПРЯМОЙ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ОКСИДОВ МЕДИ Фирсов К. Е., Сайгаш А. С., Сивков А. А.	157
ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО КАТОДА В РЕЖИМЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГОРЕНИЯ Закусилов В. В.	161
ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ Колесник А. Г., Воронина Н. А.	164
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕПРОМЫСЛА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ Петрушкин А. А.	168

ИСКАЖЕНИЕ ФОРМЫ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗКИ В УЗЛАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ Кондрашов М. А., Панкратов А. В.	169
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВС ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ И ХРАНЕНИЯ РАО Бородай А.Ю., Таракаенко П.В., Кнышев В.В., Беденко С.В., Клюкин Н. М., Кузнецов Е. В.	173
АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА БАЗЕ ГТУ–ТЭЦ В РОССИИ Корольков Д. П., Будько А. А.	176
ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ ПЛУТОНИЯ В ОЯТ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА МИКРОТОПЛИВО В РЕАКТОРЕ ВВЭР Масенко С. А.	178
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА СИСТЕМУ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ. Пугин В. А.	180
ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ ПО ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ Альмиева Д. С., Галеева Р. У.	184
ПРОГРАММА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ Дворцовой А. И., Тихонов И. А.	188
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК НА СТАЛЕАЛМИНИЕВЫЕ ПРОВОДА РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ* Трунов М. Д., Проничев Д. В., Гуревич Л. М.	192
ЭНЕРГИЯ. ТЕПЛОВАЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ Трехлеб Е. Д.	194
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ Глик П. А.	196
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ МИМО-ОБЪЕКТАМИ Тюрин И. В, Кузнецова М. С., Клементьев Д. С., Татаринцев А. Н.	199
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВАКУУМНЫХ ТРУБЧАТЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УГЛА ИХ НАКЛОНА В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ г. ТОМСКА Кузнецова А. А., Хуторной А. Н.	201
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РАЙОНА Артемьев А. Ю.	205

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РЫНКА БИОТОПЛИВА В РОССИИ Савельев Д. А., Рахимова Ю. И.	208
ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ СЛОЖНЫХ МНОГОЗОННЫХ ТЕПЛОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК Тюрин И. В., Кузнецова М. С., Клементьев Д. С., Татаринцев А. Н.	211
ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ Петров Т. И.	213
ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ Бельский А. Н.	215
ГИБРИДНЫЕ СОЛНЕЧНО-ВЕТРОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ Хузина Л. Н., Кудаярова А. А., Ялалетдинова Д. А.	216
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СТРУЙНОГО КОНВЕКТИВНОГО НАГРЕВА АЛЮМИНИЕВОГО РУЛОНА ГОРЯЧИМ ВОЗДУХОМ Горшенин А. С., Дворникова Е. А.	218
ВНЕДРЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ СЕКТОРЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ Чиж Е. П., Самосюк Н. А.	221
УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕТЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ADDAX Кожевникова К.В.	224
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ «ПАССИВНЫХ» ДОМОВ Коробовцев Д. С., Рахимова Ю. И.	227
ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ В ДВУХКОНТУРНЫХ ГЕЛИОСИСТЕМАХ Тюрин И. В., Кузнецова М. С., Клементьев Д. С., Татаринцев А. Н.	228
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУСТОРОННЕГО МЕТОДА РАСЧЁТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НАПРЯЖЕНИЕМ 220 КВ Лебедева А. А.	231
«УМНЫЕ» ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ Шилин А. А., Артюшенко Н. С., Дементьев С. С.	235
ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОГЕЛЯ В ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ Кудрявцева Е. А., Рахимова Ю. И.	239

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОКА И ТЕМПЕРАТУРЫ В ГРОЗОЗАЩИТНОМ ТРОСЕ С БИМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОВОЛОКАМИ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ТОКА КЗ	
Трунов М. Д., Гуревич Л. М., Даненко В. Ф., Проничев Д. В.	240
ОЦЕНКА НЕОБХОДИМОГО ОБЪЁМА ДИАГНОСТИКИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИХ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА	
Попова М. С., Грибанов А. А.	244
МИКРО ГЭС В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН	
Ялалетдинова Д. А., Кудаярова А. А., Хузина Л. Н.	248
О ПРИМЕНЕНИИ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ТРЁХФАЗНЫМ ИНВЕРТОРОМ С ДВУХКАНАЛЬНЫМ ПРЕОБРАЗУЮЩИМ ТРАКТОМ С ШИМ ПО КВАЗИТРАПЕЦЕИДАЛЬНОМУ ЗАКОНУ	
Фрейдлин А. С.	251
КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 0,4 КВ	
Сидорова В. Т., Карчин В. В.	252
ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОГО НАКОПИТЕЛЯ ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ	
Ядутов В. В.	256
УМЕНЬШЕНИЕ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕЛЬСКИХ НЕОДНОРОДНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 10(6) КВ	
Сидорова В. Т., Карчин В. В.	257
СИСТЕМА АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ АКСИАЛЬНОГО ИНДУКТОРНОГО ГЕНЕРАТОРА	
Нафигина Ю. А., Гарганеев А. Г.	259
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ	
Москалёв И. Л., Литвак В. В.	263
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СЛИТКОВ НА ОСНОВЕ РЕГУЛИРУЕМОГО КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА	
Горшенин А.С., Равилова Р.Р.	267

**КРУГЛЫЙ СТОЛ 3.
СТРАТЕГИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ НА ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕ ЗДАНИЯ И ВНУТРЕННИЙ МИКРОКЛИМАТ ПОМЕЩЕНИЙ	
Степанова Т. А.	272

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ	
Лукин М. Г., Юрьев Д. В., Глухенько Е. Е.	276
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЯ ОТ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ	
Сурмагин Д. В.	277
УСТРОЙСТВО И СПОСОБ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОМ РЕЖИМЕ	
Карпов Д. Ф., Павлов М. В., Серова М. С., Герасимовская А. Н., Капкина Е. С., Куликова А. В., Березина В. П.	278

КРУГЛЫЙ СТОЛ 4.

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ЭФФЕКТИВНОГО РАДИАТОРА ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ ТРАНЗИСТОРОВ MOSFET	
Вавилов В. Е., Фаррахов Д. Р., Меднов А. А., Минияров А. Х.	282
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ МАЛЫХ СЕРИЙ	
Шенделев М. А.	284
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ	
Ожанов М. А., Зубков А. А., Ключев А. А.	287
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ И УПРАВЛЕНИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ОСВЕЩЕНИЕМ	
Королев В. Е.	292
СИСТЕМА ОСВЕЩЕНИЯ «УМНЫЙ ДОМ»	
Чулашов В. В.	296
СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ	
Кондаков Д. О.	299
БЕСКОНТАКТНАЯ ДИАГНОСТИКА И КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ	
Ибрагим Абдулла Хайдар Абдо.	302
МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ТИРИСТОРНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ НАГРУЗКИ МИКРОГЭС	
Номоконова Ю. А.	303

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ ПРИВОДЕ	
Котов В. В., Чарков Д. И., Щербакова Ю. М.	307
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ	
Пашковский В. В.	309
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРЕВОСТОЙКОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ЗАНГ315	
Ринчино Ж. С.	311
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАБЕЛЕЙ В ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ ПРИВОДЕ	
Горбатенко А. А., Щербакова Ю. М.	314

Научное издание

**ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА
И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ**

**СБОРНИК ТРУДОВ
III РОССИЙСКОЙ МОЛОДЕЖНОЙ НАУЧНОЙ
ШКОЛЫ-КОНФЕРЕНЦИИ**

Подписано в печать 27.10.2015.

Формат 60x84/8.

Бумага «Svetocopy», «ColorCopy». Печать XEROX.

Усл.печ.л. 37,67. Уч. –изд.л. 17,92.

Заказ user/27.10.15 – 15. Тираж 100 экз.



ООО «СКАН», Студенческий центр, 634050, Томская область г.
Томск, Ул. Советская,80, тел.: (3822) 56-17-26, e-mail:
ntb@scan.tom.ru, сайт: scan.tom.ru.